



ANÁLISE DE RISCO DE ARRIBAS COSTEIRAS: PROPOSTA E APLICAÇÃO DE METODOLOGIA EM DOIS CASOS DE ESTUDO

RENATO RODRIGUES ROLO

Setembro de 2025

**ANÁLISE DE RISCO DE ARRIBAS COSTEIRAS: PROPOSTA E
APLICAÇÃO DE METODOLOGIA EM DOIS CASOS DE ESTUDO**

**RISK ANALYSIS OF COASTAL CLIFFS: PROPOSAL AND APPLICATION OF
METHODOLOGY IN TWO CASE STUDIES**

Renato Rodrigues Rolo

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Geotécnica e Geoambiente**

Orientador: Professor António Agostinho Mendonça

Júri

Presidente

Helder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé, Professor Coordenador com Agregação, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Vogais

Fernando Manuel Silva da Fonseca Marques, Professor Associado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Maria José Coxito Afonso, Professora Adjunta, Instituto Superior de Engenharia do Porto

António Agostinho Martins Mendonça, Professor Adjunto Convidado, Instituto Superior de Engenharia do Porto

[página propositadamente em branco]

Dedicatória

Dedico esta dissertação ao meu avô, que me ensinou a nunca desistir.

[página propositadamente em branco]

Resumo

A presente dissertação teve como foco a análise do risco de instabilidade de arribas costeiras, com o objetivo de adaptar e propor um método de avaliação de risco em matriz, aplicado a dois casos de estudo no município de Torres Vedras. A metodologia adotada incluiu o reconhecimento e caracterização visual *in situ* das arribas, a execução de sondagens geológico-geotécnicas com ensaios SPT, a recolha de amostras para ensaios laboratoriais, bem como o zonamento e a parametrização geotécnica do maciço. Realizou-se ainda o levantamento geomecânico das arribas, através da técnica de amostragem linear, a elaboração de fichas de campo e à análise cinemática dos planos de rotura. Os dados obtidos permitiram aplicar as tabelas de perigosidade e vulnerabilidade, e os resultados foram posteriormente esquematizados sob a forma de matriz de risco, aplicada aos casos de estudo de Amanhã/Vigia e Formosa. Complementarmente, recorreu-se ao *software* RS2, da Rocscience, para a análise da probabilidade de rotura. Os resultados demonstraram um grau de risco global mais elevado para a arriba da Praia Formosa, associado à sua maior vulnerabilidade e perigosidade, comparativamente com Amanhã/Vigia. Conclui-se que a matriz de risco proposta revelou-se eficaz na gestão integrada do risco costeiro, constituindo uma ferramenta de apoio à decisão em áreas de elevada relevância socioeconómica e ambiental.

Palavras-chave: Arribas costeiras; Perigosidade; Vulnerabilidade, Matriz de risco; Probabilidade de rotura

[página propositadamente em branco]

Abstract

This dissertation focused on the analysis of coastal cliff instability risk, aiming to develop and propose a risk assessment method in the form of a matrix, and apply it to two case studies in the municipality of Torres Vedras. The adopted methodology included in situ visual recognition and characterization of the cliffs, the execution of geological-geotechnical boreholes with SPT tests, the collection of samples for laboratory testing, and zoning and geotechnical parameterization. A geomechanical survey of the cliffs was also carried out using the scanline sampling technique, along with the preparation of field sheets and the kinematic analysis of potential failure planes. The data obtained enabled the application of hazard and vulnerability tables, with the results subsequently schematized in a risk matrix for the case studies of Amanhã/Vigia and Formosa. Additionally, the RS2 software (Rocscience) was used to perform a probability-of-failure analysis. The results showed a higher overall risk level for the Formosa cliff, associated with its greater vulnerability and hazard, compared to Amanhã/Vigia. It is concluded that the proposed risk matrix proved effective for integrated coastal risk management, serving as a decision-support tool in areas of high socioeconomic and environmental relevance.

Keywords: Coastal cliffs; Hazard; Vulnerability; Risk matrix; Probability of failure

[página propositadamente em branco]

Agradecimentos

A elaboração desta dissertação representa um longo percurso de intenso esforço, sacrifício, dedicação e envolvimento, uma vez que conciliar trabalho e estudo, exige perseverança, bastante organização e força de vontade. Ao longo desta caminhada, tive a sorte de contar com o apoio e motivação de várias pessoas e entidades, que me deram incentivo nos momentos mais desafiadores. Desta forma, expresso o meu reconhecimento e agradecimento a todos aqueles que contribuíram da sua forma, na elaboração desta dissertação.

Em primeiro lugar, um agradecimento à Sinergeo Lda., pela excelente oportunidade que me proporcionaram de frequentar o mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente (ISEP) e por todo o conhecimento partilhado nos últimos 3 anos, sem dúvida que o profissional que sou hoje, devo em parte, a vocês. Quero também expressar um agradecimento especial ao meu supervisor, Jorge Oliveira, por toda a paciência, profissionalismo, orientação e experiências partilhadas, ao longo deste percurso.

Ao meu orientador, Doutor Agostinho Mendonça (DEG|ISEP), deixo um sincero agradecimento por todo o conhecimento transmitido, pelo profissionalismo, pelas experiências partilhadas e pelo apoio constante dado ao longo do desenvolvimento desta dissertação. Agradeço por toda a confiança, pela boa disposição e pela sua atenção às minhas dificuldades enquanto trabalhador-estudante.

Gostaria de expressar o meu sincero agradecimento ao Município de Torres Vedras pela disponibilidade e colaboração ao autorizar a utilização dos dados geológicos e geotécnicos, fundamentais para o desenvolvimento e concretização desta dissertação.

A todos os docentes do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP, com quem tive a oportunidade de me cruzar nos últimos dois anos, agradeço o vosso profissionalismo, dedicação e empenho na formação de engenheiros competentes, e por todas as aprendizagens e experiências proporcionadas. Foram, sem dúvida, inspiradores e contribuíram decisivamente para a minha evolução profissional e pessoal.

Aos meus colegas de mestrado, agradeço pelos momentos de companheirismo, amizade, entreaajuda e trabalho árduo, que tornaram estes dois anos, uma experiência ainda mais enriquecedora e memorável.

Aos meus amigos mais próximos, agradeço pela amizade sincera, por acreditarem em mim, pelo incentivo constante e pela presença em todos os momentos.

À minha família mais próxima, aos meus pais, a minha avó, à minha irmã e ao meu cunhado, o meu sincero agradecimento. Vou estar eternamente grato por serem o meu pilar, por me ensinarem tudo o que sei e o que não sei, por nunca me deixarem desistir e por me permitirem perseguir os meus sonhos. Obrigado pelo vosso amor e apoio incondicional.

Por fim, mas não menos importante, à minha namorada, à pessoa que me acompanha e acompanhou diariamente nesta jornada, pelo apoio emocional constante e pela paciência gigante que tem. Obrigado por acreditares em mim e por me teres mostrado, novamente, que eu também tenho valor. És, e sempre serás, o meu exemplo.

Índice

1. Introdução.....	3
1.1. Introdução	3
1.2. Enquadramento	3
1.3. Objetivos.....	4
1.4. Estrutura da dissertação	5
2. Estabilidade de taludes e arribas costeiras	9
2.1. Taludes naturais e artificiais	9
2.2. Instabilidade de taludes.....	10
2.2.1. Movimentos de vertente.....	13
2.2.1. Tipos de rotura em maciços rochosos.....	20
2.3. Arribas costeiras	25
3. Avaliação Geológico-Geotécnica da estabilidade de arribas costeiras	31
3.1. Introdução	31
3.2. Zonamento Geológico-Geotécnico	33
3.3. Técnicas e Procedimentos de Campo	34
3.3.1. Técnica de Amostragem linear	34
3.3.2. Sondagens Geológico-Geotécnicas	36
3.3.3. Recolha de amostras	38
3.3.4. Ensaio SPT (<i>Standard Penetration Test</i>).....	39
3.3.5. Ensaio Laboratoriais.....	41
3.3.6. Síntese dos trabalhos de campo.....	44
3.4. Análise probabilística de rotura no RS2.....	44
4. Proposta de matriz de risco da estabilidade de arribas costeiras.....	48
4.1. Avaliação da estabilidade de arribas costeiras.....	48
4.2. Perigo, risco e vulnerabilidade.....	50
4.3. Matriz de risco	53
4.3.1. Proposta de matriz de risco.....	53
5. Esquematização da matriz de risco dos casos de estudo.....	69
5.1. Introdução	69
5.2. Enquadramento geográfico dos casos de estudo Amanhã/Vigia e Formosa	70

5.3.	Enquadramento geológico, geotectónico e geomorfológico das arribas Amanhã/Vigia e Formosa.....	71
5.4.	Caso da arriba Amanhã/Vigia.....	78
5.4.1.	Levantamento de campo.....	83
5.4.2.	Análise de cinemática.....	84
5.4.3.	Prospecção Geológico-Geotécnica.....	91
5.4.4.	Caracterização geológico-geotécnica.....	95
5.4.4.1.	Caracterização Geológica.....	95
5.4.4.2.	Caracterização Geotécnica.....	96
5.5.	Caso da arriba Formosa	98
5.5.1.	Levantamento de campo.....	102
5.5.2.	Análise cinemática.....	104
5.5.3.	Prospecção Geológico-Geotécnica.....	107
5.5.4.	Caracterização geológico-geotécnica.....	111
5.5.4.1.	Caracterização Geológica.....	111
5.5.4.2.	Caracterização Geotécnica.....	112
5.6.	Esquematização das matrizes de risco	113
5.6.1.	Amanhã/Vigia	114
5.6.2.	Formosa.....	119
6.	Resultados das análises desenvolvidas sobre os casos de estudo	125
6.1.	Introdução.....	125
6.2.	Amanhã/Vigia.....	126
6.3.	Formosa	128
6.4.	Análise probabilística de rotura no RS2	130
7.	Considerações finais	137
8.	Referências	143

Anexos

Anexo I - Tabelas de perigosidade e vulnerabilidade

Anexo II - Fichas de Caracterização das Condições Geológico-Geotécnicas de Superfície de Taludes

Anexo III - Boletins de sondagens mecânicas

Anexo IV - Perfil geológico-geotécnico (Amanhã/Vigia)

Anexo V - Resultados da modelação probabilística de rotura

Lista de figuras

Figura 1 - Representação esquemática das quedas (extraído de Cruden & Varnes 2004).....	14
Figura 2 - Representação esquemática dos tombamentos (extraído de Cruden & Varnes 2004). .	15
Figura 3 - Representação esquemática dos deslizamentos rotacionais (extraído de Cruden & Varnes 2004).	16
Figura 4 - Representação esquemática dos deslizamentos translacionais (adaptado de Cruden & Varnes 2004).	17
Figura 5 - Representação esquemática de expansões laterais (adaptado de Cruden & Varnes 2004).	18
Figura 6 - Representação esquemática de fluxos de detritos (extraído de Cruden & Varnes 2004).	19
Figura 7 - Representação esquemática de avalanche de detritos (extraído de Cruden & Varnes 2004).	19
Figura 8 - Representação esquemática dos fluxos de terra e de lama (adaptado de Cruden & Varnes 2004).	19
Figura 9 - Representação esquemática do <i>creep</i> (adaptado de Cruden & Varnes 2004).....	20
Figura 10 - Representação esquemática da rotura planar (a) e representação estereográfica típica dos planos de rotura planar (b) (adaptado de Wyllie & Mah 2005).	22
Figura 11 - Representação esquemática da rotura por cunha (a) e representação estereográfica típica dos planos de rotura por cunha (b) (adaptado de Wyllie & Mah 2005).	23
Figura 12 - Representação esquemática da rotura por <i>toppling</i> ou tombamento (a) e representação estereográfica típica dos planos de rotura por <i>toppling</i> ou tombamento (b) (adaptado de Wyllie & Mah 2005).	24
Figura 13 - Representação esquemática da rotura circular ou não plana (a) e representação estereográfica da rotura circular com uma distribuição aleatória de descontinuidades (b) (adaptado de Wyllie & Mah 2005).....	24
Figura 14 - Perfil morfológico de uma arriba costeira (extraído de Costa 2012).....	26
Figura 15 - Esquema síntese dos principais processos que controlam o recuo das arribas costeiras (adaptado de Sunamura 1992).	27
Figura 16 - Esquema da realização do ensaio SPT de acordo com a EN ISO 22476-3 2005 (extraído de Ordem dos Engenheiros 2000).....	40
Figura 17 - Localização geográfica, em imagem de satélite, do caso de estudo Amanhã/Vigia e Formosa, nas respetivas freguesias.	70

Figura 18 - Enquadramento geográfico regional das freguesias dos casos de estudo, no município de Torres Vedras e no distrito de Lisboa.....	71
Figura 19 - Enquadramento geográfico e tectónico da Bacia Lusitaniana e de outras bacias da Margem Ocidental Ibérica. Definição de sectores (1 – Rocha & Soares 1984; 2 – Ribeiro et al. 1996) (extraído de Kullberg et al. (2006)).	73
Figura 20 - Carta geológica esquemática das unidades aflorantes entre o v.g. Alto da Vela e Santa (extraído de Manuppella et al. 1999).....	76
Figura 21 - Extrato da Folha 30-A (Lourinhã) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000, com a representação das áreas dos casos de estudo Amanhã/Vigia e Formosa e as respetivas litologias (Manuppella et al. 1996).	78
Figura 22 - Representação da arriba da área Amanhã/Vigia sobre fotografia aérea.	79
Figura 23 - Imagens das arribas costeiras da área Amanhã/Vigia, resultantes do levantamento topográfico das arribas de Santa Cruz.....	80
Figura 24 - Condições fisiográficas da área do caso de estudo Amanhã/Vigia.	81
Figura 25 - Identificação da queda de um bloco de aproximadamente 33 m ³ na Praia da Vigia, entre 17 de dezembro de 2020 e 13 de fevereiro de 2021 (extraído de Ramos 2021).....	82
Figura 26 - Processos erosivos observados na Praia da Vigia a 18 de abril de 2021, por Ramos (2021) (extraído de Ramos 2021).	82
Figura 27 - Localização das “scanlines” e das estações de observação realizadas no levantamento de campo na área do caso de estudo Amanhã/Vigia, sobre fotografia aérea.....	83
Figura 28 - Análise cinemática da “scanline” L1-L2 do caso de estudo Amanhã/Vigia; A-Rotura Planar; B-Rotura por Cunha; C- Rotura por Tombamento Direto e Oblíquo; D-Rotura por Tombamento Flexural; E- Legenda dos Símbolos.	86
Figura 29 - Análise cinemática da “scanline” L3-L4 do caso de estudo Amanhã/Vigia; A-Rotura Planar; B-Rotura por Cunha; C- Rotura por Tombamento Direto e Oblíquo; D-Rotura por Tombamento Flexural; E- Legenda dos Símbolos.	87
Figura 30 - Análise cinemática da “scanline” L6-L7 do caso de estudo Amanhã/Vigia; A-Rotura Planar; B-Rotura por Cunha; C- Rotura por Tombamento Direto e Oblíquo; D-Rotura por Tombamento Flexural; E- Legenda dos Símbolos.	88
Figura 31 - Análise cinemática da “scanline” L9-L10 do caso de estudo Amanhã/Vigia; A-Rotura Planar; B-Rotura por Cunha; C- Rotura por Tombamento Direto e Oblíquo; D-Rotura por Tombamento Flexural; E- Legenda dos Símbolos.	89

Figura 32 - Análise cinemática da “scanline” L11-L12 do caso de estudo Amanhã/Vigia; A-Rotura Planar; B-Rotura por Cunha; C- Rotura por Tombamento Direto e Oblíquo; D-Rotura por Tombamento Flexural; E- Legenda dos Símbolos.	90
Figura 33 - Procedimento para determinar o RQD (adaptado de Deere 1969).....	91
Figura 34 - Localização das sondagens executadas na área do caso de estudo Amanhã/Vigia, sobre fotografia aérea.....	92
Figura 35 - Local de execução da sondagem S9 na área do caso de estudo Amanhã/Vigia.....	92
Figura 36 - Local de execução da sondagem S8 na área do caso de estudo Amanhã/Vigia.....	93
Figura 37 - Representação da arriba da área Formosa, sobre fotografia aérea.	99
Figura 38 - Imagens das arribas costeiras da área Formosa, resultantes do levantamento topográfico das arribas de Santa Cruz.	100
Figura 39 - Condições fisiográficas da área do caso de estudo Formosa.....	101
Figura 40 - Processos erosivos no Miradouro da praia da Formosa (14/04/2021), com a identificação da queda de terras e deslizamento de material registado a 10 de abril de 2021 (extraído de Ramos 2021).	102
Figura 41 - Localização das “scanlines” e das estações de observação realizadas no levantamento de campo na área do caso de estudo Formosa, sobre fotografia aérea.....	103
Figura 42 - Análise cinemática da “scanline” L2-L5 do caso de estudo Formosa; A-Rotura Planar; B-Rotura por Cunha; C- Rotura por Tombamento Direto e Oblíquo; D-Rotura por Tombamento Flexural; E- Legenda dos Símbolos.	105
Figura 43 - Análise cinemática da “scanline” L6-L8 do caso de estudo Formosa; A-Rotura Planar; B-Rotura por Cunha; C- Rotura por Tombamento Direto e Oblíquo; D-Rotura por Tombamento Flexural; E- Legenda dos Símbolos.	106
Figura 44 - Análise cinemática da “scanline” L8-L10 do caso de estudo Formosa; A-Rotura Planar; B-Rotura por Cunha; C- Rotura por Tombamento Direto e Oblíquo; D-Rotura por Tombamento Flexural; E- Legenda dos Símbolos.	107
Figura 45 - Localização da sondagem executada na área do caso de estudo Formosa, sobre fotografia aérea.....	108
Figura 46 - Local de execução da sondagem S1 na área do caso de estudo Formosa.....	109
Figura 47 - Arriba L1-L2 na área do caso de estudo Amanhã/Vigia, estação de observação L2 (22/04/2025).....	115
Figura 48 - Arriba L3-L4 na área do caso de estudo Amanhã/Vigia, estação de observação L3 e L4, respetivamente (22/04/2025).....	116

Figura 49 - Arriba L6-L7 na área do caso de estudo Amanhã/Vigia, estação de observação L6, L6b, L6c e L7, respetivamente (22/04/2025).....	117
Figura 50 - Arriba L9-L10 na área do caso de estudo Amanhã/Vigia, estação de observação L9 e L10, respetivamente (22/04/2025).....	118
Figura 51 - Arriba L11-L12 na área do caso de estudo Amanhã/Vigia, estação de observação L11, L11c, L11d e L12, respetivamente (22/04/2025).	119
Figura 52 - Arriba L2-L5 na área do caso de estudo Formosa, estação de observação L2, L3, L4 e L5 (22/04/2025 e 23/04/2025).	120
Figura 53 - Arriba L6-L8 na área do caso de estudo Formosa, estação de observação L6, L9 e L8 (22/04/2025 e 23/04/2025).	121
Figura 54 - Arriba L8-L10 na área do caso de estudo Formosa, estação de observação L10, L12 (22/04/2025 e 23/04/2025).	122
Figura 55 - Resultado obtido na análise probabilística de rotura da arriba L6-L8 do caso de estudo da Formosa. A linha verde representa o contacto entre duas zonas geotécnicas.	132

Lista de tabelas

Tabela 1 - Classificação de movimentos de vertentes (adaptado de Varnes 1978).	14
Tabela 2 - Tabela síntese quantitativa dos trabalhos de campo realizados	44
Tabela 3 - Tabela de classificação de grau de perigosidade proposta.	55
Tabela 4 - Tabela de classificação de grau de vulnerabilidade proposta.....	62
Tabela 5 - Tabela de definição do grau de perigosidade e intervalos de pontuação absoluta de perigosidade.....	64
Tabela 6 - Tabela de definição do grau de vulnerabilidade e intervalos de pontuação absoluta de vulnerabilidade.....	65
Tabela 7 - Matriz de risco proposta, adaptada de ANPC (2009).	65
Tabela 8 - Características gerais das “scanlines” executadas nas arribas costeiras na área do caso de estudo Amanhã/Vigia.....	84
Tabela 9 - Resumo dos dados das sondagens executadas na área do caso de estudo Amanhã/Vigia.	93
Tabela 10 - Síntese de resultados dos ensaios laboratoriais realizados na área do caso de estudo Amanhã/Vigia.....	94
Tabela 11 - Caracterização das unidades/horizontes litoestratigráficos definidos para a área do caso de estudo Amanhã/Vigia, de acordo com os resultados da prospeção efetuada.	96
Tabela 12 - Descrição do zonamento proposto para a área do caso de estudo Amanhã/Vigia.	97
Tabela 13 - Valores propostos para as propriedades físicas e características de resistência e de deformabilidade dos horizontes geológicos para a área do caso de estudo Amanhã/Vigia (γ – peso volumico; ϕ – Ângulo de atrito, C – Coesão; E – módulo de deformabilidade).....	98
Tabela 14 - Características gerais das “scanlines” executadas nas arribas costeiras na área do caso de estudo Formosa.....	103
Tabela 15 - Resumo dos dados das sondagens executadas na área do caso de estudo Formosa.	109
Tabela 16 - Síntese de resultados dos ensaios laboratoriais realizados na área do caso de estudo Formosa.....	110
Tabela 17 - Caracterização das unidades/horizontes litoestratigráficos definidos para a área do caso de estudo Formosa, de acordo com os resultados da prospeção efetuada.	111
Tabela 18 - Descrição do zonamento proposto para a área do caso de estudo Formosa.....	112
Tabela 19 - Valores propostos para as propriedades físicas e características de resistência e de deformabilidade dos horizontes geológicos para a área do caso de estudo Formosa (γ – peso volumico; ϕ – Ângulo de atrito, C – Coesão; E – módulo de deformabilidade).....	113

Tabela 20 - Síntese dos resultados obtidos para os parâmetros de perigosidade e o respetivo grau de perigosidade atribuído, para as arribas do caso de estudo Amanhã/Vigia.	127
Tabela 21 - Síntese dos resultados obtidos para os parâmetros de vulnerabilidade e o respetivo grau de vulnerabilidade atribuído, para as arribas do caso de estudo Amanhã/Vigia.	128
Tabela 22 - Síntese dos resultados obtidos para o cálculo do grau de risco, para as arribas do caso de estudo Amanhã/Vigia.	128
Tabela 23 - Síntese dos resultados obtidos para os parâmetros de perigosidade e o respetivo grau de perigosidade atribuído, para as arribas do caso de estudo Formosa.	129
Tabela 24 - Síntese dos resultados obtidos para os parâmetros de vulnerabilidade e o respetivo grau de vulnerabilidade atribuído, para as arribas do caso de estudo Formosa.	130
Tabela 25 - Síntese dos resultados obtidos para o cálculo do grau de risco, para as arribas do caso de estudo Formosa.	130
Tabela 26 - Síntese dos resultados da análise probabilística das arribas dos casos de estudo Amanhã/Vigia e Formosa.	132

Capítulo I

Introdução

[página propositadamente em branco]

1. Introdução

1.1. Introdução

A presente dissertação de mestrado em formato de projeto, enquadra-se no âmbito da unidade curricular Dissertação/Estágio/Projeto, do segundo ano do Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente do Departamento de Engenharia Geotécnica (DEG), do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), do Politécnico do Porto (P. Porto), e tem como finalidade a conclusão do ciclo de estudos do ano letivo de 2024/2025, e a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente.

Esta dissertação, abordará, de forma geral, os temas da instabilidade das arribas costeiras e, em particular, proposta, sob a forma de matriz de risco, baseada em fatores de perigosidade e vulnerabilidade, suportados através da análise da linha de costa, caracterização visual *in situ* das arribas, análise da probabilidade de rotura das arribas, através de modelação pelo método de elementos infinitos, e, ainda, a caracterização geológico-geotécnica recorrendo a ensaios *in situ* e laboratoriais. Os estudos efetuados culminarão na aplicação da matriz de risco a dois casos práticos integrados num estudo geológico-geotécnico para a avaliação da estabilidade de arribas costeiras na região de Torres Vedras, efetuado pela Sinergeo Lda.

1.2. Enquadramento

As arribas são estruturas costeiras que desempenham um papel crucial na proteção das zonas litorais, funcionando como barreiras naturais contra processos de erosão marinha. A sua

estabilidade resulta de uma complexa interação entre fatores naturais e antrópicos. Uma eventual instabilidade nas arribas costeiras pode representar riscos significativos para a segurança das pessoas, para a preservação das infraestruturas e para a sustentabilidade das atividades económicas que dependem das zonas costeiras.

Neste contexto, a avaliação e a gestão do risco associado à instabilidade das arribas costeiras assumem uma grande importância. A abordagem através de uma matriz de risco, tem-se revelado uma ferramenta eficaz, permitindo a avaliação dos parâmetros de perigosidade e vulnerabilidade, esquematizando os resultados numa linguagem simples, para apoiar a tomada de decisão. Assim, esta metodologia contribui não só para a mitigação de riscos, mas também para a implementação de estratégias de ordenamento e gestão costeira sustentáveis, em áreas de elevada relevância socioeconómica e ambiental.

1.3. Objetivos

A primeira fase do presente trabalho iniciou-se com o reconhecimento e caracterização visual das arribas, juntamente com a caracterização geológico-geotécnica *in situ*. Foram executadas sondagens à rotação com ensaios SPT e, para posterior análise visual e laboratorial, recolheram-se amostras remexidas e indeformadas, bem como testemunhos de rocha.

Efetou-se, numa segunda fase, a caracterização geológica e o zonamento geotécnico dos materiais, definindo a sua parametrização, não só de acordo com os resultados obtidos em laboratório, mas também de acordo com correlações consagradas na bibliografia, com base nos resultados obtidos nos ensaios SPT. Elaboraram-se também perfis geológicos e geotécnicos com os resultados obtidos e o zonamento estabelecido.

Numa terceira fase, realizou-se o levantamento geomecânico das arribas, com recurso à técnica de amostragem linear (ou cartografia por “*scanlines*”), efetuando a caracterização geológica e geomecânica das descontinuidades presentes nas arribas. Os dados foram considerados para uma análise cinemática dos planos de rotura. Com a informação recolhida, elaboraram-se fichas de levantamento de campo para cada arriba.

A concretização destas três fases permitiu, numa quarta fase, elaborar uma matriz de risco, definindo os critérios de risco e a sua aplicação a dois casos de estudo no município de Torres Vedras.

Para complementar a aplicação da matriz de risco, procedeu-se ainda a uma análise por métodos probabilísticos da estabilidade das arribas, de forma a obter a probabilidade de rotura (PoF), numa tentativa de correlacionar a probabilidade de rotura, com o grau de risco.

Desta forma, o objetivo desta dissertação é a elaboração e aplicação de uma matriz de risco a duas arribas costeiras no município de Torres Vedras.

1.4. Estrutura da dissertação

A dissertação encontra-se organizada em sete capítulos, de seguida descritos:

Capítulo 1 - Introdução: apresentação e enquadramento do tema, da sua relevância e dos objetivos da dissertação.

Capítulo 2 - Estabilidade de taludes e arribas costeiras: corresponde ao estado da arte, no qual é realizado o enquadramento teórico, com os conceitos fundamentais relacionados com taludes, arribas costeiras, fatores de instabilidade de taludes e os mecanismos de rotura.

Capítulo 3 - Avaliação Geológico-Geotécnica da estabilidade de arribas costeiras: descreve os principais materiais e métodos aplicados nesta dissertação, nomeadamente os procedimentos adotados, os trabalhos de campo e laboratoriais efetuados, os levantamentos geomecânicos com a técnica de amostragem linear, a análise cinemática e ainda a análise probabilística de rotura.

Capítulo 4 - Proposta de risco da estabilidade de arribas costeiras: descreve conceitos teóricos de perigosidade, vulnerabilidade e risco, e ainda o principal método desta dissertação e a proposta de matriz de risco na gestão da estabilidade de arribas costeiras.

Capítulo 5 - Esquematização da matriz de risco dos casos de estudo: caracteriza as arribas costeiras de Amanhã/Vigia e Formosa, abordando a sua localização, contexto geológico e geotécnico, bem como a descrição dos materiais e métodos realizados e a aplicação da matriz de risco.

Capítulo 6 - Resultados das análises desenvolvidas sobre os casos de estudo: sintetiza os principais resultados e parâmetros das arribas costeiras de Amanhã/Vigia e Formosa obtidos, incluindo a aplicação das tabelas de perigosidade e vulnerabilidade, assim como os resultados obtidos na análise probabilística de rotura.

Capítulo 7 - Considerações finais: apresenta os principais resultados obtidos e os contributos da dissertação e sugerindo trabalhos de investigação futuros.

[página propositadamente em branco]

Capítulo II

Estabilidade de taludes e arribas costeiras

[página propositadamente em branco]

2. Estabilidade de taludes e arribas costeiras

2.1. Taludes naturais e artificiais

Os taludes, naturais ou artificiais, são superfícies inclinadas que limitam um maciço terroso, rochoso ou ambos (Caputo, 1988) e que resultam de processos geológicos naturais ou de intervenções antrópicas, como é o caso de escavações ou de aterros (Caputo 1988; Hencher 2012).

Os taludes degradam-se, na maioria, devido aos processos naturais de meteorização e de transporte, que geralmente são lentos e contínuos e que podem originar movimentos de vertente, como falhas súbitas em taludes que permaneceram estáveis durante longos períodos de tempo. Podem ocorrer em qualquer tipo de material, sendo particularmente comuns em taludes onde as estruturas geológicas, as discontinuidades ou alternâncias litológicas perturbam a meteorização gradual. Os locais mais suscetíveis são geralmente identificáveis pela sua estrutura geológica, embora o deslizamento exija sempre um fator desencadeador. A sua compreensão depende da análise conjunta da estrutura inicial e do processo envolvido (Waltham 2009).

Do ponto de vista geológico-geotécnico, a estabilidade dos taludes, constitui um dos principais desafios da atualidade, dada a suscetibilidade dos taludes a movimentos de massa que podem comprometer a segurança de pessoas, bens, infraestruturas e até, a integridade do meio ambiente.

São inúmeras as ocorrências de movimentos de massa, parcialmente em taludes artificiais, gerados por um mau dimensionamento geotécnico. No entanto, muitos ocorrem em taludes naturais,

podendo originar mortes e, por esse motivo, o risco associado a movimentos de massa em terrenos naturais é um fator importante a ter em conta na avaliação da estabilidade de taludes (Hencher 2012).

O estudo dos taludes é, assim, fundamental na previsão e prevenção de fenómenos de instabilidade, que podem ocorrer de forma repentina ou progressiva, por diferentes mecanismos de rotura e, por se tratar de estudos complexos, devido ao carácter errático das formações naturais, é necessário um investimento significativo em estudos geológico-geotécnicos (Wyllie & Mah 2005).

Os taludes naturais são geralmente caracterizados por serem heterogéneos, com diferentes litologias, descontinuidades e alterações no maciço. Os taludes naturais podem ser taludes de solo, de rocha, ou de ambos.

Os taludes de solo, constituídos por materiais não consolidados, apresentam comportamentos dependentes não só da sua composição, mas também da sua estrutura e da sua interação com a água. Isto é, os parâmetros geotécnicos do solo, como a coesão, ângulo de atrito e peso volúmico, influenciam a estabilidade dos taludes (Budhu 2011). Distingue-se ainda entre o solo constituinte do talude, nomeadamente, os solos residuais, que são formados a partir de processos de meteorização da rocha originária e que não sofreram transporte, e ainda os solos coluvionares, que resultam de processos de transporte e que se depositam por ação da gravidade em zonas de acumulação. Estes últimos, devido à sua génese, tendem a apresentar uma baixa coesão e uma maior heterogeneidade, podendo provocar uma maior instabilidade no talude (e.g., Selby 1993; Gerscovich 2016).

Em relação aos taludes de rocha, estes caracterizam-se por apresentarem um comportamento descontínuo, com elementos estruturais (falhas, descontinuidades) que são o principal fator da sua instabilidade. A orientação e a persistência das descontinuidades, e até a presença de água, são determinantes na ocorrência de tipos de rotura nas rochas (Wyllie & Mah 2005).

2.2. Instabilidade de taludes

A avaliação da estabilidade de taludes envolve a compreensão do comportamento mecânico dos materiais que os constituem e da influência de fatores externos (Guerra & Cunha 2000), ou seja, esta estabilidade depende não só de uma complexa interação entre fatores naturais, geológicos, morfológicos, hidrológicos e hidrogeológicos, climáticos, mas também de fatores antrópicos, como a má gestão urbanística e desflorestação. A instabilidade ocorre quando as forças atuantes excedem as forças resistentes, provocando movimentos de vertentes, tais como deslizamentos,

queda de blocos e, até, colapsos estruturais (Varnes 1978; Guerra & Cunha 2000; Chaminé et al. 2010).

A litologia e a morfologia dos taludes são fatores determinantes na estabilidade, podendo influenciar diretamente o comportamento mecânico dos materiais que os constituem. Taludes formados por maciços terrosos com baixa coesão, ou por maciços rochosos muito fraturados, e/ou com planos de descontinuidade que possam favorecer a rotura, apresentam uma maior vulnerabilidade à instabilidade (Wyllie & Mah 2005). A presença de materiais plásticos, com pouca competência, facilmente erodíveis ou escaváveis, bem como a existência de camadas com alternância de materiais com diferentes permeabilidades, como, por exemplo, camadas permeáveis de areia ou arenito intercaladas com níveis impermeáveis de argila ou argilito, são fatores geológicos que podem provocar instabilidade em taludes (Varnes 1978).

Além disso, a estratigrafia e a litologia influenciam também o tipo e a localização das superfícies de rotura. Diferentes litologias apresentam distintos graus de suscetibilidade ao deslizamento ou à falha estrutural, dependendo das suas propriedades de resistência, que também podem ser afetadas pela presença de água. Nos maciços rochosos, a presença de estratos com propriedades mecânicas distintas condiciona o modo como ocorrem as roturas (Vallejo & Ferrer 2011).

As características geométricas e morfológicas dos taludes, tais como a sua orientação, inclinação, altura e o mergulho dos estratos litológicos, são também fatores que provocam instabilidade (Varnes 1978).

A estrutura geológica desempenha um fator determinante na estabilidade dos taludes e arribas costeiras em maciços rochosos, uma vez que os problemas surgem quando existe uma combinação de elementos estruturais e o mecanismo de rotura. Alterações estruturais e singularidades no maciço, como zonas de cisalhamento, falhas, dobras, ou variações abruptas na inclinação dos estratos, indicam heterogeneidades que podem originar instabilidade. A interação entre as dimensões da face do talude e a rede de descontinuidades (descontinuidades, diaclasamentos ou outros planos de fraqueza) influencia diretamente o tipo e o grau de instabilidade. Adicionalmente, fatores como o estado de tensões *in situ*, associados a estruturas tectónicas, podem agravar a instabilidade e induzir processos de desestabilização, sobretudo em contextos de escavação e/ou modificação das condições iniciais (Vallejo & Ferrer 2011).

Os fatores hidrológicos e hidrogeológicos desempenham também um papel fundamental na estabilidade dos taludes e podem influenciar o comportamento do solo e a ocorrência de

movimentos de massa. A homogeneidade do solo e a sua anisotropia, assim como a permeabilidade, são fatores essenciais a considerar na estabilidade de taludes e arribas costeiras, dado que determinam o fluxo de água no seu interior. A própria geometria do talude também influencia a distribuição de pressões intersticiais e a força exercida pela água. De uma forma geral, a água pode: reduzir a resistência ao cisalhamento; aumentar as forças de cisalhamento na arriba à medida que a pressão da água é exercida nas fissuras sob tensão; provocar um aumento do peso volúmico dos materiais causado pela saturação, e pode provocar erosão interna causada pelo fluxo subterrâneo ou superficial (Vallejo & Ferrer 2011).

Os fatores climáticos, como a frequência e intensidade de precipitações, variações de temperatura, períodos alternados de seca e precipitação, provocam alterações na estrutura dos terrenos que podem levar à perda de resistência dos materiais. Critérios de risco de instabilidade de taludes podem, e devem, ser estabelecidos com base em medições de precipitação (Vallejo & Ferrer 2011; Zêzere et al. 2015). Em regiões com clima mediterrânico, os episódios de precipitação intensa, após períodos prolongados de seca, são críticos para a ocorrência de deslizamentos (Zêzere et al. 2015).

Os fatores antrópicos, são também frequentemente consideradas determinantes na instabilidade de taludes, uma vez que a expansão contínua de áreas destinadas à agricultura, zonas industriais e urbanas, a ampliação constante de infraestruturas, como estradas, e a impermeabilização do solo, cria zonas instáveis (van Beek et al. 2008). A desflorestação nos taludes, ou próxima, em muitos países, é um problema bastante significativo, uma vez que torna os solos mais suscetíveis à erosão após a remoção da vegetação, podendo provocar instabilidades. As atividades de construção de áreas urbanas e zonas industriais, estão a expandir-se para terrenos mais íngremes, com riscos associados ao colapso vertentes, com o acréscimo de corresponderem a áreas de elevados volumes de escoamento superficial, associado à impermeabilização do solo e com alterações da drenagem natural, promovendo a erosão nos taludes.

Estas construções, denominadas de cargas estáticas, que geralmente correspondem ao peso das estruturas e edifícios, redes rodoviárias e ferroviárias nos taludes ou até as cargas resultantes de aterros, depósitos de resíduos e até mesmo veículos pesados, ao serem aplicadas no topo dos taludes, provocam a modificação das distribuições das forças nas vertentes, que podem provocar instabilidades (e.g., van Beek et al. 2008; Vallejo & Ferrer 2011; Chaminé et al. 2010).

Ainda associado aos fatores antrópicos, podem estar as alterações climáticas, embora alguns investigadores considerem que as causas são ainda controversas, estão a ocorrer a um ritmo anormalmente acelerado e, com o aquecimento global, provocam a ocorrência mais frequente

fenómenos meteorológicos mais extremos, que podem desencadear movimentos de vertentes e agravar a erosão (van Beek et al. 2008).

Por último, um fator natural que provoca instabilidade em taludes, ainda que a probabilidade de ocorrência seja reduzida, são os sismos. Os sismos correspondem a cargas dinâmicas, assim como à sismicidade induzida e às vibrações provocadas por explosões próximas, ou até à passagem de veículos pesados. Afetam sobretudo os taludes de maciços rochosos fraturados, abrindo descontinuidades existentes, provocando uma diminuição da sua resistência ao corte e movimentando blocos de rocha que podem desprender-se do maciço e tombar. Em situações de sismos de elevada intensidade, a aplicação instantânea de forças pode desencadear o colapso generalizado de vertentes, especialmente quando estas já se encontram em condições suscetíveis à instabilidade (Vallejo & Ferrer 2011). A ocorrência de sismos aumenta consideravelmente a probabilidade de ocorrerem movimentos de vertente, devido à vibração do solo ou à dilatação dos materiais provocada pelos movimentos associados ao sismo (Cruden & Varnes 2004).

2.2.1. Movimentos de vertente

Os movimentos de vertente correspondem a um amplo conjunto de processos que resultam no movimento de massa descendente e também, por vezes, lateral, de materiais geológicos constituintes dos taludes, nomeadamente solo, rocha e/ou detritos, ao longo deste, sob a ação predominante da gravidade (e.g., Varnes 1978; Cruden & Varnes 2004). Estes processos são fundamentais na modelação do relevo dos taludes e arribas costeiras e podem representar riscos significativos para pessoas e bens.

Os movimentos de vertente, ou vulgarmente conhecidos como “deslizamentos de terra”, podem apresentar características mistas ou complexas, com diferentes tipos de deslocamento. Por esta razão, o uso do termo movimentos de vertente é mais abrangente (Varnes 1978).

A classificação dos movimentos de vertente, pode basear-se essencialmente no tipo de movimento (queda, tombamento, deslizamentos, expansões laterais e fluxos) e no tipo de material (rocha ou solo, subdividido em solos grosseiros ou finos). Esta classificação, que é a mais aceite pela comunidade científica, encontra-se representada na Tabela 1 e foi proposta por Varnes (1978).

Tabela 1 - Classificação de movimentos de vertentes (adaptado de Varnes 1978).

Tipo de movimento		Tipo de material	
		Rocha	Solos
			Predominantemente grosseiros Predominantemente finos
Quedas		Queda de blocos	Queda de detritos
Tombamentos		Tombamento de blocos	Tombamento de detritos
Deslizamentos	Rotacionais	Deslizamentos em rochas	Deslizamentos em detritos
	Translacionais		
Expansões laterais		Expansões laterais em rocha	Expansões laterais em detritos
Fluxos		Fluxos em rochas	Fluxos de terras
Complexos		Ocorrência de um ou mais dos principais tipos de movimentos associados	

As quedas (Figura 1) correspondem a movimentos de massa, de qualquer dimensão, de blocos de rocha, solo ou detritos, que se soltam da face de um talude, vertical ou bastante inclinado, ao longo de uma superfície na qual ocorre pouco ou nenhum deslocamento por cisalhamento, e que descem através do ar, em queda livre, em saltos, ressaltos ou até, em rolamentos (Varnes 1978; Sunamura 1992). São movimentos muito a extremamente rápidos e que podem ou não ser precedidos por movimentos menores que levam a uma separação progressiva da massa de origem (Varnes 1978).



Figura 1 - Representação esquemática das quedas (extraído de Cruden & Varnes 2004).

Embora sejam mais comuns em rochas, podem ocorrer em maciços terrosos coesos ou parcialmente cimentados, após a erosão na base do talude, ação elevada da gravidade, presença de água ou até de atividade sísmica (Cruden & Varnes 2004). Os materiais resultantes das quedas acumulam-se na base dos taludes.

Os tombamentos (Figura 2) consistem no movimento de rotação, para a frente, de massas em torno de um eixo fixo durante o movimento, situado na base ou perto da base da massa, sob a ação da gravidade e de forças exercidas por unidades adjacentes ou até por fluidos presentes nas descontinuidades (Sunamura 1992; Cruden & Varnes 2004).



Figura 2 - Representação esquemática dos tombamentos (extraído de Cruden & Varnes 2004).

O tombamento pode ou não culminar numa queda ou deslizamento de uma massa, estando inteiramente dependente da geometria da massa instável e da orientação e extensão das suas descontinuidades (Varnes 1978). Estas descontinuidades podem corresponder a planos de estratificação, superfícies de xistosidade, fraturas ou fendas de tração, originadas pela rápida descompressão do terreno confinante, frequentemente induzida pela erosão de uma camada inferior que sustentava um bloco saliente da arriba. A acumulação de água nas descontinuidades, que se traduz num aumento da pressão hidrostática, contribui significativamente para a instabilização de blocos, assim como as tensões impostas pelo maciço adjacente (Brissos 2013).

Os deslizamentos são movimentos de massa em que existe uma zona de fraqueza distinta que separa a massa do deslizamento da massa subjacente, mais estável. Estes movimentos consistem em deformações por cisalhamento, seguidas de um deslocamento de massa ao longo de uma ou várias superfícies de rotura. Este movimento pode ser progressivo, em que a rotura por cisalhamento ocorre de forma gradual ao longo da superfície instável, que eventualmente torna a superfície de rotura, mas pode propagar-se a partir de uma zona de falha. A massa deslocada pode mover-se para além da superfície inicial de rotura, passando a deslocar-se sobre a superfície previamente estável do terreno original, que então passa a constituir uma superfície de separação (Varnes 1978; Cruden & Varnes 2004).

Os deslizamentos foram subdivididos e classificados em dois principais tipos de movimentos, os deslizamentos rotacionais e os movimentos translacionais. A diferença entre eles é igualmente

significativa na análise da estabilidade e no projeto de métodos de controle de taludes e arribas costeiras (Varnes 1978).

Os deslizamentos rotacionais (Figura 3) são movimentos de massa onde a superfície de rotura é curva e concava, com um movimento de deslizamento aproximadamente rotacional em torno de um eixo paralelo à superfície do terreno e transversal ao deslizamento (Cruden & Varnes 2004). Os deslizamentos, isolados ou combinados com outros tipos de movimento, são problemas complexos para a engenharia, uma vez que ocorrem apenas ao longo de superfícies de rotura internas, não visíveis (Varnes 1978).

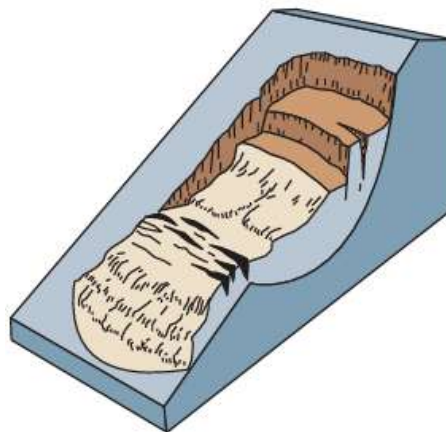


Figura 3 - Representação esquemática dos deslizamentos rotacionais (extraído de Cruden & Varnes 2004).

Este tipo de movimento, na sua parte superior, pode ser quase totalmente descendente, com pouca rotação aparente. No entanto, a superfície superior de cada unidade inclina-se frequentemente para trás, com direção à encosta. Ainda assim, alguns blocos podem apresentar inclinação para a frente. A forma que este tipo de movimento apresenta é bastante influenciada por falhas, estratificações ou outras descontinuidades presentes no maciço. Estes movimentos criam sucessivas escarpas íngremes e podem promover zonas de retenção de água (inclinação para trás de blocos), tornando-se frequentemente zonas de instabilidade contínua, com um constante movimento e expansão intermitente, até que seja atingido uma encosta estável com declive bastante reduzido (Varnes 1978).

Os deslizamentos translacionais (Figura 4) são movimentos de massa que se deslocam para fora ou para baixo do talude ao longo de uma superfície aproximadamente planar ou ligeiramente ondulada, com um ligeiro movimento rotacional ou uma inclinação para trás, típica de deslizamentos rotacionais. A massa resultante do deslizamento tende a deslocar-se sobre a superfície original do terreno (Varnes 1978; Cruden & Varnes 2004).

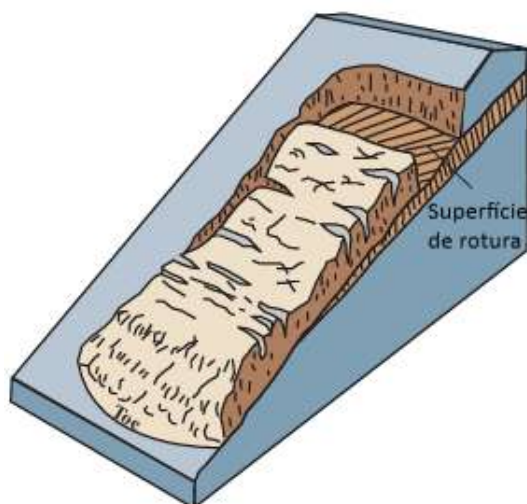


Figura 4 - Representação esquemática dos deslizamentos translacionais (adaptado de Cruden & Varnes 2004).

Este tipo de deslizamento pode progredir indefinidamente se a superfície de ruptura for suficientemente inclinada. Se este movimento de massa corresponder a uma única unidade de massa, não muito deformada, ou apenas em algumas unidades estreitamente relacionadas, pode ser denominado de deslizamento de blocos. Caso o movimento contenha diversas unidades semi-independentes, é denominado de deslizamento interrompido (Cruden & Varnes 2004).

Superfícies de fraqueza, como falhas, descontinuidades, planos de estratificação, variações na resistência ao corte entre litologias de depósitos estratificados ou até o contacto entre rocha e solo sobrejacentes, controlam estruturalmente os deslizamentos translacionais. Em diversos deslizamentos translacionais, a massa movimentada apresenta-se intensamente deformada, ou fragmentada em múltiplas unidades semi-independentes. Com a progressão na deformação e desintegração, e em particular, com o aumento do teor em água, ou da velocidade do movimento, ou ambos, a massa movimentada, quando quebrada ou interrompida, pode evoluir para fluxo (Varnes 1978).

Os movimentos de massa, denominados expansões laterais, são movimentos distintos, uma vez que ocorrem em declives muito suaves ou até em terrenos planos (Figura 5). O movimento é dado por extensão lateral, acompanhada por falhas de corte ou tração, causadas por liquefação, onde sedimentos saturados, soltos e não coesivos (areias e siltes) passam do estado sólido, para um estado liquefeito. Quando o material coerente, rocha ou solo, está assente sobre materiais liquefeitos, as unidades superiores podem sofrer fraturação e extensão, podendo posteriormente sofrer subsidência, translação, rotação, desintegração ou até liquefação e escoamento (Cruden & Varnes 2004).

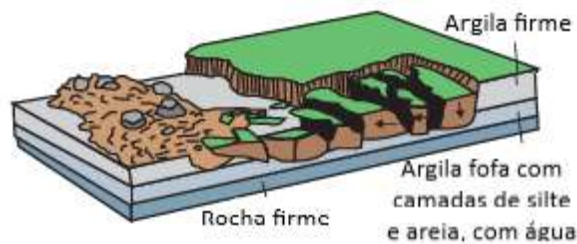


Figura 5 - Representação esquemática de expansões laterais (adaptado de Cruden & Varnes 2004).

Muitos exemplos de movimento de vertentes não podem ser classificados como quedas, tombamentos, deslizamentos ou expansões laterais. Em materiais não consolidados, estes movimentos geralmente assumem a forma de fluxos bastante evidentes, que podem ser rápidos ou lentos, húmidos ou secos. Em maciços rochosos, os movimentos mais difíceis de classificar são os extremamente lentos e distribuídos por várias fraturas próximas, mas não interligadas, ou os movimentos dentro do maciço rochoso que resultam em dobramento ou curvatura. Em muitos casos, a distribuição das velocidades do movimento, assemelham-se à de fluidos viscosos, e, deste modo, os movimentos podem ser descritos como uma forma de fluxo de rocha intacta (Varnes 1978).

Os fluxos correspondem a uma deformação contínua sob uma tensão constante. Este tipo de movimento geralmente é impercetível e apresenta três fases: primária (desaceleração); secundária (estável ou quase estável); e terciária (aceleração até à rotura). A deformação é, geralmente, visível nas fases finais. Os fluxos podem ocorrer em combinação com outros tipos de movimentos (Varnes 1978). Os movimentos de massa do tipo fluxo dividem-se em cinco categorias: fluxo de detritos, avalanche de detritos, fluxo de terra, fluxo de lama e *creep* (Cruden & Varnes 2004).

O fluxo de detritos (Figura 6) é um movimento rápido de massa, de uma mistura de solo solto, rocha, matéria orgânica, ar e água, que se mobiliza, como uma pasta, pelo talude. Este tipo de fluxo tem, na sua constituição, menos de 50% de partículas finas e, geralmente, são causados por um escoamento superficial de água intenso, após um episódio de precipitação forte ou até um derretimento rápido de neve, que provoca uma erosão da encosta e mobiliza o solo ou a rocha solta. Os fluxos de detritos também podem originar-se a partir de outros tipos de movimentos de massa, em taludes íngremes, geralmente quase saturados e compostos por grandes porções de silte e areia. Os locais mais associados a fluxos de detritos são ravinamentos íngremes nos taludes, e esse movimento origina depósitos na base, em forma de leque. A remoção da vegetação dos taludes, por vezes causada por incêndios, aumenta a suscetibilidade à ocorrência deste tipo de movimento (Cruden & Varnes 2004).

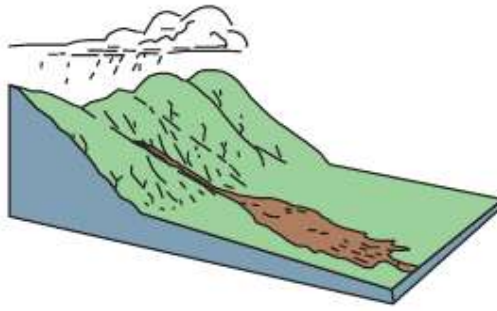


Figura 6 - Representação esquemática de fluxos de detritos (extraído de Cruden & Varnes 2004).

A avalanche de detritos (Figura 7) é uma variante do fluxo de detritos e corresponde, contrariamente ao anterior, a um movimento muito a extremamente rápido dos detritos (Cruden & Varnes 2004).

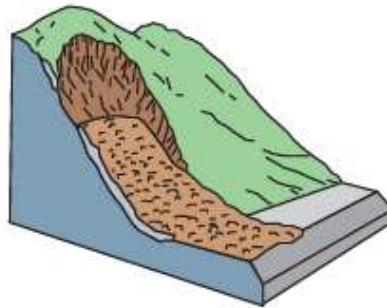


Figura 7 - Representação esquemática de avalanche de detritos (extraído de Cruden & Varnes 2004).

Os fluxos de terra (Figura 8) ocorrem quando o material constituinte do talude se liquefaz e escorre pela encosta, formando uma depressão com a forma de taça, no topo do movimento. Apresentam, geralmente, uma forma característica de ampulheta. O movimento do fluxo é alongado e ocorre principalmente em materiais de grão fino, saturados, sendo também possível, no entanto, ocorrerem em materiais granulares, secos (Cruden & Varnes 2004).



Figura 8 - Representação esquemática dos fluxos de terra e de lama (adaptado de Cruden & Varnes 2004).

Se os fluxos de terra forem constituídos por material que contenha pelo menos 50% de partículas do tamanho de areia, silte e argila, e suficientemente húmido para fluir rapidamente, são denominados de fluxo de lama (Figura 8). Os fluxos de terra e os fluxos de lama são vulgarmente referidos como deslizamentos de lama (Cruden & Varnes 2004).

Os movimentos de fluxo, denominados de *creep* (Figura 9), correspondem a um movimento descendente, lento e impercetível, de solo ou rocha dos taludes. São causados por tensões de cisalhamento capazes de provocar uma deformação permanente, mas demasiado fracas para provocar uma rotura. Existem três tipos de *creep*: o *creep* sazonal, com um movimento que ocorre em profundidade no solo, causado por variações sazonais de humidade e temperatura; o *creep* contínuo, onde a tensão de cisalhamento excede continuamente a resistência do material; e o *creep* progressivo, quando as encostas estão próximas de atingir o ponto de rotura. Este tipo de fluxo geralmente é impercetível podendo, no entanto, ser detetado pela presença, nos taludes, de troncos de árvores curvadas, vedações ou postes inclinados e pequenas ondulações ou cristas no solo (Cruden & Varnes 2004).



Figura 9 - Representação esquemática do *creep* (adaptado de Cruden & Varnes 2004).

2.2.1. Tipos de rotura em maciços rochosos

Os maciços rochosos possuem geralmente planos de descontinuidades ou superfícies de maior fraqueza que dividem o maciço em blocos de rocha intacta. Estes planos de descontinuidade conferem ao maciço um carácter descontínuo e anisotrópico. Descrever e caracterizar o maciço rochoso, o seu comportamento mecânico, em termos de resistência e deformabilidade, é um processo bastante complexo, uma vez que as suas características e propriedades variam consideravelmente e são influenciadas por diversos fatores (Vallejo & Ferrer 2011).

O estudo da geologia estrutural e das descontinuidades do maciço rochoso é fundamental, dado que os planos de fraqueza pré-existent controlam os seus processos de deformação e rotura do (Vallejo & Ferrer 2011).

Os diferentes tipos de rotura em maciços rochosos são condicionados pelo tipo de descontinuidade e/ou fraturas, pelo seu grau de fracturação, pela orientação e distribuição das descontinuidades em relação à face do talude, e também pela rugosidade e preenchimento das descontinuidades (Wyllie & Mah 2005). A estabilidade é definida pela resistência das descontinuidades e da rocha intacta. Em maciços de rocha dura, a localização dos planos de rotura é determinada pelas descontinuidades, enquanto que nos maciços de rochas brandas, a rocha também desempenha um papel fundamental no desenvolvimento e na localização dos planos de rotura e nos próprios mecanismos de rotura (Vallejo & Ferrer 2011).

Os tipos de rotura em maciços rochosos mais frequentes são a rotura planar, a rotura por cunha, rotura por *toppling* ou tombamento e rotura circular ou não planar (e.g., Wyllie & Mah 2005; Vallejo & Ferrer 2011; Deb & Verma 2016).

Os tipos de rotura planar, por cunha e por tombamento, num maciço de rocha, dependem essencialmente da orientação da superfície das descontinuidades, da face do talude, e da resistência ao corte da descontinuidade. O tipo de rotura circular, é mais comum ocorrer em taludes formados por rocha branda e/ou solta e maciços terrosos (Deb & Verma 2016).

As roturas planares (Figura 10), ocorrem ao longo de uma superfície pré-existente, como planos de estratificação, descontinuidades ou falhas. Para que estas aconteçam, é necessário que as superfícies de descontinuidades apresentem uma direção de inclinação igual à do talude, que o plano de rotura esteja exposto “a céu aberto” na face do talude, e que apresente uma inclinação superior ao seu ângulo de atrito (Vallejo & Ferrer 2011; Deb & Verma 2016). Em taludes onde exista uma escavação paralela às superfícies de estratificação, a rotura planar pode ocorrer através de deslizamento ao longo dos planos de estratificação, sendo típico em rochas como xistos, com os planos de rotura gerados ao longo da xistosidade (Vallejo & Ferrer 2011). Na Figura 10 é possível observar a representação estereográfica típica dos planos de rotura planar, com a representação dos planos de descontinuidade em relação à orientação do talude, com a identificação do plano do talude, do plano de descontinuidade e da direção da rotura planar (Wyllie & Mah 2005; Vallejo & Ferrer 2011).



Figura 10 - Representação esquemática da rotura planar (a) e representação estereográfica típica dos planos de rotura planar (b) (adaptado de Wyllie & Mah 2005).

As roturas por cunha (Figura 11) correspondem a deslizamentos translacionais em forma de cunha, que ocorrem quando planos de descontinuidade se combinam para formar um bloco de rocha que pode deslizar ao longo de uma linha de interseção de dois planos de descontinuidades, com mergulho na direção da face do talude. Para que este tipo de rotura ocorra, os dois planos devem aflorar à superfície do talude e cumprir as mesmas condições da rotura planar anteriormente referidas. A probabilidade de ocorrência de rotura por cunha aumenta quando a direção das descontinuidades corta a face do talude de forma oblíqua, e a sua linha de interseção encontra-se na face do talude (Vallejo & Ferrer 2011; Deb & Verma 2016). Para que um bloco, formado por cunha, deslize ao longo da linha de interseção de dois planos de descontinuidades, é necessário que a inclinação da linha de interseção seja significativamente maior do que o ângulo de atrito interno do maciço, e que o mergulho da linha de interseção esteja entre a base e o topo do talude (Deb & Verma 2016). Este tipo de rotura geralmente ocorre em maciços rochosos com vários planos de descontinuidades, onde a sua orientação, espaçamento e continuidade determinam a forma e o volume do bloco em cunha (Vallejo & Ferrer 2011). Na Figura 11 é possível observar a representação estereográfica típica dos planos de rotura por cunha, com a representação da interseção de dois planos de descontinuidade e a direção da inclinação das cunhas formadas num talude com determinada inclinação. Com a comparação da atitude do talude, dos planos de descontinuidade, da linha de interseção dos planos da cunha, e do ângulo de atrito, determina-se se o movimento é cinematicamente possível, e se a cunha é estável ou instável (Wyllie & Mah 2005; Vallejo & Ferrer 2011).



Figura 11 - Representação esquemática da rotura por cunha (a) e representação estereográfica típica dos planos de rotura por cunha (b) (adaptado de Wyllie & Mah 2005).

A rotura por *toppling* ou tombamento (Figura 12) ocorre em taludes de maciços rochosos caracterizados por estratos ou descontinuidades com uma direção paralela ou sub-paralela à face do talude, e com um mergulho acentuado para o seu interior. Estas descontinuidades, que podem corresponder a fraturas, foliações ou mesmo estratificações, formam estruturas em forma de colunas ou lajes, com uma geometria alta e estreita. Este tipo de rotura pode ocorrer por tombamento em blocos ou tombamento por flexão. No tombamento por blocos, os estratos estão frequentemente organizados em colunas definidas por sistemas de descontinuidades ortogonais, enquanto que o tombamento por flexão ocorre em estratos finos, contínuos e fortemente inclinados, que se curvam progressivamente com o tempo, até fraturarem por flexão. A estabilidade dos blocos ou das lajes não depende exclusivamente da resistência ao cisalhamento das descontinuidades, dado que podem estar sujeitos a um movimento rotacional. A rotura ocorre quando o centro de gravidade da uma laje ultrapassa a sua base de apoio, favorecendo desta forma o tombamento. As roturas por tombamento podem-se iniciar por deslizamento, escavação e/ou erosão da base do talude, promovendo o desenvolvimento de fendas de tração e o recuo da instabilidade para o interior do maciço rochoso (Vallejo & Ferrer 2011; Deb & Verma 2016). Na Figura 12 observa-se a representação estereográfica típica dos planos de rotura por *toppling* ou tombamento, com a representação do plano de descontinuidade com direção de inclinação para dentro da face do talude e com a direção do tombamento (Wyllie & Mah 2005; Vallejo & Ferrer 2011).



Figura 12 - Representação esquemática da rotura por *toppling* ou tombamento (a) e representação estereográfica típica dos planos de rotura por *toppling* ou tombamento (b) (adaptado de Wyllie & Mah 2005).

A rotura circular ou não planar (Figura 13) pode ocorrer em taludes de maciços rochosos muito brandos e até mesmo em maciços rochosos bastante fraturados, com um grande número de descontinuidades, provocando no maciço, um comportamento isotrópico. Os conjuntos individuais de planos de descontinuidade não controlam a resposta mecânica do maciço, sendo que, nestes casos, o maciço rochoso comporta-se como um solo (Vallejo & Ferrer 2011). Na Figura 13 observa-se a representação estereográfica para este tipo de rotura, com a distribuição aleatória de descontinuidades (Wyllie & Mah 2005).



Figura 13 - Representação esquemática da rotura circular ou não plana (a) e representação estereográfica da rotura circular com uma distribuição aleatória de descontinuidades (b) (adaptado de Wyllie & Mah 2005).

Não obstante, a existência nos maciços rochosos de zonas específicas de maior fraqueza e de planos de descontinuidades muito contínuos, como por exemplo zonas de falha, podem condicionar os modelos de rotura anteriormente descritos, com outras tipologias diferentes (Vallejo & Ferrer 2011).

A representação estereográfica dos dados estruturais, como representado na Figura 10, Figura 11 e Figura 12, pode evidenciar várias concentrações significativas de polos de planos num talude, sendo necessário identificar aqueles que podem representar potenciais planos de rotura, e os que correspondem a estruturas que possam não estar envolvidas na instabilidade do talude (Vallejo & Ferrer 2011). Para tal, foram desenvolvidos ensaios para a identificação de concentrações

importantes de polos, e a realização de análise da estabilidade dos maciços, como por exemplo o ensaio de Markland (1972).

O ensaio de Markland (1972), para além de permitir a identificação da possibilidade dos tipos de rotura do maciço, permite ainda a identificação da superfície de direção da rotura. Este procedimento é conhecido como análise cinemática (Vallejo & Ferrer 2011).

No entanto, embora a análise por representação estereográfica forneça uma boa indicação das condições de estabilidade, não considera as forças externas que atuam no maciço, e que podem ter um efeito significativo na estabilidade. A análise cinemática com o ensaio de Markland (1972) permite identificar blocos potencialmente instáveis (Vallejo & Ferrer 2011).

2.3. Arribas costeiras

As arribas (*Cliff*) são taludes naturais, correspondendo, no entanto, ao caso particular de estruturas costeiras situadas na interface entre o continente e o oceano, e resultam da ação erosiva do oceano na linha de costa. As arribas costeiras podem ser consideradas como uma forma erosiva com um declive acentuado, esculpidas por processos marinhos, na base, por ação direta da ondulação ou até por processos (físicos, químicos e/ou biológicos) relacionados com a água do oceano, e, a topo, por processos subaéreos (e.g., Bird 2000; Neves 2004; Marques 2008, 2009; Queiroz & Marques 2019).

As arribas costeiras, do ponto de vista morfológico, são constituídas pela parte mais inferior, a base da arriba, o talude exposto, que corresponde à face da arriba, a crista da arriba e o topo da arriba. A constituição de uma arriba costeira pode ser observada na Figura 14. A base da arriba é, essencialmente, uma zona de escavação moldada pela ação direta da ondulação. A evolução gradual da zona de escavação retira sustentação à base da arriba, provocando um recuo da face da arriba em direção ao continente. A face da arriba constitui o talude propriamente dito, cuja superfície geológica se encontra exposta à erosão marinha e aos processos subaéreos.

A parte superior da arriba é constituída pelo topo, uma zona mais aplanada e pouco afetada pelos processos de evolução costeiros. Entre o topo da arriba e a face da arriba, situa-se a crista da arriba, que é uma linha que separa a extremidade superior, aplanada, da arriba inclinada, formando um vértice que separa o topo da face (Teixeira 2009; Costa 2012).

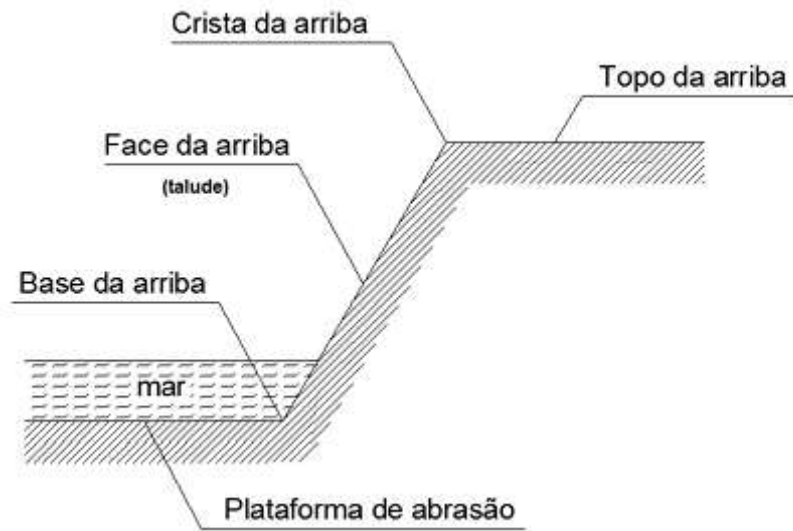


Figura 14 - Perfil morfológico de uma arriba costeira (extraído de Costa 2012).

Os perfis das arribas costeiras tendem a ser mais íngremes e verticais quando constituídos por rochas resistentes (arenitos bem cimentados, granitos, quartzitos). Em rochas menos resistentes (margas, argilitos, sedimentos não consolidados), os perfis são mais suaves, com inclinações menores. Existem ainda perfis de arribas costeiras compostos, do tipo “*slope-over-wall*” onde uma vertente superior, com uma inclinação suave (em materiais menos resistentes) termina numa plataforma inferior vertical (em materiais mais resistentes) (Bird 2000).

A instabilidade das arribas costeiras é fortemente condicionada por fatores climáticos e ambientais que afetam a integridade dos materiais geológicos e a dinâmica dos processos erosivos.

A evolução das arribas costeiras pode ser considerada cíclica, associando-a aos perfis que as arribas apresentam com a atuação dos vários processos. As ações de processos marinhos promovem o recuo da base da arriba, originando uma inclinação progressivamente mais elevada. Por outro lado, a ocorrência de movimentos de vertente, potencializados pela instabilidade da arriba, favorece inclinações menos acentuadas à arriba, com a acumulação de material resultante dos movimentos na base, conferindo, por sua vez, uma maior estabilidade e equilíbrio dinâmico à estrutura (Sunamura 1992). A Figura 15 apresenta um esquema sintetizado dos principais processos que controlam a evolução das arribas costeiras.

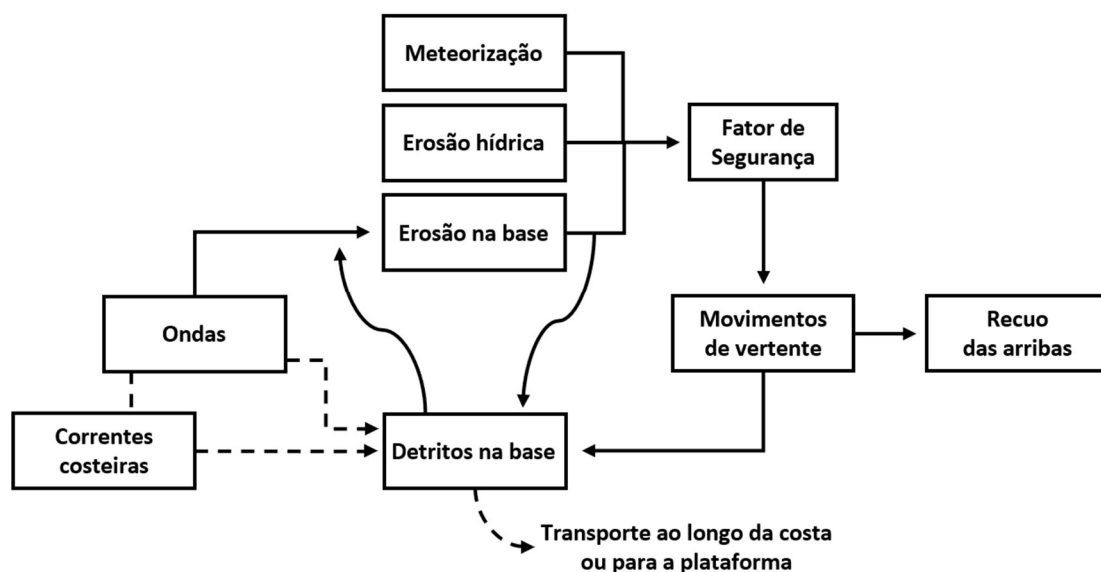


Figura 15 - Esquema síntese dos principais processos que controlam o recuo das arribas costeiras (adaptado de Sunamura 1992).

A intensa erosão marinha está associada à ocorrência de temporais, sobretudo durante o inverno, manifestando-se através do descalçamento da base da arriba, provocado pela forte ondulação incidente. Este processo resulta da combinação do aumento da pressão exercida pelo impacto das ondas, seguido de uma descompressão causada pela sucção das correntes de refluxo, e pela projeção de sedimentos contra a face da arriba (Bird 2000). Os principais fatores que controlam a erosão basal são a força exercida pelas ondas na base da arriba, e a resistência do material rochoso. A relação entre ambos determina se ocorre, ou não, a erosão. A ação mecânica das ondas exerce uma força abrasiva sobre a face da arriba, que resulta do impacto de partículas sólidas que estão a ser mobilizadas, nomeadamente a areia. A abrasão, consiste na erosão da superfície rochosa da base e da face da arriba, provocada pelo desgaste e fricção dos sedimentos (Sunamura 1992).

Bird (2000) refere que o clima é uma influência importante na meteorização de arribas costeiras, resultante de processos físicos, químicos e biológicos, relacionados não só com as condições subaéreas, mas também com a presença ou a proximidade do mar. Os detritos rochosos que se acumulam na base da arriba sob a forma de talude, com origem nos materiais que sofreram meteorização através dos processos climáticos anteriormente descritos, são consumidos e/ou removidos pela ação das ondas para que o recuo da arriba continue. Se estes detritos persistirem como uma praia protetora larga e a erosão marinha na base da arriba for interrompida, a arriba degrada-se por processos subaéreos. O aumento da intensidade de eventos extremos, associado às alterações climáticas, constitui uma ameaça acrescida à estabilidade costeira (Bird 2000).

Associados aos fatores climáticos e a eventos extremos, estão os fatores marinhos e costeiros relacionados com a ação das ondas. Como referido anteriormente, a intensa erosão marinha está associada à ocorrência de temporais e tempestades, sobretudo durante o inverno e até em marés altas, sobre a ação de forte ondulação incidente nas arribas costeiras. Esta ação exerce uma erosão contínua na base das arribas, manifestando-se através do descalçamento da base, removendo o suporte desta e aumentando a instabilidade por subescavação (Sunamura 1992; Bird 2000).

A erosão basal é controlada principalmente por dois fatores: pela força das ondas exercida na base da arriba, e pela resistência do material constituinte. Esta interação entre os dois fatores determina a ocorrência ou não de erosão. A ação mecânica das ondas promove também uma força abrasiva sobre a face da arriba, resultante do impacto de partículas sólidas em suspensão. A combinação da ação das ondas, com os processos de meteorização e erosão hídrica que estão associados a elas, provocam uma degradação dos materiais constituintes das arribas, originando uma diminuição do fator de segurança e promovendo a possibilidade de ocorrência de movimentos de vertente, resultando no processo cíclico de recuo da arriba (Sunamura 1992).

O material resultante não só da erosão basal, mas também dos movimentos de vertente, depositam-se na base da arriba, constituindo uma proteção da base, ainda que temporária. Decorrente da ação contínua das ondas, este material depositado sofre um transporte e dispersa-se para a plataforma continental adjacente e/ou ao longo da linha de costa, através da dinâmica das ondas e das correntes costeiras. Este transporte, desprotege a base da arriba, promovendo novamente a erosão basal. Esta sequência confere ao sistema, um comportamento cíclico e intermitente (Sunamura 1992).

Capítulo 3

Avaliação Geológico-Geotécnica da estabilidade de arribas costeiras

[página propositadamente em branco]

3. Avaliação Geológico-Geotécnica da estabilidade de arribas costeiras

3.1. Introdução

O confronto inevitável entre as consequências da evolução natural dos processos geológicos, da expansão muitas vezes descontrolada das cidades modernas para áreas geologicamente adversas e os danos causados por eventuais riscos naturais, ameaçam o frágil equilíbrio do meio ambiente. Neste contexto torna-se necessário realizar estudos geológico-geotécnicos não apenas em obras de engenharia de grande escala, mas também em intervenções de menor escala, as quais muitas vezes, têm um impacto mais direto e imediato no quotidiano das populações (e.g., Vallejo & Ferrer 2011; Queiroz & Marques 2019).

A avaliação das condições geológico-geotécnicas de um local é uma tarefa de elevada importância e deve ser representada através de um modelo conceptual, ou de uma série de modelos simplificados do terreno, que integrem e caracterizem sistematicamente todos os elementos importantes do local. As unidades geológicas de solo e rocha são geralmente subdivididas com base em fatores como o grau de consolidação e resistência, o espaçamento e tipo de fraturas, as condições hidrogeológicas ou até uma combinação destes. Os modelos devem identificar e considerar todos os perigos naturais que possam eventualmente afetar o local de estudo, podendo ser integrados com a estrutura de engenharia civil para posterior análise numérica. Este processo visa garantir que os critérios de tolerância de um determinado projeto são alcançados, isto é, para

a maioria das estruturas, os critérios são que a estrutura suporte as cargas previstas e que qualquer tipo de assentamento ou deformação, sejam admissíveis (Hencher 2012).

As estruturas geotécnicas, como fundações, estruturas de contenção de terras, aterros, cortes e taludes e obras subterrâneas, são construções cuja concepção e projeto assentam no estudo geológico-geotécnico, com especial foco no comportamento mecânico e hidráulico do maciço terroso e/ou do maciço rochoso do local. As caracterizações geológico-geotécnicas envolvem a identificação da sequência das camadas ou estratos geológicos que possam afetar o comportamento da estrutura, a caracterização física, mecânica e hidráulica dos solos que formam estas camadas ou estratos, e a caracterização das condições da água no solo. Esta caracterização dos maciços requer ensaios laboratoriais e *in situ* (Matos Fernandes 2020).

Considerando a importância das avaliações geológico-geotécnicas, em termos técnicos e financeiros, é essencial que sejam adequadamente planeadas e ajustadas às especificações do projeto, sendo que cada projeto requer um planeamento e seleção particular dos tipos de investigação do local a realizar. No planeamento deve-se considerar a informação disponível de estudos anteriores, os objetivos do projeto, as condições geológicas locais e regionais, o acesso ao local, os métodos de investigação mais adequados, e as estimativas de custos e prazos de execução (Vallejo & Ferrer 2011).

Os levantamentos de investigação do local para projetos de engenharia, devem ser planeados e supervisionado por especialistas em geologia e geotecnia, baseando-se na análise de informações disponíveis, incluindo a interpretação de fotografias aéreas e levantamentos de campo. Estes devem incluir a descrição geomorfológica, geológica e hidrogeológica do local, a identificação de potenciais problemas de geologia de engenharia e de riscos associados, bem como a definição das principais propriedades e dados geológicos a serem obtidos. Para a seleção das técnicas de investigação, é crucial considerar os métodos existentes para a obtenção dos parâmetros geomecânicos necessários, considerando igualmente as suas limitações, o cronograma e as datas previstas de conclusão, bem como a sua relação custo-benefício. Outros fatores que devem ser considerados são a localização, a profundidade e o número de levantamentos, os quais deve incidir em zonas geológicas e geotecnicamente representativas do local em estudo. A profundidade e o número de levantamentos dependem essencialmente dos objetivos do projeto e do tamanho da área a investigar. A definição de uma investigação de sucesso é uma combinação de planeamento adequado, métodos apropriados, recolha de dados fiáveis e a obtenção de resultados relevantes (Vallejo & Ferrer 2011).

A investigação da instabilidade em taludes e arribas costeiras requer a identificação dos potenciais processos de rotura, a análise das suas causas e fatores condicionantes, bem como o estudo dos diferentes tipos de movimentos envolvidos. Neste contexto, os levantamentos geológicos são necessários para identificar os locais suscetíveis à ocorrência de movimentos de taludes. Os resultados destas investigações permitem planejar medidas corretivas ou preventivas, e realizar análises de estabilidade focadas na conceção de medidas corretivas para mitigar riscos. Os resultados podem ser representados em mapas de zonas instáveis (mapas de inventário, vulnerabilidade e perigosidade ou risco), ou em perfis transversais e modelos (Vallejo & Ferrer 2011). Os levantamentos geológicos dos taludes permitem a identificação e avaliação de características como a geomorfologia e relevo, a litologia, o tipo de solo e grau de alteração, a estrutura do maciço rochoso (com destaque para a orientação dos planos de descontinuidade), os aspetos hidrogeológicos, a presença de linhas de água e sistemas de drenagem, a cobertura vegetal existente, o uso do solo, os processos naturais ativos no talude, as alterações resultantes de processos naturais ou antrópicos, bem como o reconhecimento de instabilidade recentes e antigas (Vallejo & Ferrer 2011).

No âmbito desta dissertação, os métodos de investigação aplicados aos casos de estudo incluíram: (i) o levantamento geológico das arribas costeiras, realizado através da técnica de amostragem linear (TAL); (ii) a execução de sondagens geológico-geotécnicas, acompanhadas com ensaios SPT (*Standard Penetration Test*); e (iii) a recolha de amostras destinadas a ensaios laboratoriais, com vista à obtenção de parâmetros de resistência e deformabilidade do solo e da rocha. Para complementar a aplicação da matriz de risco proposta no Capítulo 4, recorreu-se ainda à modelação numérica por elementos finitos utilizando o *software* RS2 da *Rocscience*, com o propósito de calcular a probabilidade de rotura a partir dos parâmetros de resistência e deformabilidade considerados.

3.2. Zonamento Geológico-Geotécnico

Num estudo de avaliação geológico-geotécnica, é comum proceder-se ao zonamento geológico-geotécnico, o qual se baseia na classificação de unidades geotécnicas consideradas “homogéneas”. Estas podem englobar unidades de diferentes idades geológicas e, quando necessário, ser divididas em subunidades para maior detalhe. O detalhe e o grau de homogeneidade das unidades dependem da escala, do propósito, e dos dados disponíveis e resultantes da avaliação geológico-geotécnica. Geralmente, as unidades geotécnicas e a sua distribuição espacial são definidas a partir de critérios litológicos, bem como nas características geológico-geotécnicas dos materiais. Estas são determinadas através da informação geológica disponível, de estudos anteriores, de levantamentos

de campo, de ensaios *in situ*, de ensaios laboratoriais e da análise de amostras (Vallejo & Ferrer 2011).

O zonamento geotécnico deve então ser baseado em parâmetros ou condições geológicas de engenharia, bem como nos fenómenos e processos geológicos que afetam a finalidade a que se destina. Esta finalidade pode estar associada a diferentes tipos de obras de engenharia civil, como edifícios, pontes, obras lineares, escavação e/ou contenção de taludes e estabilidade de taludes. Para além do zonamento, é realizada uma descrição das características geológico-geotécnicas das unidades, que podem ser classificadas de forma interpretativa, como por exemplo de acordo com a sua adequabilidade para a finalidade pretendida. Adicionalmente, estas unidades podem ser classificadas em função de potenciais problemas de natureza geotécnica, geológica, geomorfológica ou hidrogeológica que possam ocorrer (Vallejo & Ferrer 2011).

No âmbito desta dissertação, o zonamento geotécnico realizado baseou-se nos resultados do levantamento geológico e geomecânico, na execução de sondagens geológico-geotécnicas acompanhadas com ensaios SPT e nos resultados obtidos a partir de ensaios laboratoriais, particularmente no que respeita aos parâmetros de resistência e deformabilidade dos solos e das rochas.

3.3. Técnicas e Procedimentos de Campo

3.3.1. Técnica de Amostragem linear

A técnica de amostragem linear (também conhecida por cartografia através de “*scanlines*”) aplica-se no levantamento geológico e geotécnico das descontinuidades expostas nos maciços rochosos das arribas costeiras, estando amplamente definida por Priest (1993), Dinis da Gama (1995), Chaminé & Gaspar (1995), Chaminé et al. (2013, 2015), Watkins et al. (2015), Chaminé (2016) e Chaminé & Matos Fernandes (2023).

Esta técnica permite recolher dados de forma expedita, ao longo de linhas de amostragem representativas (denominadas por “*scanlines*”), permitindo, por extrapolação, definir o grau de alteração, o grau de compartimentação e o grau de resistência do maciço constituinte da arriba costeira, numa determinada área. A aplicação deste tipo de amostragem minimiza bastante os erros patentes em estudos de fraturação de maciços rochosos, resultantes da aleatoriedade da amostragem e da fraca representatividade dos dados obtidos (e.g., Terzaghi 1965; Priest 1993; Chaminé et al. 2015; Watkins et al. 2015).

A aplicação desta técnica consiste na colocação de uma fita métrica nas arribas a cartografar, posicionada a uma altura do solo aproximada de 1.5 metros (Priest 1993; Chaminé et al. 2015,

Chaminé 2016), seguida do levantamento de forma sistemática de todas as superfícies expostas do maciço, desde o ponto de origem de cada linha de amostragem, com o registo das características geológicas, geotécnicas e geomecânicas, de todas as descontinuidades intersectadas. A descrição de cada ponto de amostragem é registada numa ficha de levantamento de campo, desenvolvida com base na proposta ISRM (1981).

Para as descontinuidades intersectadas procede-se ao registo dos seguintes parâmetros (e.g., ISRM 1978, 1981, Priest 1993, Dinis da Gama 1995, Chaminé & Gaspar 1995, Vallejo & Ferrer 2011, Chaminé et al. 2015, Chaminé 2016):

- distância à origem da fita métrica;
- o tipo de descontinuidade;
- o tipo de terminação (T) da extremidade da descontinuidade (R: em rocha; D: noutra descontinuidade; O: obscura);
- a direção e inclinação (atitude) da descontinuidade;
- a curvatura (C) da descontinuidade, de C1 a C5, onde C1 representa superfícies planas e C5 superfícies muito curvas;
- a rugosidade (R) da descontinuidade, de R1 a R5, em que R1 é uma superfície lisa e R5 uma superfície muito rugosa;
- o grau de alteração, de W1 a W5, onde W1 é rocha sã e W5 é rocha decomposta;
- o grau de fraturação, de F1 a F5, onde F1 são afastadas e F5 próximas;
- a continuidade (L) das descontinuidades, em metros;
- a abertura das descontinuidades, em centímetros;
- o preenchimento das descontinuidades.

Para além destes registos, procede-se à caracterização geológica dos taludes e à identificação das ocorrências e instabilidades verificadas, como a escorrência de água, a queda de blocos e erosão da base. São igualmente consideradas outras informações relevantes, designadamente a presença de vegetação, as condições de drenagem e até ocupação a topo do talude.

Os dados referentes a cada “*scanline*” são registados numa ‘Ficha de Caracterização das Condições Geológico-Geotécnicas de Superfície de Taludes’ (constantes no Anexo II), com a indicação das principais famílias identificadas e as suas características. Também se inclui a identificação do cliente e da obra, do talude, o número da ficha, a data de elaboração e o responsável pela elaboração, as coordenadas do ponto inicial da “*scanline*”, as características gerais do talude, nomeadamente a

altura, orientação, inclinação e comprimento, o enquadramento geológico-geotécnico, o registo fotográfico do talude e a projeção estereográfica das famílias identificadas.

A execução desta técnica e o preenchimento das ‘Fichas de Caracterização das Condições Geológico-Geotécnicas de Superfície de Taludes’ é essencial para a recolha das informações necessários para o registo das tabelas de perigosidade e vulnerabilidade (Tabela 2, Tabela 3) e, subsequentemente, para a aplicação da matriz de risco (Tabela 6) apresentadas no Capítulo 3, desta dissertação.

3.3.2. Sondagens Geológico-Geotécnicas

As sondagens geológico-geotécnicas são um tipo de investigação *in situ* do solo e/ou da rocha, realizada através da perfuração, com orientação geralmente vertical. Estas correspondem, habitualmente, a furações de pequeno diâmetro, executadas com um equipamento relativamente leve, versátil e de fácil transporte, podendo atingir profundidades na ordem dos 100 metros. Para profundidades superiores, torna-se necessário recorrer a equipamentos mais pesados. Podem perfurar qualquer tipo de material, permitindo a extração de amostras para análise, bem como a realização de ensaios no interior da própria perfuração. O tipo de perfuração depende essencialmente do tipo de material que vai ser intersetado, do tipo de amostragem pretendida e da análise a realizar. Entre os métodos mais comuns destacam-se a perfuração rotativa, a perfuração a trado e a perfuração por percussão (Vallejo & Ferrer 2011; Hencher 2012). As sondagens realizadas no âmbito desta dissertação foram executadas com perfuração à rotação, motivo pelo qual apenas este método será descrito no presente capítulo.

As sondagens com perfuração à rotação permitem a extração de testemunhos de sondagem, e o processo baseia-se na fricção causada por uma ferramenta abrasiva, denominada de coroa, instalada na extremidade inferior de um tubo amostrador ou tubo de testemunho. Esta desgasta a superfície a ser perfurada, por meio de fricção de rotação. Com a penetração do tubo no solo ou na rocha, resultante da rotação da coroa, uma amostra cilíndrica, vulgarmente conhecida como testemunho, é recolhida no interior do tubo. A rotação é transmitida do equipamento à superfície para a coroa em profundidade por intermédio de uma coluna de varas, geralmente com 1,5 metros de comprimento cada. A perfuração à rotação é realizada por injeção, a partir da superfície, de um fluido de lavagem circulante, geralmente água ou lama bentonítica, que flui para baixo, dentro das varas e regressa à superfície entre o amostrador e as paredes do furo. Esta água utilizada no processo tem a dupla função de arrefecer a coroa e de evacuar os detritos da perfuração para a superfície, assegurando simultaneamente a limpeza do fundo do furo (Vallejo & Ferrer 2011; Hencher 2012; Matos Fernandes 2020). O tubo amostrador contém um mecanismo no seu interior

que se comporta como uma mola, que se abre à passagem do testemunho e o prende, evitando que este escorregue do tubo amostrador à medida que é retirado através da coluna de varas (Vallejo & Ferrer 2011).

Tradicionalmente, as sondagens com perfuração à rotação apenas eram realizadas em terrenos resistentes, com solos e rochas muito duros. Contudo, com a melhoria da tecnologia, em particular com o uso de amostradores de parede tripla, estas operações tornaram-se relativamente comuns em solos moles (Matos Fernandes 2020).

Os tubos amostradores podem ser de tubo de parede simples ou dupla. Nos tubos amostradores de parede simples, o fluido de perfuração atravessa toda a superfície da amostra, o que, aliado à rotação do tubo, pode provocar a desintegração de solos parcialmente cimentados ou de rochas muito brandas. Este amostrador apenas é utilizado quando não é necessária uma grande recuperação de material. Se for necessária uma elevada percentagem de recuperação de material, recorre-se ao tubo amostrador de parede dupla. Neste sistema, a água de perfuração circula através de um anel existente entre os tubos, e apenas entra em contacto com a amostra na base do tubo, onde se une à coroa. O tubo interior é montado sobre rolamentos de forma a que fique quase estacionário, enquanto o tubo exterior realiza o movimento de rotação. Para reduzir ainda mais o efeito prejudicial dos fluidos de perfuração, pode ser utilizado o tubo amostrador de parede tripla, onde a amostra é revestida num terceiro tubo alojado dentro do tubo duplo. Este tubo pode estender-se ligeiramente para além da coroa do tubo exterior que efetua a rotação, e perfura o solo como uma coroa de corte, que se retrai ou estende dependendo da compactação do solo (Vallejo & Ferrer 2011; Matos Fernandes 2020).

Este tipo de sondagem permite perfurar qualquer tipo de solo ou rocha, em qualquer ângulo de inclinação e a profundidades consideráveis, com a extração de testemunhos de sondagem, dado que é um processo contínuo e que pode fornecer uma percentagem muito elevada de recuperação de testemunho (Vallejo & Ferrer 2011).

Existem diversos tipos de diâmetros das coroas de perfuração que influenciam o tamanho do diâmetro do testemunho, sendo a sua seleção ajustada em função do objetivo do trabalho (Vallejo & Ferrer 2011).

Para obter os melhores desempenhos e resultados numa sondagem geológica-geotécnica, as técnicas de operação devem ser adaptadas não só ao tipo de material a ser perfurado, mas também aos tipos mais adequados de coroas e tubos amostradores. As velocidades de rotação, as pressões

exercidas na coroa e o binário de funcionamento, têm também de ser adaptados ao material que está a ser perfurado. Estas particularidades tornam o sucesso de uma sondagem muito dependente do conhecimento e experiência do operador, assim como das condições do equipamento utilizado (Vallejo & Ferrer 2011).

Como referido, este tipo de perfuração permite a recolha de amostras perturbadas de solo, dependendo da sua coesão, ou de rocha sob a forma de testemunho, usualmente em intervalos de manobras de 1,5 metros de profundidade. Geralmente, estas sondagens permitem também, nas manobras, a execução de ensaios de resistência *in situ*, bem como a recolha de amostras (Vallejo & Ferrer 2011; Hencher 2012).

3.3.3. Recolha de amostras

O principal objetivo da recolha de amostras em sondagens consiste em obter material representativo das propriedades do terreno para posterior análise laboratorial. As amostras podem ser classificadas como amostras perturbadas e amostras não perturbadas (indeformadas), mediante a utilização de amostradores específicos (Vallejo & Ferrer 2011). As amostras perturbadas, como o nome indica, sofreram alterações na sua estrutura e no seu teor de água, embora conservem a sua composição mineralógica. Geralmente são recolhidas em poços de prospeção, podendo, contudo, ser recolhidas em furos de sondagem. Estas amostras são adequadas para análises laboratoriais de classificação granulométrica, de consistência e de mineralogia (Vallejo & Ferrer 2011). As amostras não perturbadas (indeformadas) são, em teoria, recolhidas sem sofrer qualquer tipo de perturbação e alteração da sua estrutura ou teor de água, exigindo, por isso, cuidados rigorosos durante o processo de amostragem. Contudo, todas as amostras obtidas em profundidade tendem a expandir-se ao serem retiradas do seu estado de tensões *in situ*, pelo que apresentam, inevitavelmente, diferenças relativamente ao solo original, em especial no que respeita ao seu estado de tensão inicial. Estes tipos de amostras podem ser recolhidas em furos de sondagem, mediante a utilização de amostradores apropriados, ou em escavações de prospeção, através do corte de blocos de solo. Alternativamente, podem ainda ser retiradas com recurso a amostradores cilíndricos, cravados ou pressionados diretamente no solo. Os testemunhos de sondagem podem ser revestidos com uma fina camada de cera derretida assegurando a proteção contra alterações no teor de água e para minimizar danos causados no transporte e manuseamento. Estas amostras são necessárias para ensaios laboratoriais de resistência, deformabilidade e permeabilidade, bem como para análises de caracterização do solo (Vallejo & Ferrer 2011; Matos Fernandes 2020). Como referido, a recolha de amostras não perturbadas exige a utilização de amostradores específicos. No caso de sondagens executadas por

perfuração à rotação, recorrem-se a amostradores de parede dupla ou tripla, em que o tubo interior permanece estático, possibilitando a obtenção de amostras não perturbadas de rocha. Para a recolha de amostras não perturbadas em solos, são utilizados amostradores de paredes espessas, geralmente com um tubo PVC no seu interior, que é cravado no solo, permitindo que a amostra se aprisione dentro do tubo PVC. Posteriormente, este é devidamente selado, de forma a garantir a sua preservação, evitando alterações no teor de água e danos causados durante o transporte e manuseamento (Vallejo & Ferrer 2011).

3.3.4. Ensaios SPT (*Standard Penetration Test*)

O ensaio geotécnico *in situ* mais utilizado a nível mundial é o *Standard Penetration Test* (SPT), cujo uso se generalizou a partir da década de 1940, após a publicação do livro *Soil Mechanics in Engineering Practice* (Terzaghi & Peck 1948). Este ensaio consiste na cravação dinâmica de um amostrador normalizado no fundo de um furo de sondagem, pela queda livre de um peso de 63,5 kg de a partir de uma altura de 76 cm. O amostrador é constituído por um tubo bipartido de aço (com diâmetros exterior e interior de 51 mm e 35 mm, respetivamente) com um comprimento de aproximadamente 80 cm e um peso (pilão) aproximado de 6,8 kg. Na sua extremidade inferior do amostrador, é fixada uma ponteira de cravação, que facilita a penetração no solo e, na extremidade oposta, apresenta uma rosca que permite a ligação à coluna de varas e é fornecida com uma válvula de retenção e aberturas laterais para permitir a circulação do ar e da água, durante a penetração do amostrador (Matos Fernandes 2020). A operação de perfuração da sondagem é interrompida, geralmente após manobras de 1,5 metros, para a realização do ensaio SPT. Após a limpeza do fundo do furo, efetuada com a injeção do fluido circulante, removendo o material desagregado, o amostrador é inserido, através da coluna de varas, até ao fundo do furo. Depois de posicionar o amostrador no fundo do furo, em contacto com o terreno, na vara superior, à superfície, é ajustada e colocada uma bigorna que receberá os golpes do martelo (pilão de 63,5 kg a cair de uma altura de 0,76 m), promovendo a cravação do amostrador SPT (Matos Fernandes 2020).

O ensaio é realizado em duas fases sucessivas: na 1ª fase, o amostrador é cravado 15 cm, registando-se o número de pancadas necessárias; na 2ª fase, procede-se à penetração adicional de 30 cm (15 cm + 15 cm), divididos em dois avanços consecutivos de 15 cm cada, contabilizando-se igualmente o número de golpes correspondentes. O número de pancadas registado na 1ª fase é considerado meramente informativo, uma vez que corresponde à penetração através do solo ou rocha branda mais perturbado pela perfuração. Já o número total de pancadas da 2ª fase, resultante do somatório das duas subfases de 15 cm, é designado por N ou “resistência à penetração”, sendo considerado como o resultado do ensaio. Se, na 1ª fase, o número de pancadas

atingir as 50, sem uma penetração de 15 cm, ou, na 2ª fase, o mesmo número de pancadas sem que se verifique a penetração total de 30 cm, o ensaio deve ser interrompido, sendo então registrada a profundidade efetiva de penetração do amostrador (EN ISO 22476-3 2005; Matos Fernandes 2020). O esquema de realização do ensaio SPT está representado na Figura 16.

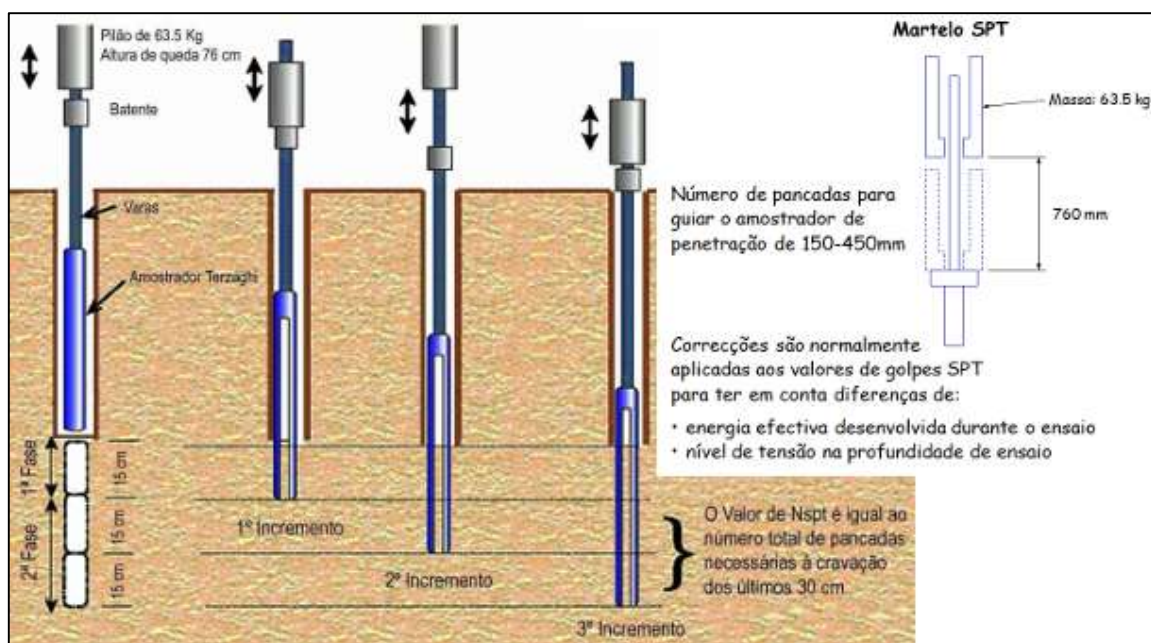


Figura 16 - Esquema da realização do ensaio SPT de acordo com a EN ISO 22476-3 2005 (extraído de Ordem dos Engenheiros 2000).

O ensaio SPT, para além de ser um ensaio que nos fornece a resistência à penetração, constitui igualmente um método de recolha de amostras perturbadas, obtidas pela cravação do amostrador, geralmente realizada com um espaçamento de 1,5 metros, ou menos, sempre que exista mudança de litologia durante a perfuração. Após a sua recuperação à superfície, o amostrador é aberto em duas metades, permitindo a observação direta do solo no seu interior. A fração correspondente aos últimos 30 cm do solo amostrado é armazenado e acondicionado, geralmente numa pequena caixa ou em sacos devidamente identificados e selados, para posterior análise laboratorial e definição da estratigrafia e litologia do terreno (Matos Fernandes 2020).

Os perfis geológicos-geotécnicos, geralmente elaborados no âmbito de uma avaliação geológico-geotécnica e que representam a sucessão de horizontes geológicos, constituem a base para os estudos geotécnicos de uma determinada obra. Estes perfis são, em grande parte, definidos a partir das amostras perturbadas recolhidas pela cravação do amostrador SPT, bem como dos valores de N registados no ensaio (Matos Fernandes 2020). Os ensaios SPT realizados no âmbito desta dissertação, em ambos os casos de estudo, foram executados de acordo com a EN ISO 22476-3

2005 e com o Eurocódigo 7 – Parte 3 (ENV 1997-3 2000), mas também de acordo com as Recomendações na Área da Geotecnia (Ordem dos Engenheiros 2000).

3.3.5. Ensaios Laboratoriais

A partir da execução dos furos de sondagem, da recolha de testemunhos e da amostragem obtida através do ensaio SPT, foram recolhidas amostras perturbadas e não perturbadas. Sobre estas amostras realizaram-se diversos ensaios laboratoriais, conduzidos de acordo com normas nacionais e internacionais, com o objetivo de caracterizar as propriedades físicas e mecânicas dos solos e rochas. Os resultados obtidos permitiram determinar os parâmetros geotécnicos necessários para a avaliação da estabilidade das arribas. No âmbito desta dissertação, foram realizadas, nas amostras de solos, análises granulométricas por peneiração e sedimentação, determinação do teor em água, limites de *Atterberg*, massa volúmica, densidade de partículas sólidas, resistência à compressão uniaxial e ensaio de corte direto do tipo CU. Nas amostras de rocha foi realizado o ensaio de tensão de rotura em compressão uniaxial.

A análise granulométrica por peneiração consiste na separação das partículas constituintes do solo em diferentes frações de tamanho dos grãos, e permite determinar a percentagem em peso correspondente a cada intervalo granulométrico, para partículas maiores que 0,075 mm. O ensaio consiste na secagem da amostra de solo, de modo a desagregar as partículas e, posteriormente, o material é peneirado por meio de agitação numa coluna de peneiros, dispostos de forma sequencial com aberturas de malha progressivamente menores. O material retido em cada peneiro é pesado, sendo a percentagem passante em cada malha calculada com base no peso inicial da amostra. Isto permite obter a curva granulométrica, definida como a distribuição em percentagem percentual (percentagem do peso total) das partículas do solo de acordo com as suas dimensões (Vallejo & Ferrer 2011; Matos Fernandes 2017).

A análise granulométrica por sedimentação, à semelhança da peneiração, consiste na separação das partículas constituintes do solo em diferentes frações de tamanho dos grãos, para partículas de menores dimensões ($\leq 0,075$ mm). O ensaio pode ser efetuado através do método do hidrómetro, baseado na Lei de Stokes, que descreve a velocidade de sedimentação de partículas esféricas numa suspensão líquida. Alternativamente, pode-se recorrer a granulómetros, que procedem à análise granulométrica através do varrimento do solo com raios laser. Em ambos os casos a fração mais grossa é ainda analisada por peneiração (Vallejo & Ferrer 2011; Matos Fernandes 2017). Em suma, a análise granulométrica por peneiração é aplicável à determinação da distribuição granulométrica das areias e cascalhos, enquanto que a análise granulométrica por sedimentação se destina à determinação da distribuição granulométrica dos siltes e argilas (Vallejo & Ferrer 2011).

As análises granulométricas por peneiração foram realizadas de acordo com a especificação técnica LNEC E239 1970, e as análises granulométricas por sedimentação seguiram o disposto na norma LNEC E196 1966.

A análise para a obtenção do teor em água consiste, como o nome indica, em determinar a quantidade de água presente numa amostra de solo, expressa em percentagem de massa seca. Corresponde à razão entre o peso de água contido no solo e o peso seco do mesmo, sendo determinado a partir da diferença entre o peso da amostra de solo antes e depois da secagem em estufa, durante um determinado período de tempo suficiente para garantir a evaporação completa da água (Vallejo & Ferrer 2011). A análise do teor em água foi realizada de acordo com a NP-84 1965.

A análise dos limites de consistência, ou limites de *Atterberg*, corresponde a uma análise de consistência do solo, em função do seu teor em água, sendo este um parâmetro fundamental na caracterização dos solos. A consistência é a razão entre a massa de água no solo e a massa das partículas sólidas, permitindo, de modo expedito, antecipar tendências de comportamento mecânico das argilas. Para teores elevados de água, a mistura água-solo comporta-se como um líquido, assumindo a forma do recipiente que a contém. Com a redução, progressiva e homogênea do teor em água, o solo passa a apresentar comportamento plástico, mantendo a forma que lhe for conferida. Se a redução do teor em água continuar progressivamente, o solo torna-se friável, fragmentando-se quando moldado. A partir de um ponto adicional, a redução do teor em água deixa de acarretar uma redução do volume, verificando-se então a secagem a volume constante. Com base nestas transições, *Atterberg* definiu que os três valores do teor em água que balizam ou limitam as quatro zonas de diferentes comportamentos correspondem ao limite de liquidez (LL), ao limite de plasticidade (LP) e ao limite de retração. A diferença entre os limites de liquidez e de plasticidade, designa-se por índice de plasticidade (IP). Os limites de liquidez e plasticidade são os mais comumente usados na prática de engenharia geotécnica, e que mais informações úteis fornecem acerca do comportamento do solo. São determinados a partir da fração do solo que passa pelo peneiro de dimensão 0,075 mm (Vallejo & Ferrer 2011; Matos Fernandes 2017). A análise dos limites de consistência foi realizada de acordo com a NP-143 1969.

A massa volúmica corresponde a uma propriedade física que relaciona a massa de um corpo com o volume que ele ocupa, englobando tanto a fração sólida como os vazios. Determina-se dividindo a massa de solo pelo seu volume (Vallejo & Ferrer 2011). A análise da massa volúmica foi realizada de acordo com a EN ISO 17892-2 2014.

A análise da densidade das partículas mede a densidade dos grãos sólidos que compõem o solo ou rocha, desconsiderando o volume de vazios (Vallejo & Ferrer 2011). A análise da densidade das partículas foi realizada de acordo com a NP-83 1965.

A análise de resistência à compressão uniaxial não confinada avalia a capacidade de resistência de amostras de solo coesivo à compressão axial e permite obter a resistência à compressão. Um carote de ensaio cilíndrico é colocado numa prensa e a rotura é induzida por compressão, sem qualquer confinamento lateral, até que a amostra de solo falhe (Budhu 2011; Vallejo & Ferrer 2011). Este ensaio apenas pode ser realizado em solos predominantemente coesivos, uma vez que, na ausência de confinamento lateral, o corpo de prova poderia desintegrar-se espontaneamente. Embora o carote esteja em contacto direto com o ar, pode presumir-se, pela rapidez com que é obtida a rotura e pela impermeabilidade dos solos ensaiados com este procedimento, que não há dissipação da pressão intersticial no interior da amostra (Vallejo & Ferrer 2011). A análise de resistência por compressão uniaxial não confinada foi realizada de acordo com a ASTM D2166 2006.

O ensaio de corte direto do tipo CU determina a resistência ao corte do solo após consolidação sob tensões normais controladas, sem a drenagem durante o cisalhamento, e permite obter os parâmetros de resistência ao corte, nomeadamente a coesão e ângulo de atrito interno. O ensaio consiste na colocação da amostra de secção quadrangular de solo numa caixa cortada horizontalmente em duas partes, onde uma força normal, N , é aplicada à base superior da amostra e mantida constante. O ensaio é efetuado impondo uma translação horizontal com velocidade constante à metade inferior da caixa de corte, enquanto a parte superior é mantida fixa à custa de uma reação, T , que é medida a cada instante por meio de um anel dinamométrico. Antes de se iniciar este movimento, é garantido um pequeno afastamento vertical entre as duas metades, para evitar que se mobilizem forças de atrito entre as duas. A tensão tangencial é obtida através da divisão da reação mobilizada, T , pela área da secção de corte, S . Para além da força e do deslocamento tangenciais, são ainda registados os deslocamentos normais ao plano de corte (Vallejo & Ferrer 2011; Matos Fernandes 2017). O ensaio de corte direto do tipo CU foi realizado de acordo com a ASTM D3080 2011.

O ensaio de tensão de rotura em compressão uniaxial permite determinar a resistência uniaxial não confinada, ou a resistência à compressão uniaxial da rocha, bem como as suas constantes elásticas, nomeadamente o módulo de *Young* e coeficiente de *Poisson*. O ensaio consiste na aplicação gradual de uma força axial, com magnitude e velocidade controladas, num carote cilíndrico de rocha, até ocorrer a sua rotura. As deformações axiais produzidas na amostra de rocha são medidas e as

curvas de tensão-deformação axial são calculadas e registadas (Vallejo & Ferrer 2011). O ensaio de tensão de rotura em compressão uniaxial foi realizado de acordo com a ISRM 1979.

3.3.6. Síntese dos trabalhos de campo

Os trabalhos de campo, anteriormente descritos e realizados nesta dissertação, encontram-se sintetizados quantitativamente na Tabela 2, organizando-se as respetivas técnicas e procedimentos aplicados a cada caso estudo, discriminando-se a quantidade individual efetuada. O objetivo é facilitar uma visão global da quantidade e tipo de técnicas aplicadas.

Tabela 2 - Tabela síntese quantitativa dos trabalhos de campo realizados

Técnicas e Procedimentos		Caso de estudo	
		Amanhã/Vigia	Formosa
Técnica de Amostragem Linear		5	3
Sondagens Geológico-Geotécnicas		2	1
Recolha de amostras indeformadas		1	1
Ensaio SPT		31	23
Ensaio laboratoriais	Análises granulométricas por peneiração	2	1
	Análises granulométricas por sedimentação	2	1
	Determinação do teor em água	2	2
	Limites de Atterberg	4	2
	Massa volúmica	2	2
	Densidade de partículas sólidas	4	2
	Resistência à compressão uniaxial	1	1
	Ensaio de corte direto do tipo CU	1	1
	Ensaio de tensão de rotura em compressão uniaxial	2	2

3.4. Análise probabilística de rotura no RS2

Para complementar a aplicação da matriz de risco proposta no Capítulo 4, procedeu-se a uma análise por métodos probabilísticos da estabilidade das arribas, de forma a obter a probabilidade de rotura (PoF). Esta abordagem, baseada em Vallejo & Ferrer (2011), assenta na determinação do fator de segurança a partir de funções de distribuição das variáveis geotécnicas, por meio de processos iterativos. A aplicação foi realizada considerando o zonamento geotécnico definido para as arribas, bem como os parâmetros de resistência e deformabilidade do solo e da rocha.

Esta análise foi realizada através do *software* RS2 da Rocscience, um *software* de cálculo de análise bidimensional elasto-plástica pelo Método dos Elementos Finitos (MEF), que permite modelar o comportamento de maciços rochosos e terrosos, utilizado principalmente para calcular tensões e deslocamentos em escavações subterrâneas, mas também a céu aberto. Este *software* foi desenvolvido para permitir a resolução de um diverso leque de problemas da engenharia geotécnica e da engenharia civil. Com o RS2, é possível analisar escavações em solo e em rocha, considerar escavações por fases, aplicar vários materiais em simultâneo ao perfil (plásticos e elásticos), e utilizar suportes, como pregagens, betão e geossintéticos. O *software* também permite aplicar um campo de tensão gravítico ou constante, incluir descontinuidades e realizar análises de estabilidade de taludes através da redução da tensão de corte, entre outras funcionalidades (Rocscience Inc. 2001).

O Método dos Elementos Finitos baseia-se na discretização do meio contínuo, do perfil transversal da arriba, analisando um determinado número de elementos finitos que interagem entre si e a partir dos quais o comportamento do maciço como um todo é determinado (Leite 2004).

O *software* permite, através do Método dos Elementos Finitos, realizar a análise da estabilidade das arribas, através da redução progressiva dos parâmetros de resistência, até que atinja um estado limite de equilíbrio, correspondente ao fator de redução da resistência (SRF) crítico do talude, correspondente ao fator de segurança. Este método é denominado de *Shear Strength Reduction* (SSR) (Dawson et al. 1999).

Para a análise probabilística de rotura, o *software* permite a combinação do método *Shear Strength Reduction* (SSR) com o método de estimativa de pontos de análise probabilística, atribuindo distribuições de probabilidade aos principais parâmetros geotécnicos de resistência e deformabilidade atribuídos ao modelo, estimando a partir da fração de simulações com um fator de segurança $SRF \leq 1$, de forma a se obter a probabilidade de rotura (PoF) (Rocscience Inc. 2001; Chakraborty & Dey 2022).

[página propositadamente em branco]

Capítulo 4

Proposta de matriz de risco da estabilidade de arribas costeiras

4.Proposta de matriz de risco da estabilidade de arribas costeiras

4.1. Avaliação da estabilidade de arribas costeiras

As arribas são estruturas costeiras que desempenham um papel crucial na proteção das zonas litorais, uma vez que funcionam como barreiras naturais contra processos de erosão marinha (Bird, 2000). Como já referido, a estabilidade das arribas costeiras depende de uma complexa interação entre fatores naturais e fatores antrópicos. Uma eventual instabilidade nas arribas costeiras pode representar um risco significativo para pessoas, infraestruturas e atividades económicas. A gestão eficaz da estabilidade destas arribas é, por isso, essencial para mitigar os seus impactos (Varnes 1978; Guerra & Cunha 2000; Glade et al. 2006).

A análise de estabilidade de arribas costeiras é necessária, em grande parte, para o projeto de medidas de estabilização. Geralmente, é calculado um fator de segurança apropriado, que dependerá do objetivo do projeto e se o talude é temporário ou permanente. Também são considerados os custos do projeto, a sua segurança, bem como os riscos e os impactos de uma eventual rotura. Estas análises de estabilidade permitem desenvolver medidas corretivas adequadas, e procedimentos de estabilização, que possam prevenir roturas em taludes instáveis (Vallejo & Ferrer 2011).

Existem diversos métodos de análise de estabilidade de arribas costeiras, nomeadamente métodos determinísticos, métodos probabilísticos e ainda, métodos observacionais.

Os métodos determinísticos permitem avaliar se um talude ou arriba costeira é estável ou instável, desde que as condições sejam conhecidas ou assumidas com valores adequados de resistência e deformabilidade, os quais determinam o comportamento dos materiais, a estabilidade global e o

fator de segurança. A análise através destes métodos pode ser efetuada por métodos de equilíbrio-limite ou por métodos numéricos de tensão-deformação (Vallejo & Ferrer 2011).

Os métodos probabilísticos, como o nome indica, estudam a probabilidade de ocorrência de rotura de um talude, sob determinadas condições. Para esta análise é necessário conhecer as funções de distribuição de diferentes parâmetros considerados, como variáveis aleatórias nas análises. Estes métodos são mais difíceis de aplicar dada a incerteza das propriedades dos materiais. O fator de segurança é obtido através das funções de distribuição, utilizando processos iterativos (Vallejo & Ferrer 2011).

Existem ainda métodos observacionais, através da análise após a rotura de arribas, com recurso, por exemplo de retro análises, com os mecanismos, modelos e geometria da instabilidade já conhecido. Estes métodos podem-se demonstrar úteis numa caracterização geomecânica dos materiais envolvidos, para estudar os fatores de instabilidade e até para compreender o comportamento mecânico dos materiais dos taludes. Os resultados destes métodos podem ser extrapolados e aplicados a outros taludes, com as mesmas características ou semelhantes. Para determinar os parâmetros de resistência de deformabilidade do terreno, este tipo de análise utiliza dados como a geometria do talude, tipo de materiais, presença de água subterrânea, entre outros (Vallejo & Ferrer 2011).

A escolha do método mais apropriado de análise da estabilidade de arribas costeiras depende não só das características geológicas e geomecânicas dos materiais (maciço terroso ou rochoso) constituintes dos taludes, dos dados referentes ao talude, e da área envolvente, como dados geométricos, geológicos, geomecânicos e hidrogeológicos, mas também dos objetivos das análises e do nível de detalhe que é pretendido. Todos os fatores referidos são interdependentes e essenciais para realizar uma análise detalhada. Caso os dados estejam incompletos ou indisponíveis, esta análise detalhada, não é possível. Um caso de análise de estabilidade complexa não pode ser efetuado com um método simples e sem dados de campo e/ou de laboratório suficientes. Os dados devem ser rigorosos, fiáveis e obtidos em conformidade com o método de análise adotado. Após a identificação dos parâmetros geomecânicos que condicionam a estabilidade do talude, deve ser determinada a metodologia mais adequada às características específicas do caso de estudo (Vallejo & Ferrer 2011).

Uma abordagem alternativa, mais simplificada e complementar, pode ser seguida mediante de análises de risco por aplicação de matrizes de risco ajustadas às especificidades do problema em causa, conforme exposto nos pontos seguintes.

4.2. Perigo, risco e vulnerabilidade

Na análise da estabilidade das arribas costeiras, é necessário avaliar o perigo e risco associados, de forma a evitar ou reduzir os riscos geológicos, considerando igualmente a sua influência no planeamento e uso do solo. Em estudos sobre riscos, é utilizada uma terminologia específica que define o perigo, o risco e a vulnerabilidade. O termo perigo é geralmente considerado, erradamente, como um sinónimo de risco. São dois conceitos diferentes, referindo-se o perigo a qualquer processo geológico, mais ou menos violento, que possa afetar bens ou pessoas, enquanto que o risco refere-se às perdas e vulnerabilidade aos danos (Vallejo & Ferrer 2011).

O perigo pode ser entendido como a frequência com que um determinado processo ocorre e a sua localização, e é definido como a probabilidade de ocorrência de um fenómeno, com um determinado nível de intensidade ou severidade, potencialmente destrutivo, num determinado período de tempo e área geográfica (Varnes 1984; Vallejo & Ferrer 2011).

Para avaliar o perigo é necessário: conhecer onde e quando é que os processos ocorreram no passado; a intensidade e magnitude dos processos; as áreas onde estes podem ocorrer no futuro, e a sua frequência de ocorrência (Vallejo & Ferrer 2011).

A frequência de ocorrência do evento só pode ser estimada se for conhecido o intervalo temporal de um determinado evento, como o período de retorno de sismos ou cheias, com base em séries de dados históricos, ou dos fatores desencadeantes, como o período de retorno da precipitação, que origina movimentos de vertente, num determinado local (Vallejo & Ferrer 2011).

O termo risco pode ser definido como a combinação entre a probabilidade de um evento e as consequências negativas a ele associado. Este conceito inclui considerações socioeconómicas e é definido como as perdas potenciais resultantes de um determinado fenómeno natural específico, como vidas humanas, perdas económicas diretas ou indiretas, danos em infraestruturas e/ou edifícios. Isto é, o risco corresponde à exposição da população e das atividades económicas a eventos perigosos de elevada intensidade, que podem culminar em desastres com grandes perdas a nível social, económico e até ambiental (UNISDR 2009; Vallejo & Ferrer 2011).

A avaliação do risco geológico, assim como a avaliação dos termos que o definem, é um processo complexo. A avaliação do risco baseia-se na análise do perigo associado a um determinado processo (causa), e nas consequências sobre os elementos sujeitos a esse perigo. Os efeitos nos elementos expostos, tal como edifícios, infraestruturas ou populações, podem ser descritos por diferentes parâmetros, entre os quais a vulnerabilidade, as perdas, os custos e o grau de exposição. O risco e

o perigo, podem ser avaliados em termos determinísticos ou probabilísticos, num determinado intervalo de tempo definido (Vallejo & Ferrer 2011).

O cálculo do risco, pode ser dado pela seguinte expressão:

$$R = H \times V \times C \quad (1)$$

, onde:

R = risco;

H = perigo do processo em questão;

V = vulnerabilidade dos elementos expostos ao processo (elementos em risco);

C = custo ou valor dos elementos.

Na expressão anterior, as “unidades” correspondem ao fator C, o fator H representa uma probabilidade, e o fator V é um parâmetro adimensional. O valor de C pode ser expresso em termos determinísticos ou probabilísticos. Se expresso em termos probabilísticos, o risco, R, também será obtido em termos de probabilidade (Vallejo & Ferrer 2011).

Se qualquer um dos fatores for igual a zero, o risco é nulo, o que significa que, numa zona de elevado perigo, se não existirem elementos expostos, ou a vulnerabilidade dos elementos for nula, o risco da zona de elevado perigo, é nulo. A ocupação, por exemplo, por pessoas, edifícios ou estruturas vulneráveis, em zonas perigosas, pode aumentar o risco, uma vez que afeta a intensidade dos processos ou, no extremo, origina processos de risco. Caso o perigo, ou a vulnerabilidade, seja reduzido, com a minimização dos processos ou dos elementos expostos ao risco, o risco é reduzido (Vallejo & Ferrer 2011).

O risco também pode ser definido como a probabilidade de um determinado perigo ocorrer e causar perdas (Smith & Petley 2009), e é dado pela seguinte expressão:

$$R = P \times Le \quad (2)$$

, onde:

R = risco;

P = probabilidade de ocorrência do processo ou perigo;

Le = perdas esperadas.

A identificação de perigos e riscos é um exercício de avaliação que não deve ser confundida com as análises mais detalhadas subsequentes, de perigos e consequências, e permite identificar os fatores

que devem ser mais aprofundadamente investigados e considerados para a estimativa de risco. A estimativa de risco integra o comportamento do perigo (análise de perigos) com os elementos em risco e a sua vulnerabilidade (análise de consequências), de forma a permitir o cálculo do risco (Glade et al. 2006).

O risco específico (produto $H \times V$) é definido como o nível de perdas espectável durante um determinado período de tempo, resultante da ocorrência de um processo específico, determinado como probabilidade (Varnes 1984).

Desta forma, e de acordo com Varnes (1984) e Glade et al. (2006), o risco pode ser avaliado pela seguinte expressão:

$$R = H \times V \times E \quad (2)$$

, onde:

R = risco;

H = perigo do processo em questão;

V = vulnerabilidade dos elementos expostos ao processo (elementos em risco);

E = elementos expostos em risco.

Dada a dificuldade em quantificar a variável E, considerando que, a exposição está incluída na vulnerabilidade (um elemento não exposto não está em risco), as expressões anteriormente referidas são mais apropriadas quando o custo, tanto dos elementos considerados C, como das perdas esperadas Le, são diretamente consideradas para uma ocorrência específica (Vallejo & Ferrer 2011).

A vulnerabilidade pode ser definida como o grau espectável de dano ou perda de um elemento ou grupo de elementos, em risco, resultante da ocorrência de um perigo com uma determinada intensidade ou magnitude. A vulnerabilidade depende das características do elemento considerado, e da intensidade do fenómeno, e não do seu valor económico. Geralmente, é avaliada numa escala de 0 a 1, em que 0 corresponde a ausência de riscos, e 1 à perda total ou destruição do elemento. Poderá também ser representada em percentagem, de 0 a 100% de danos (Vallejo & Ferrer 2011).

Os elementos expostos em risco podem ser definidos como pessoas, bens, propriedades, infraestruturas, serviços, atividades económicas, entre outros, que, numa determinada área, possam sofrer impactos diretos ou indiretos de um processo geológico. O custo ou o valor associado a estes elementos pode ser expresso de acordo com diferentes critérios, como o custo de

construção de edifícios ou estruturas, custo de reparação dos danos causados, valor de seguradora, mas também dos custos derivados da interrupção de vias de comunicação, atividades económicas e serviços (Vallejo & Ferrer 2011).

Desta forma, no desenvolvimento desta dissertação, considerou-se o cálculo do risco como o produto do perigo e vulnerabilidade, de acordo com Varnes (1984).

4.3. Matriz de risco

Uma matriz de risco é uma ferramenta de classificação qualitativa ou semi-quantitativa dos perigos e vulnerabilidades associados a um determinado risco, permitindo classificar e definir o grau de risco. Uma matriz de risco corresponde a uma representação gráfica, geralmente em forma de tabelas, que cruza e combina a perigosidade com a vulnerabilidade. Cada célula da matriz traduz a combinação desses dois fatores, resultando numa classificação do grau de risco, usualmente expressa numa escala de cores ou de números (Instituto Português da Qualidade 2016).

4.3.1. Proposta de matriz de risco

A matriz de risco elaborada e proposta nesta dissertação, baseou-se no sistema de avaliação de risco *Rockfall Hazard Rating System* (RHRS) (Pierson et al. 1990) e no *Rockfall Hazard Rating System* (RHRSm2) (Pinheiro et al. 2015) para a seleção de parte dos parâmetros utilizados, mas também para o uso do mesmo sistema de pontuação exponencial aplicados.

O *Rockfall Hazard Rating System* (RHRS) foi desenvolvido em 1990 pelo Departamento de Transportes de Oregon, nos Estados Unidos da América, com o objetivo de avaliar o risco associado à queda de blocos em taludes de rodovias, dado que, até então, os estudos geotécnicos que eram realizados apresentavam qualidade limitada. O *Rockfall Hazard Rating System* (RHRS) nasceu, não só, para possibilitar uma análise detalhada dos taludes presentes nas centenas de quilómetros de estrada dos Estados Unidos da América e Canadá, e permitir identificar os que evidenciam maior risco, mas também para estabelecer prioridades relativamente à necessidade de implementação de medidas de mitigação. Este sistema de avaliação de risco é composto por 10 parâmetros, os quais são cotados através de uma pontuação exponencial – 3, 9, 27 e 81 – de forma a que, com o somatório resultante das pontuais parciais atribuídas aos diversos parâmetros, se obtenha diferenças consideráveis na pontuação final (Pierson et al. 1990).

Este sistema de avaliação de risco tem sido bastante utilizado e alvo de diversas adaptações, nomeadamente o *Rockfall Hazard Rating System* (RHRSm2), desenvolvida por Pinheiro et al. (2015),

surgindo com algumas adaptações e com uma escala que define o risco de queda de blocos em cinco níveis.

Distinto dos sistemas de avaliação de risco anteriormente referidos, o método de seguida proposto, e utilizado para a análise de risco nesta dissertação, é baseado em parâmetros de perigosidade e vulnerabilidade associados ao risco de arribas costeiras, culminando na aplicação de uma matriz de risco, construída a partir da estimativa do grau de perigosidade e do grau de vulnerabilidade. Aos parâmetros de perigosidade e de vulnerabilidade é atribuída uma pontuação independente, permitindo a obtenção dos respetivos graus e a posterior aplicação da matriz de risco às arribas costeiras.

Uma vez que os sistemas de avaliação de risco utilizados como referência foram criados para taludes rodoviários, e os casos de estudo desta dissertação ocorrem em ambiente costeiro, foi necessário excluir, adaptar e criar parâmetros adicionais.

Os parâmetros de perigosidade estabelecidos nesta proposta, encontram-se representados na Tabela 3, e os parâmetros que permitem avaliar quantitativamente a vulnerabilidade, encontram-se representados na Tabela 4.

Os parâmetros de perigosidade estabelecidos são, em muitos casos, bastante subjetivos e difíceis de avaliar e quantificar. Por esse motivo, em situações de dúvida ou perante a existência de elevada heterogeneidade num determinado parâmetro da arriba costeira, adota-se o pior cenário possível, atribuindo-se a pontuação correspondente a um maior grau de perigosidade.

Tabela 3 - Tabela de classificação de grau de perigosidade proposta.

Categorias	Critério por pontos			
	3	9	27	81
Altura da arriba (m)	<7,5	7,5 – 22,5	22,5 – 30	> 30
Inclinação (º)	< 30	30 - 40	40 – 50	> 50
Descalçamento da base	Nenhum	Pouco	Algum	Intenso
Irregularidade da face	Baixa	Média	Alta	Muito alta
Tipo de litologia	Rocha sã	Rocha alterada e/ou fraturada	Areias/argilas consolidadas	Material não consolidado
Condição geo-estrutural	Descontinuidades com orientação favorável	Descontinuidades com orientação aleatória	Descontinuidades com orientação desfavorável	Descontinuidades muito contínuas com orientação desfavorável
Alteração do maciço	W1	W2 – W3	W3 – W4	W5
Grau de fraturação	F ₅	F ₄	F ₃	F ₂ /F ₁
Presença de água	Seco	Húmido	Gotejante	Fluxo
Rugosidade das descontinuidades	R5	R4	R3	R1-2
Continuidade das descontinuidades	Muito pouco contínuas (<1m)	Pouco contínuas (1 a 3m)	Medianamente contínuas (3 a 10m)	Contínuas a muito contínuas (>10m)
Volume dos blocos por evento (m ³)	2,3	4,6	6,9	9,3
Tamanho dos blocos (m)	0,3	0,6	0,9	1,2
Cobertura Vegetal	Uniforme	Alguma	Pontual	Nenhuma
Erosão	Pequena	Moderada	Elevada	Extrema
Quantidade de blocos [nº de blocos rochosos soltos com potencial de queda]	Nenhuns	Poucos	Alguns	Muitos
Historial de queda de blocos	Poucas quedas	Quedas ocasionais	Muitas quedas	Quedas constantes
Prof. de obtenção de firme (3 negas (N _{SPT} =60) consecutivas) (m)	<6	6 - 12	12 - 21	>21
Precipitação anual média (mm)	<250	250-500	500-1000	>1000

Os parâmetros de perigosidade estabelecidos na Tabela 3, utilizados para a obtenção do grau de perigosidade, encontram-se de seguida descritos e definidos:

- **Altura da arriba:** este parâmetro é referente à altura da arriba, em metros, à qual se associam os potenciais danos decorrentes de um movimento ou rotura. Quanto maior a altura, maior a energia potencial mobilizada e, consequentemente, mais elevado o grau de perigosidade (Pinheiro et al. 2015).
- **Inclinação:** referente à inclinação da arriba, em graus ($^{\circ}$). Quando maior for a inclinação da arriba, maior será a perigosidade envolvida na queda de blocos, dado que, numa arriba com uma inclinação ligeira os blocos deslizam ao longo da face da arriba, dissipando parte da energia cinética, enquanto numa arriba vertical a energia mobilizada máxima. Assim, quanto maior for a inclinação da arriba, maior será o grau de perigosidade (Pinheiro et al. 2015).
- **Descalçamento da base:** corresponde a uma proposta associada com a erosão marinha na arriba, manifestada sob a forma de descalçamento da base (Sunamura 1992; Bird 2000). Quando não existe descalçamento visível na base da arriba, o parâmetro é classificado como “Nenhum”, atribuindo-se a menor pontuação. Quando o descalçamento é visivelmente intenso, com aberturas de grandes dimensões na base, presentes em grande parte da arriba, o parâmetro é classificado como “Intenso” com a maior pontuação. Se o descalçamento for pontual, com pouca abertura no material da arriba, classifica-se como “Pouco”. Se existir uma ocorrência mais frequente de descalçamento, mas sem atingir a intensidade máxima, considera-se “Algum”. Quanto maior for o descalçamento da base da arriba, maior será o grau de perigosidade. Este parâmetro é meramente visual e, portanto, difícil de caracterizar e quantificar, dependendo essencialmente da sensibilidade do utilizador.
- **Irregularidade da face:** corresponde a um parâmetro de características visuais e estruturais, proposto no *Rockfall Hazard Rating System (RHRSm2)* (Pinheiro et al. 2015). Na ausência de uma definição prévia para este parâmetro, considerou-se a seguinte: quando a face da arriba é predominantemente lisa e contínua, com poucas variações superficiais, o parâmetro classifica-se como “Baixa”, correspondendo à menor pontuação; quando a face apresenta algumas variações morfológicas moderadas, como saliências e reentrâncias pouco profundas, distribuídas de forma esporádica, o parâmetro classifica-se como “Média”; quando a face apresenta variações acentuadas, como saliências e reentrâncias profundas e mais frequentes, bem como fraturas abertas ou blocos pontualmente

destacados, classifica-se como “Alta”, e quando a face é extremamente recortada, com descontinuidades muito abertas, grandes saliências e cavidades profundas, presentes em grande parte da superfície da arriba, classifica-se como “Muito Alta”, atribuindo-se a maior pontuação. Quanto maior for a irregularidade da face, maior será o potencial de instabilidade e desprendimento de blocos, logo maior o seu grau de perigosidade. Concordante com o parâmetro anterior, este parâmetro é meramente visual e, portanto, difícil de caracterizar e quantificar, dependendo essencialmente da sensibilidade do utilizador.

- **Tipo de litologia:** trata-se de um parâmetro proposto, relacionado com a litologia das arribas costeiras e apoiado na informação obtida em profundidade por meio de sondagens geológicas e geotécnicas. Quando a arriba é constituída por rocha sã, compacta, com baixo grau de fraturação e elevada resistência à erosão, o parâmetro é classificado como “Rocha sã”, atribuindo-se a menor pontuação. Quando a arriba é constituída por rocha alterada e/ou fraturada, com menor coesão e resistência, o parâmetro é classificado como “Rocha alterada e/ou fraturada”. Se a arriba for constituída por areias e argilas, com sinais de consolidação, mas de menor resistência e maior suscetibilidade à erosão e instabilidade, o parâmetro é classificado como “Areias/argilas consolidadas”. Se a arriba for constituída por material não consolidado, como depósitos arenosos ou argilosos, sem coesão significativa, o parâmetro é classificado como “Material não consolidado”, atribuindo-se a maior pontuação devido ao muito elevado grau de perigosidade. Quanto menor for a coesão e resistência do material da arriba, maior será a probabilidade de erosão, ravinamento e movimentos de massa (Varnes 1978; Wyllie & Mah 2005). Este parâmetro é obtido visualmente, complementado com a informação geológica existente e com as sondagens geológicas executadas.
- **Condição geo-estrutural:** este parâmetro está relacionado com a presença de planos de descontinuidade que possam provocar roturas no maciço, definido de acordo com Pierson et al. 1990). A classificação deste parâmetro considera se, no maciço, os planos de descontinuidade, podem provocar os tipos de rotura planar, por cunha ou tombamento e, se sim, é considerado “adverso”. Para a avaliação deste parâmetro, é necessário um levantamento de campo das descontinuidades do maciço, e a realização da análise cinemática com o ensaio de Markland (1972), através do *software DIPS* da Rocscience, que permite identificar os tipos de rotura (Vallejo & Ferrer 2011). Quando a arriba contém rocha sem falhas, planos de estratificação ou outras descontinuidades com orientação adversa, o

parâmetro é classificado como “Descontinuidades com orientação favorável”, atribuindo-se a menor pontuação. Se a arriba apresentar descontinuidades com orientação aleatória, com um padrão variável, o parâmetro é classificado como “Descontinuidades com orientação aleatória”. Quando a arriba apresenta um padrão visível de descontinuidades com orientação adversa, e uma continuidade menor que 3 metros, o parâmetro é classificado como “Descontinuidades com orientação desfavorável”. Se a arriba apresentar um padrão dominante de descontinuidades, com orientação adversa e continuidade superior a 3 metros, o parâmetro é classificado como “Descontinuidades muito contínuas com orientação desfavorável”, atribuindo-se a maior pontuação devido ao muito elevado grau de perigosidade.

- **Alteração do maciço:** corresponde a um parâmetro de características visuais, estruturais e geotécnicas, proposto no *Rockfall Hazard Rating System* (RHRSm2) (Pinheiro et al. 2015) e está de acordo com o ISRM (1978) e GSE (1995). O parâmetro é classificado de “W1”, correspondendo à menor pontuação, seguido de “W2-W3”, passando para “W3-4” e finalizando como “W5, associando-lhe a maior pontuação. Quanto maior o grau de alteração do maciço, maior a probabilidade de rotura, o que se traduz num aumento do grau de perigosidade.
- **Grau de fraturação:** corresponde a uma proposta de parâmetro e é relativo a uma característica das descontinuidades, nomeadamente o grau de fraturação entre estas. Este parâmetro está de acordo com ISRM (1981). O parâmetro, sendo classificado como “F5”, é-lhe atribuído a menor pontuação; como “F4”, como “F3” e como “F2/F1”, é-lhes atribuída uma maior pontuação, respetivamente. Quanto maior for o grau de fraturação entre descontinuidades, maior poderá ser o tamanho dos blocos formados e, consequentemente, maior será o grau de perigosidade.
- **Presença de água:** corresponde a um parâmetro associado a características visuais, estruturais e geotécnicas, proposto inicialmente no *Rockfall Hazard Rating System* (RHRS) (Pierson et al. 1990), e posteriormente adaptado no *Rockfall Hazard Rating System* (RHRSm2) (Pinheiro et al. 2015), que visa caracterizar visualmente a presença de água no maciço. Com a inobservância de água no maciço, este classifica-se como “Seco”, correspondendo à menor pontuação atribuída a este parâmetro. Se o maciço apresentar alguma humidade, é classificado como “Húmido” e; se apresentar pouca circulação de água, em forma de gotas, é classificado como “Gotejante”. Caso seja visível um grande caudal de água no maciço, maior que na categoria anterior, classifica-se como “Fluxo”,

atribuindo-se a maior pontuação. A presença de água no maciço contribui para a meteorização e para o movimento de massas e/ou roturas, devido à diminuição do atrito das descontinuidades, logo, quanto maior o caudal, maior será a probabilidade de rotura e, conseqüentemente, maior o grau de perigosidade.

- **Rugosidade das descontinuidades:** corresponde a um parâmetro de características estruturais e geotécnicas, referente à rugosidade das descontinuidades, proposto no *Rockfall Hazard Rating System (RHRS)* (Pierson et al. 1990). O atrito, ao longo das descontinuidades, é condicionado pela rugosidade das superfícies de contacto das descontinuidades. Quando as superfícies de descontinuidades são rugosas e suficientemente irregulares, proporcionando uma situação de atrito ideal, classifica-se como “R5”, e é-lhe atribuída a menor pontuação. Quando as superfícies apresentam uma macro rugosidade, classificam-se como “R4”. Se as superfícies das descontinuidades são macroscopicamente lisas, o atrito provém principalmente da rugosidade da superfície da rocha, e, por isso, classifica-se como “R3”. Quando as superfícies apresentam preenchimento com materiais de baixo atrito, como a argila, anulando qualquer rugosidade das descontinuidades, ou descontinuidades polidas, com um ângulo de atrito muito baixo, classifica-se como “R1-2”, atribuindo-se a maior pontuação. Quanto mais lisa for a superfície de descontinuidade, maior é o potencial para um bloco se mover em relação a outro e, conseqüentemente, maior é o grau de perigosidade.
- **Continuidade das descontinuidades:** corresponde a uma proposta de parâmetro e é relativo à continuidade ou persistência das descontinuidades. Este parâmetro está de acordo com ISRM (1978). Classificando o parâmetro como “Muito pouco contínuas (<1m)”, ser-lhe-á atribuída a menor pontuação. Com as classificações “Pouco contínuas (1 a 3m)”, “Medianamente contínuas (3 a 10m)” e “Contínuas a muito contínuas (>10m)”, atribui-se-lhes uma maior pontuação, respetivamente. Quanto maior for a continuidade das descontinuidades, em conjugação com o espaçamento, maior poderá ser o tamanho dos blocos formados e, portanto, maior será o grau de perigosidade.
- **Volume dos blocos por evento (m³):** corresponde a um parâmetro representativo do tipo de evento de queda de rochas com maior probabilidade de ocorrência, que influencia o volume dos blocos proposto no *Rockfall Hazard Rating System (RHRS)* (Pierson et al. 1990). A decisão sobre como classificar pode ser estimada a partir das condições observadas, nomeadamente através do afastamento e da continuidade das descontinuidades presentes na arriba. O parâmetro é classificado como “2.3”, atribuindo-se a menor pontuação, como

“4.6”, como “6.9” e como “9.3”, atribuindo-se uma maior pontuação, respetivamente. Quanto maior for o volume dos blocos, maior é o grau de perigosidade.

- **Tamanho dos blocos (m):** corresponde a um parâmetro representativo do tamanho dos blocos da arriba, proposto no *Rockfall Hazard Rating System (RHRS)* (Pierson et al. 1990). De igual forma ao parâmetro anterior, a decisão sobre como classificar, pode ser estimada a partir das condições observadas, nomeadamente do afastamento e da continuidade das descontinuidades presentes na arriba. O parâmetro é classificado como “0.3”, atribuindo-se a menor pontuação, como “0.6”, como “0.9” e como “1.2”, atribuindo-se uma maior pontuação, respetivamente. Quanto maior for o tamanho dos blocos, maior é o grau de perigosidade.
- **Cobertura vegetal:** Esta proposta de parâmetro está relacionada com a cobertura vegetal na face da arriba, uma vez que a falta de vegetação nas arribas costeiras torna os solos mais suscetíveis à erosão, podendo provocar instabilidades (van Beek et al. 2008). Quando a face da arriba está uniformemente coberta com vegetação, classifica-se como “Uniforme”, atribuindo-se a menor pontuação. Quando a face da arriba está coberta com alguma vegetação, menor que na categoria anterior, classifica-se como “Alguma”. Se a face da arriba apresenta, pontualmente, cobertura com vegetação, classifica-se como “Pontual”. Quando a face da arriba não apresenta qualquer cobertura vegetal, esta classifica-se como “Nenhuma”, sendo-lhe atribuída a maior pontuação. Quanto menor for a cobertura vegetal, maior é o potencial de erosão e, em resultado, maior é o grau de perigosidade. Este parâmetro é meramente visual e, portanto, difícil de caracterizar e quantificar, dependendo essencialmente da sensibilidade do utilizador.
- **Erosão:** corresponde a uma proposta de parâmetro relacionado com a erosão superficial na face da arriba, que constitui o talude exposto propriamente dito, cuja superfície geológica está exposta à erosão marinha e a processos subaéreos (Teixeira 2009; Costa 2012). Quando a superfície da face apresenta apenas alguns sinais de erosão, como um ligeiro alisamento, o parâmetro é classificado como “Pequena”, sendo-lhe atribuída a menor pontuação. Quando a erosão é moderada, com a presença visível do início de ravinamentos, sulcos ou pequenas cavidades pontuais na face, que não afetem a integridade estrutural da face, classifica-se como “Moderada”. Quando a erosão é mais elevada, afetando de forma generalizada a face, com a presença de ravinamentos, fraturas abertas, perda substancial de material, e acumulação na base, o parâmetro é classificado como “Elevada”. Se a erosão for muito extrema, com a superfície a apresentar degradação

severa, com grandes áreas visivelmente instáveis, com colapsos frequentes, perda acelerada de material com grande acumulação na base, classifica-se como “Muito Extrema”, sendo-lhe atribuída maior pontuação. Quanto mais intensa e extensa for a erosão, maior será a probabilidade de movimentos de massa, logo maior o grau de perigosidade. Este parâmetro é meramente visual e, portanto, difícil de caracterizar e quantificar, dependendo essencialmente da sensibilidade do utilizador, podendo ser complementado com inspeções periódicas para acompanhar a sua evolução.

- **Quantidade de blocos [nº de blocos rochosos soltos com potencial de queda]:** corresponde ao número de blocos soltos na arriba, com potencial de queda, proposto no *Rockfall Hazard Rating System* (RHRSm2) (Pinheiro et al. 2015) e relacionado com a dimensão dos blocos. Se a arriba não apresentar nenhum bloco solto, o parâmetro é classificado como “Nenhum”, sendo atribuída a menor pontuação. Se apresentar, pontualmente, blocos soltos, é classificado como “Poucos”, e, se os blocos soltos na arriba forem mais frequentes, é classificado como “Alguns”. Se a arriba apresentar um grande número de blocos soltos, é classificado como “Muitos”, com a maior pontuação. Geralmente, quanto maior for o número de blocos soltos na arriba, maior é a probabilidade de ocorrência de quedas de blocos, que, por sua vez, aumenta o grau de perigosidade. Este parâmetro é meramente visual e, portanto, difícil de caracterizar e quantificar, dependendo essencialmente da sensibilidade do utilizador.
- **Prof. de obtenção de firme (3 negas ($N_{SPT}=60$) consecutivas) (m):** corresponde a uma proposta de parâmetro que está relacionado com os resultados da execução dos ensaios SPT, de acordo com o Eurocódigo 7 (ENV 1997-3 2000), e de acordo com os critérios de paragem estipulado no documento “Recomendações na Área da Geotecnia (Ordem dos Engenheiros 2000)”. Este define a “nega” do ensaio com a obtenção do valor de $N_{SPT}=60$ pancadas, e o critério de paragem como a obtenção de 3 “negas” consecutivas no ensaio SPT, a cada 1,5 metros de profundidade. Este parâmetro foi definido, não só de acordo com a profundidade mínima possível para a obtenção de 3 “negas” consecutivas do ensaio SPT, mas também considerando a profundidade das sondagens executadas, e a divisão de classes de pontuações. Com isto, foi estabelecida a seguinte classificação: quando a profundidade do “firme” ocorre antes dos 6 metros de profundidade, o parâmetro é classificado como “<6”, atribuindo-se a menor pontuação. Quando o “firme” ocorre entre os 6 e os 12 metros de profundidade, o parâmetro é classificado como “6-12”. Quando o firme ocorre entre os 12 e os 21 metros de profundidade, o parâmetro é classificado como

“12-21” e, finalmente, quando o firme apenas ocorre após os 21 metros de profundidade, o parâmetro é classificado como “>21”, com a maior pontuação. Este parâmetro visa uma classificação do material constituinte da arriba costeira, em profundidade, de acordo com a sua resistência e deformabilidade. Quanto maior for a profundidade de obtenção de firme, menor é a resistência e deformabilidade do maciço e, conseqüentemente, maior é o grau de perigosidade.

- **Precipitação anual média (mm):** corresponde a um parâmetro relacionado com a precipitação da região onde se insere a arriba. Foi inicialmente proposto no *Rockfall Hazard Rating System* (RHRS) (Pierson et al. 1990), e posteriormente adaptado no *Rockfall Hazard Rating System* (RHRSm2) (Pinheiro et al. 2015). Uma precipitação elevada, pode originar fenómenos de destabilização nas arribas e aumentar a probabilidade de roturas. O parâmetro foi adaptado de acordo com a precipitação anual média da estação meteorológica mais perto da região - VIMEIRO (LOURINHÃ) (18B/04UG) do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos - com os dados anuais disponíveis. Desta forma, quanto maior for a precipitação anual média da região, maior é o grau de perigosidade.

Tabela 4 - Tabela de classificação de grau de vulnerabilidade proposta.

Categorias	Critério por pontos			
	3	9	27	81
Ocupação a topo da arriba	Nenhuma	Agrícola	Ponto Turístico	Habitacional
Acessibilidade da praia	Sem acesso	Acesso difícil (escadas/trilhos)	Acesso normal	Acesso facilitado (diversas entradas)
Largura da praia (m)	<95	75 a 95	45 a 75	<45
Infraestruturas próximas da base	Nenhuma	Alguma presença	Presença moderada	Múltiplas infraestruturas
Sinalização de risco	Sinalização clara e barreiras	Apenas sinalética	Sinalização pontual e/ou danificada	Nenhuma sinalização

- **Ocupação a topo da arriba:** corresponde a uma proposta de parâmetro de vulnerabilidade, adaptado de Mesquita (2013), que classifica a ocupação no topo e na crista da arriba costeira, considerando os diferentes tipos de ocupação que influenciam a vulnerabilidade nestes ambientes. Se a arriba não apresentar nenhuma ocupação a topo e na crista, o parâmetro é classificado como “Nenhuma”, atribuindo-se a menor pontuação. Se

apresentar uma ocupação agrícola, é classificado como “Agrícola” e, se apresentar uma ocupação de ponto turístico, como por exemplo miradouros, é classificado como “Ponto Turístico”. Se a arriba apresentar uma ocupação habitacional a topo ou na crista, como habitações uni ou multifamiliares, é classificado como “Habitacional”, atribuindo-se a maior pontuação. O grau de vulnerabilidade é menor quanto mais reduzido for o nível de ocupação da arriba, e máximo, quanto maior for o nível de ocupação, dado que o grau de exposição dos elementos é maior.

- **Acessibilidade da praia:** corresponde a uma proposta de parâmetro e está relacionado com os acessos disponíveis à praia no local da arriba costeira. Quanto mais facilitado for o acesso à praia, maior será o número de utilizadores, o que se traduzirá num aumento do grau de exposição e, consequentemente, do grau de vulnerabilidade. Se a praia não apresentar nenhum acesso direto, apenas através de outra praia, o parâmetro é classificado como “Sem acesso”, atribuindo-se a menor pontuação. Se apresentar um acesso difícil, através de escadas íngremes ou trilhos, é classificado como “Acesso difícil (escadas/trilhos)” e, se apresentar um acesso mais facilitado com escadas e até caminhos para veículos, é classificado como “Acesso normal”. Se a praia apresentar mais do que um acesso facilitado, é classificado como “Acesso facilitado (diversas entradas)”, atribuindo-se a maior pontuação.
- **Largura da praia (m):** corresponde a uma proposta de parâmetro adaptado do *Rockfall Hazard Rating System* (RHRS) (Pierson et al. 1990) e está relacionado, como o nome indica, pela largura da praia. Quanto menor for a dimensão da praia, mais próximos da arriba costeira permanecem e circulam os seus utilizadores, aumentando o grau de exposição e, consequentemente, a sua vulnerabilidade. Os intervalos de largura da praia, foram definidos e adaptados de acordo com as larguras das praias da região dos casos de estudo. Quanto maior for a largura da praia, menor a sua pontuação. Os intervalos definidos encontram-se representados na Tabela 4.
- **Infraestruturas próximas da base:** corresponde a uma proposta de parâmetro associado à presença de infraestruturas na base da arriba, ou nas proximidades da base, fator que potencia o grau de exposição e, consequentemente, o grau de vulnerabilidade em caso de rotura. Se não existir nenhuma infraestrutura na base, ou próxima, o parâmetro é classificado como “Nenhuma”, atribuindo-se a menor pontuação. Se existir alguma infraestrutura na base, ou próxima, como passadiços, é classificado como “Alguma presença” e, se existir infraestruturas na base, ou próxima, como passadiços, e alguns

estabelecimentos de restauração, é classificado como “Presença moderada”. Se existirem diversas infraestruturas na base, ou próximas, como passadiços, estabelecimentos de restauração, apoios de praia e/ou outros, é classificado como “Múltiplas infraestruturas”, atribuindo-se a maior pontuação. O grau de vulnerabilidade aumenta proporcionalmente à presença de infraestruturas na base da arriba.

- **Sinalização de risco:** corresponde a uma proposta de parâmetro associado com a presença de sinalização de risco de derrocada e de medidas de proteção nas arribas costeiras. Se existir sinalização clara de risco de derrocada e presença de barreiras de proteção, o parâmetro é classificado como “Sinalização clara e barreiras”, atribuindo-se a menor pontuação. Se existir apenas sinalização de risco de derrocada, é classificado como “Apenas sinalética” e, se existir sinalização de risco de derrocada pontual e/ou danificada, é classificado como “Sinalização pontual e/ou danificada”. Na ausência de sinalização referente ao risco de derrocada, classifica-se como “Nenhuma sinalização”, atribuindo-se a maior pontuação. Quanto maior for o número de sinalização de risco de derrocada, e presença de barreiras de proteção, menor é o grau de exposição dos elementos e o grau de vulnerabilidade.

O grau de risco resulta do somatório das pontuações parciais atribuídas a cada parâmetro das tabelas de classificação do grau de perigosidade e vulnerabilidade (Tabela 3 e Tabela 4), para cada arriba costeira, obtendo-se assim um valor absoluto que reflete a perigosidade e vulnerabilidade, respetivamente.

Para converter os valores absolutos da perigosidade e da vulnerabilidade numa classificação qualitativa, estabeleceram-se intervalos de valores, adequados à escala logarítmica, e de acordo com o valor mínimo e máximo possível de obter definindo, assim, o grau de perigosidade e vulnerabilidade em cinco graus. Os graus definidos estão representados na Tabela 5 e Tabela 6.

Tabela 5 - Tabela de definição do grau de perigosidade e intervalos de pontuação absoluta de perigosidade.

Valor mínimo = 57	Intervalos	Grau de Perigosidade
57 x 1,93	57 - 110	Reduzido
110 x 1,93	111 - 212	Baixo
212 x 1,93	213 - 409	Moderado
409 x 1,93	410 - 789	Alto
Valor máximo = 1539	789 - 1539	Extremo

Tabela 6 - Tabela de definição do grau de vulnerabilidade e intervalos de pontuação absoluta de vulnerabilidade.

Valor mínimo = 15	Intervalos	Grau de Vulnerabilidade
15 x 1,93	15 - 29	Reduzido
29 x 1,93	30 - 56	Baixo
56 x 1,93	57 - 108	Moderado
108 x 1,93	109 - 208	Alto
Valor máximo = 405	209 - 405	Extremo

Desta forma, e de acordo com a Fórmula 2 (Varnes 1984; Glade et al. 2006), considerando que os elementos expostos em risco estão incluídos na vulnerabilidade (Vallejo & Ferrer 2011), o risco é calculado através da multiplicação do grau de perigosidade, pelo grau de vulnerabilidade de cada arriba, de forma a obter-se a classe de risco. Esta determinação esquematiza-se sobre a forma de matriz de risco (Tabela 7), que possibilita o cruzamento e a multiplicação do grau de perigosidade e do grau de vulnerabilidade.

A matriz de risco proposta na Tabela 7 foi adaptada de ANPC (2009), com as classes de riscos posicionadas sobre a matriz, de acordo com o grau de perigosidade e vulnerabilidade, identificando o grau de risco associado: Extremo, Alto, Moderado e Baixo/Reduzido.

Tabela 7 - Matriz de risco proposta, adaptada de ANPC (2009).

Grau de Perigosidade	Extremo	Baixo	Moderado	Alto	Extremo	Extremo
	Alto	Baixo	Moderado	Alto	Alto	Extremo
	Moderado	Baixo	Moderado	Moderado	Alto	Extremo
	Baixo	Baixo	Baixo	Moderado	Alto	Extremo
	Reduzido	Reduzido	Baixo	Moderado	Moderado	Alto
		Reduzido	Baixo	Moderado	Alto	Extremo
Grau de Vulnerabilidade						

[página propositadamente em branco]

Capítulo 5

Esquematização da matriz de risco dos casos de estudo

[página propositadamente em branco]

5. Esquematização da matriz de risco dos casos de estudo

5.1. Introdução

O presente capítulo aborda a aplicação prática da metodologia desenvolvida, tendo como principal objetivo avaliar, em dois casos de estudo, a estabilidade e o risco associado das arribas costeiras. Desenvolver-se-á a aplicação da matriz de risco proposta no Capítulo 4, considerando os princípios teóricos desenvolvidos no Estado da Arte, nomeadamente no Capítulo 2, complementada pela metodologia, procedimentos e técnicas descritas no Capítulo 3.

A seleção dos casos análise, incluídos num estudo geológico-geotécnico para a avaliação da estabilidade de arribas costeiras na região de Torres Vedras, fundamentou-se na sua relevância para a gestão costeira da região, na diversidade e complexidade das condições geológicas e geomorfológicas que apresentam, e na presença de elementos expostos de importância socioeconómica e/ou ambiental para a região de Torres Vedras.

Estes fatores, com destaque para a heterogeneidade e complexidade geológica e geomorfológica, permitiram testar a versatilidade e robustez da matriz de risco proposta, bem como identificar as suas potencialidades e limitações.

A análise é conduzida individualmente para cada caso de estudo, iniciando-se com o respetivo enquadramento geográfico, geológico, geotectónico e geomorfológico. Segue-se a apresentação do levantamento de campo realizado e da caracterização geotécnica. Posteriormente, procede-se à aplicação da matriz de risco a cada caso de estudo.

5.2. Enquadramento geográfico dos casos de estudo

Amanhã/Vigia e Formosa

Os casos de estudo são as arribas da praia da Vigia ou praia do Amanhã e as arribas da Praia Formosa, na envolvente do Penedo do Guincho. A primeira localiza-se em A-dos-Cunhados, união de freguesias de A-dos-Cunhados e Maceira, e, a segunda, localiza-se na freguesia de Silveira (Figura 17). Ambas as freguesias pertencem ao município de Torres Vedras, distrito de Lisboa (Figura 18).

A união de freguesias de A-dos-Cunhados e Maceira possui uma área total de 52,6 km² e uma população de 11.568 habitantes, enquanto a freguesia de Silveira apresenta uma área total de 24,9 km² e 9.323 habitantes (C.M. Torres Vedras 2025). O município de Torres Vedras apresenta uma área total de 407,1 km² e uma população de 83.072 habitantes, segundo os Censos de 2021 (C.M. Torres Vedras 2025).



Figura 17 - Localização geográfica, em imagem de satélite, do caso de estudo Amanhã/Vigia e Formosa, nas respetivas freguesias.

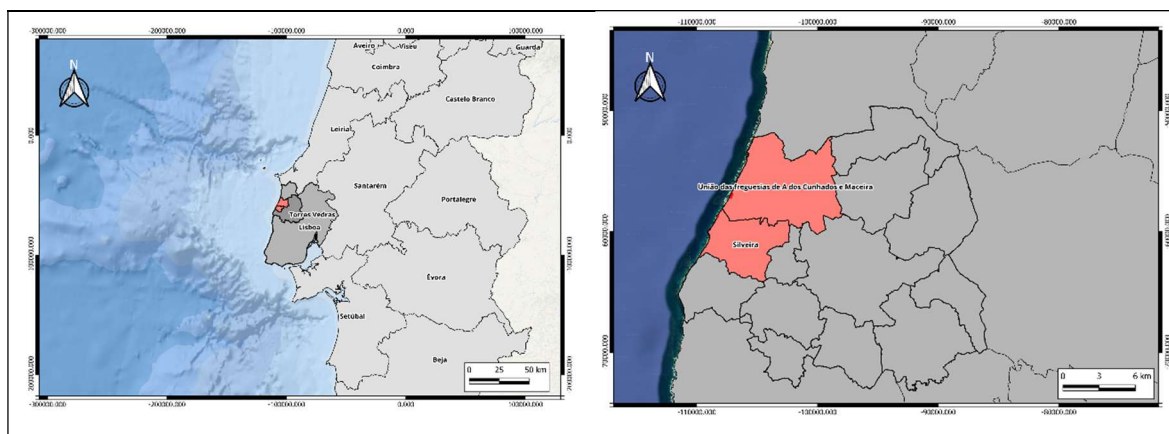


Figura 18 - Enquadramento geográfico regional das freguesias dos casos de estudo, no município de Torres Vedras e no distrito de Lisboa.

5.3. Enquadramento geológico, geotectónico e geomorfológico das arribas Amanhã/Vigia e Formosa

As áreas de estudo, localizadas no litoral de município de Torres Vedras, inserem-se na Orla Mesocenozóica Ocidental, na Bacia Lusitaniana, que constitui uma plataforma sedimentar, morfologicamente diferenciada pela presença de diversos relevos. Desenvolveu-se na Margem Ocidental Ibérica durante parte do Mesozóico, no contexto geodinâmico da fragmentação da Pangeia, mais concretamente, associada à abertura do Atlântico Norte. Este processo ocorreu num contexto de uma bacia distensiva, pertencente a uma margem continental do tipo atlântico de rift não vulcânico. Com cerca de 5.000 metros de espessura máxima, estende-se por cerca de 200 km NNW-SSE e 100 km E-W, com cerca de 2/3 aflorando na área continental emersa, estando a restante área imersa na plataforma continental (e.g., Kullberg et al. 2006; Pereira et al. 2014).

Segundo Ribeiro et al. (1979) a evolução tectónica da Bacia Lusitaniana foi condicionada por falhas que se formaram durante o episódio de fraturação tardi-varisca (300 a 280 Ma). Este episódio tardi-orogénico (orogenia Alpina) resulta de imposição de regime de cisalhamento direito à micro-placa ibérica nos seus paleolimites ocidental, oriental, setentrional e meridional, dos quais resultariam as falhas de desligamento esquerdo de direção aproximada NNE-SSW a NE-SW (e.g., Ribeiro 2002; Kullberg et al. 2006).

Como refere Kullberg et al. (2006): “Esta é a herança tectónica da Bacia que levou, durante o estiramento crustal mesozóico, à formação do conjunto de bacias marginais na Margem Ocidental Ibérica” (Figura 19).

Na Bacia Lusitaniana, de natureza intracratónica e interna, separada de uma zona externa por um relevo estrutural correspondente ao *horst* da Berlenga, estão registados alguns processos endógenos e exógenos de grande complexidade, nomeadamente episódios de inversão tectónica precoce, magmatismo muito ténue (margem continental de *rift*, não vulcânica) e diapirismo (Manuppella et al. 1999; Kullberg et al. 2006).

A Bacia Lusitaniana caracteriza-se, do ponto de visto estratigráfico, por uma marcada alternância entre sedimentos clásticos aluviais e níveis marinhos essencialmente de calcários e margas. No seu registo sedimentar diferenciam-se grandes sequências estratigráficas, limitadas por descontinuidades de larga representação e significado geodinâmico (Pereira et al. 2014).

A primeira etapa de enchimento é dominada pela presença dos Grés de Silves e pelas Margas de Dagorda, com níveis evaporíticos, a que se sucedem dolomitos, margas e calcários. Esta associação litológica sugere uma deposição num ambiente continental desértico com taxas de evaporação elevadas, que permitiram a acumulação de materiais evaporíticos (Almeida et al. 2000). As três etapas seguintes estão representadas essencialmente por níveis de calcários e de arenitos. Uma quinta etapa marca a inversão tectónica que afetou a Ibéria no Cretácico Superior (Pais et al. 2012). O regime compressivo que se sucede deformou moderadamente as unidades sedimentares mesozoicas da Bacia Lusitânica, em conjunto com o substrato representado pelo Maciço Ibérico (Pereira et al. 2014).

Rocha & Soares (1984), com base em variações de fácies e espessura das unidades litoestratigráficas aflorantes do Jurássico Inferior, dividiram a Bacia Lusitaniana em setor Setentrional, Central e Meridional. O setor Central, onde se localizam as áreas em estudo, está situado entre as falhas de Nazaré a norte, e de Torres Vedras-Montejunto-Arrife a sul, onde o Jurássico Médio aflora bem e apresenta fortes espessuras (Figura 19) (Kullberg et al. 2006).

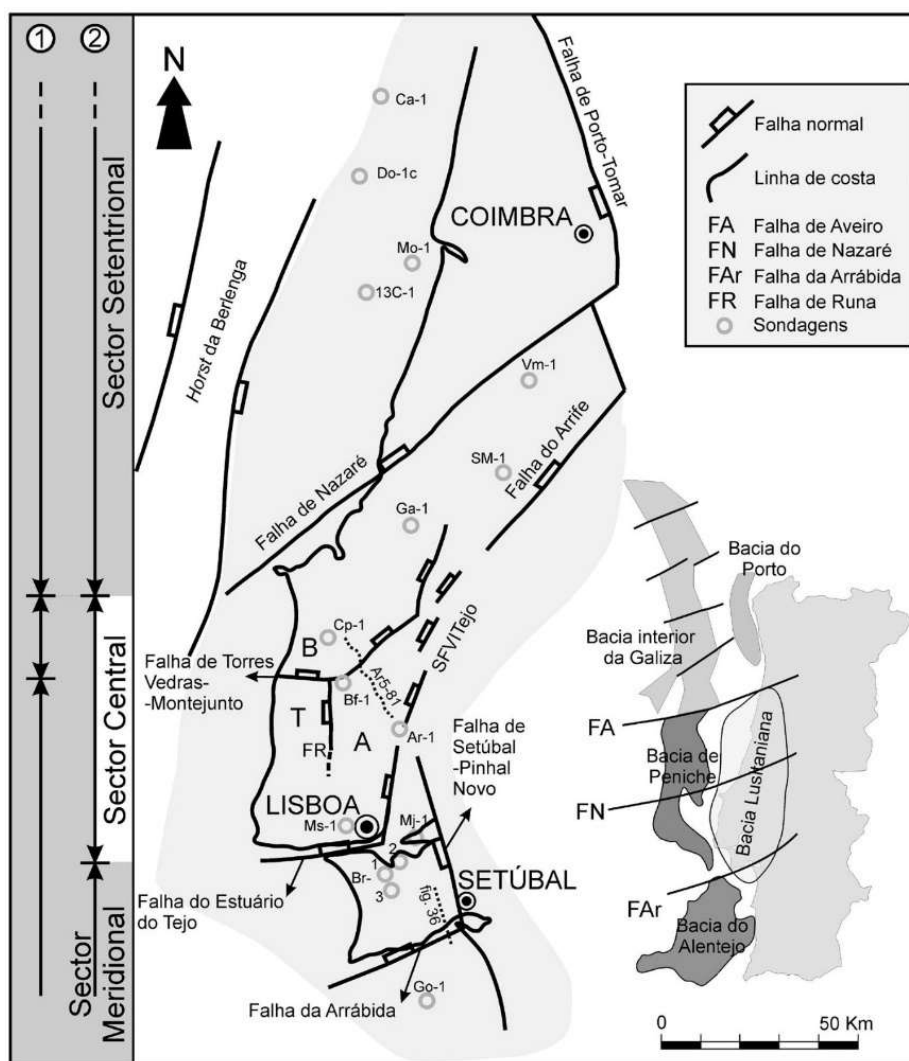


Figura 19 - Enquadramento geográfico e tectónico da Bacia Lusitaniana e de outras bacias da Margem Ocidental Ibérica. Definição de sectores (1 – Rocha & Soares 1984; 2 – Ribeiro et al. 1996) (extraído de Kullberg et al. (2006)).

De acordo com a Notícia Explicativa da Folha 30-A (Lourinhã) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000, no troço litoral estudado, caracterizado por diversidade geológica e geomecânica, afloram as formações do Jurássico Inferior ao Holocénico de seguida descritas (Manuppella et al. 1999). As formações Jurássicas da Folha 30-A (Lourinhã) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000, são as seguintes:

J_{DA}^1 – Margas de Dagorda (Complexo pelítico-carbonatado-evaporítico) - Formação de Dagorda:

A formação mais antiga cartografada nas áreas em estudo (Hatangiano-Sinemuriano Inferior (Jurássico Inferior)) corresponde às Margas de Dagorda (Complexo pelítico-carbonatado-evaporítico), constituída por argilas e margas evaporíticas, profundamente brechificadas, que constituem o “cap rock” das extrusões salíferas de Santa Cruz. Possuem características físicas

(densidade e reologia) particulares, sendo responsáveis principalmente pelo diapirismo e pelos descolamentos basais, associados a falhas normais lítricas (durante a distensão mesozoica) ou a cavalgamentos peculiares (durante a inversão tectónica cenozoica). As cores dominantes são a violácea ou “borra de vinho” e a esverdeada. Dão lugar a depressões provocadas pelas erosões e, por vezes, pelo colapso da estrutura extrusiva (vales tifónicos). A Formação de Dagorda subdivide-se em três membros, observáveis, de cima para baixo: 1 – Membro dolomítico (250-320 m), essencialmente dolomítico ou margo-dolomítico com pelitos vermelhos e/ou acinzentados e evaporitos; 2 – Membro salífero/dolomítico (60-85 m), predominantemente dolomítico e/ou calco-margoso e margoso rico em evaporitos (anidrite e halite); 3 – Membro salífero (290-800m), caracterizado pelo domínio acentuado de halite, por vezes interestratificada com margas dolomíticas e/ou pelitos margosos e anidrite (Manuppella et al. 1999).

J_{SC}^3 – Calcários e margas de Santa Cruz | Formação de Abadia (Membro do Guincho) | J_{AL}^3 – Arenitos e Conglomerados (Camadas de Alcobaça): Correspondem a um pequeno afloramento situado entre a Praia de Santa Cruz e a Praia Formosa, mais propriamente na Praia do Guincho (Kimeridgniano - Kimeridgniano Inferior (Jurássico Superior)). O afloramento está limitado a E e NE por falha, que o põe em contacto com as “Margas de Dagorda, da extrusão de Santa Cruz e, a sul, também por falha que o separa de depósitos arenosos grosseiros pertencentes a fácies salobras (Manuppella et al. 1999) (Figura 20). O afloramento, com cerca de 50 m de extensão, é constituído por calcários na base, margas duras siltosas e arenitos finos. A cor dominante é a cinzento-escura a preto, sugerindo abundância de matéria orgânica. Sobrepondo-se aos calcários e margas de Santa Cruz e neles canalizados, afloram 40 m de arenitos conglomeráticos com clastos de granito, xisto e calcário que não foram cartografados por não terem expressão e, por isso, englobam-se na Unidade Amoreira-Porto Novo. Distingue-se uma sedimentação do tipo maciço em camadas paralelas com estratificação entrecruzada. A espessura das camadas é métrica (Manuppella et al. 1999).

Esta unidade aflora na área do caso de estudo da Formosa e apresenta-se, na Figura 20, a carta geológica esquemática das unidades aflorantes entre o vértice geodésico Alto da Vela e Santa Cruz.

J_{AP}^3 – Grés, margas e arenitos da Praia da Moreira e Porto Novo (Formação Lourinhã): o termo Praia da Amoreira refere-se a uma unidade composta predominantemente por sedimentos de origem continental, constituídos por arenitos grosseiros com caulinite e por argilitos, nos quais se encontram intercalados solos calcários (Kimeridgniano Superior – Titoniano (?) (Jurássico Superior)). Estes elementos ocorrem frequentemente em alternância estreita, com predominância dos argilitos. A deposição dos materiais que formam esta unidade terá ocorrido em cones aluvionares, sendo que a elevada proporção de argilitos (cerca de 60%) indica uma sedimentação

em setores distais desses sistemas deposicionais. Sobre o termo Praia da Amoreira, através de uma superfície erosiva, sucede o termo Porto Novo, constituído por depósitos fluviais sedimentados numa faixa de meandros fluviais. Estes depósitos são formados essencialmente por conglomerados de nódulos argilosos e carbonatos pedogenéticos, com espessas intercalações de depósitos areníticos (Manuppella et al. 1999). Esta unidade aflora somente na área do caso de estudo da Formosa.

J_{BO}^3 – Grés, margas, argilas e conglomerados do Bombarral (Grés superiores) - Formação do Bombarral: Aflora a NW da Falha da Lourinhã, a S do Forte do Pai Mogo até Atalaia de Baixo, constituindo um afloramento com pequena espessura (Malm – Titoniano (Jurássico Superior)). Adquire maior espessura a SE da Lourinhã, onde forma importante afloramento a S da linha Miragaia, Vimeiro-Santa Cruz. É constituída por sequências siliclásticas continentais siltosas, areníticas e conglomeráticas, com arenitos argilosos e argilas com composição ílítico montmorilonítica, por vezes com concreções calcárias. A cor é predominantemente vermelha, mas os tons verdes, cinzentos e amarelos são frequentes. Na base, apresenta na região de Santa Cruz uma intercalação marinho salobra. O limite inferior é dado pela sobreposição à Unidade Sobral e as suas variações de fácies de camadas conglomerático-arenítico-argilosas de fácies continental e pertencente à Unidade Bombarral. O limite superior é constituído por conglomerados e arenitos argilosos já datados do Cretácico (Manuppella et al. 1999). Esta unidade aflorará somente no limite norte da área do caso de estudo de Amanhã/Vigia.

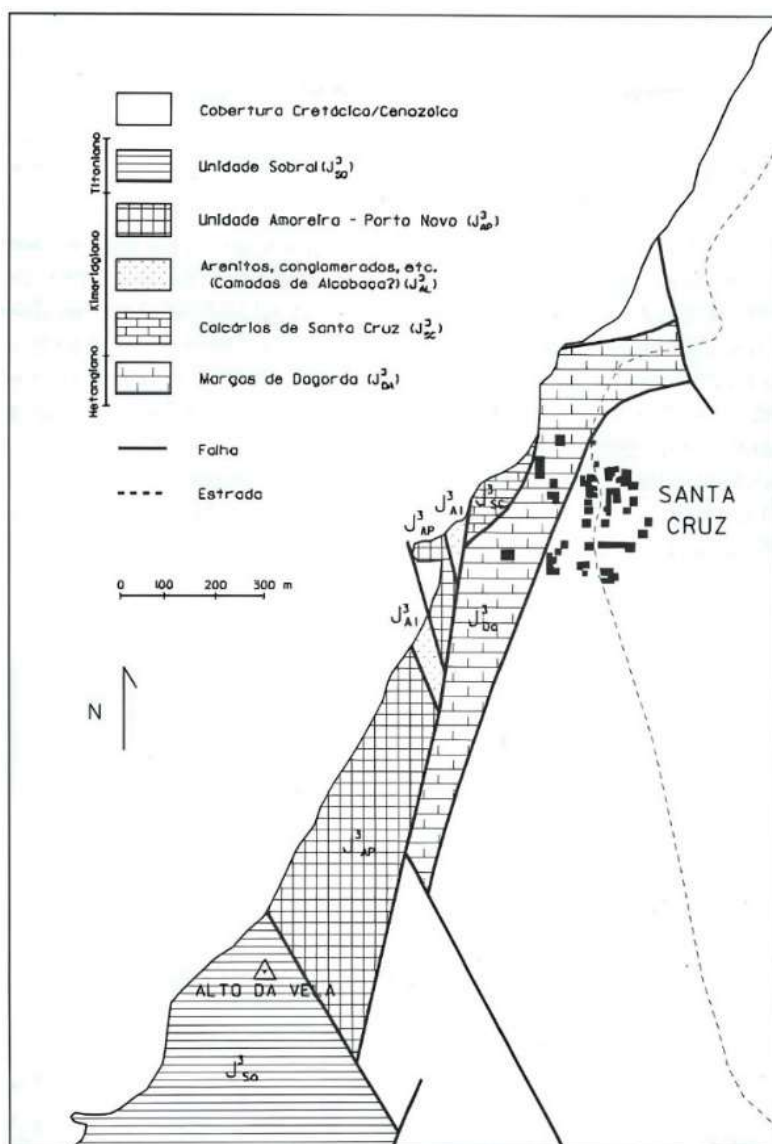


Figura 20 - Carta geológica esquemática das unidades aflorantes entre o v.g. Alto da Vela e Santa Cruz (extraído de Manuppella et al. 1999).

As formações cretácicas da Folha 30-A (Lourinhã) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000 pertencem ao Grupo de Torres Vedras, que é composto por uma série terrígena fluvial do Cretácico inferior sobreposta, em discordância, sobre a Formação do Bombarral (J_{BO}^3) (Manuppella et al. 1999), são as seguintes:

C_{AL}^{1-2} – Siltes, argilas e grés finos a grosseiros de Almargem: Esta formação corresponde ao conjunto de depósitos exclusivamente argilo-gresosos do Barremiano superior-Aptiano (Cretácico). Na região de Torres Vedras, a qual inclui a área aflorante na folha da Lourinhã, a formação de Almargem é constituída por dois membros, separados por uma crosta ferruginosa: um membro inferior constituído por grés grosseiro e conglomerados, cinzento-claro e branco, com calhaus achatados de quartzo e lidito, com cerca de 10 m de espessura, e um membro superior formado

por argilas vermelhas, azuis e violáceas intercaladas por lenticulas finas de grés finos a grosseiros e conglomerados esbranquiçados a amarelados. Este segundo membro apresenta, da base para o topo, uma granulometria crescente, possuindo cerca de 35 m de espessura. A formação de Almargem diferencia-se das outras formações siliciclásticas do Cretácico inferior, principalmente no que toca às argilas, que são predominantemente caulíníticas e, mais raramente, ílíticas, e pela coloração rosada, amarela, castanha ou vermelha, da maior parte dos calhaus achatados de quartzo, coloração esta originada pela impregnação de ferro (Manuppella et al. 1999). Esta unidade aflora na área do caso de estudo de Amanhã/Vigia.

A – Areias de praia: As areias de praia (Holocénico) estão presentes em quase todo o litoral abrangido pela carta. São aprisionadas pelos pequenos promontórios rochosos, formados por rochas do Jurássico e Cretácico. Estes, funcionando como esporões naturais, levam à acumulação das areias transportadas pela deriva litoral e à formação de praias. As praias são em geral estreitas desenvolvendo-se na base das falésias. As exceções são as praias de Santa Cruz que, devido à morfologia da costa, apresentam maior largura. As oscilações entre os principais regimes de ondulação que afetam a nossa costa, com orientações de NW e SW, e a consequente alteração na deriva litoral de sedimento levam a grandes variações na morfologia, dimensão e distribuição das praias (Manuppella et al. 1999). Esta unidade aflora em ambas as áreas dos casos de estudo, Amanhã/Vigia e Formosa.

Encontra-se representado na Figura 21, um extrato da Folha 30-A (Lourinhã) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000 (Manuppella et al. 1996), com a representação das áreas dos casos de estudo Amanhã/Vigia e Formosa, com as respetivas litologias cartografadas e descritas anteriormente, nas áreas alvo desta dissertação.

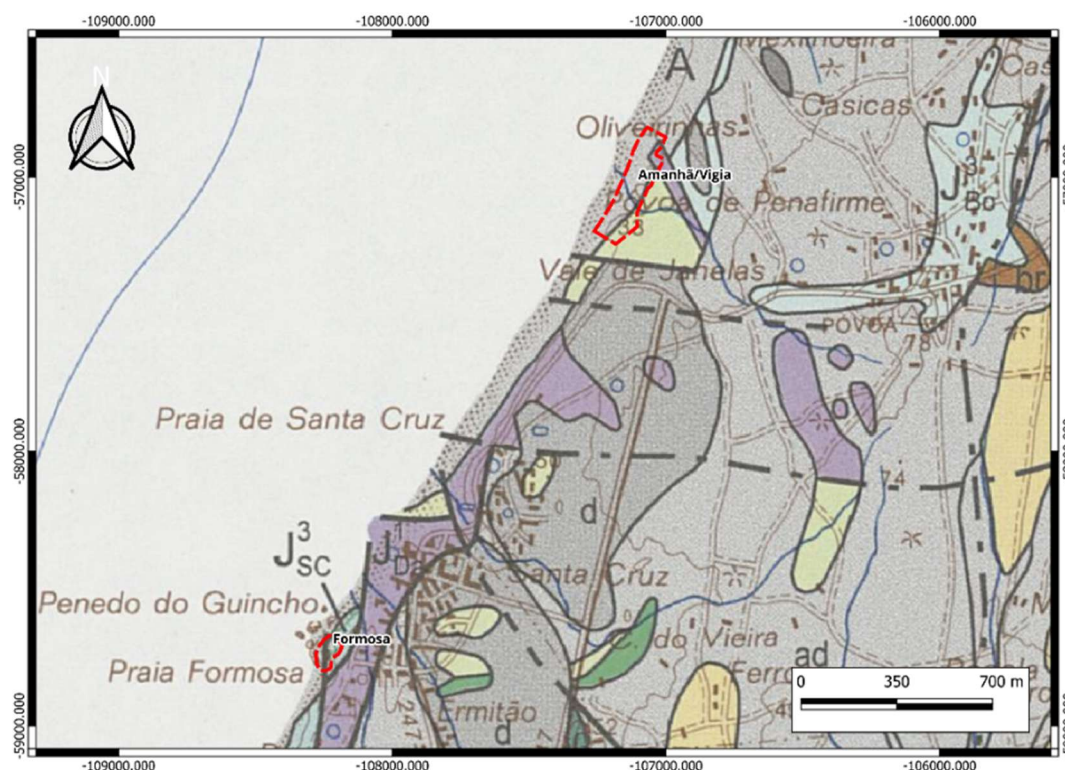


Figura 21 - Extrato da Folha 30-A (Lourinhã) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000, com a representação das áreas dos casos de estudo Amanhã/Vigia e Formosa e as respetivas litologias (Manuppella et al. 1996).

5.4. Caso da arriba Amanhã/Vigia

O primeiro caso de estudo corresponde às arribas costeiras da praia da Vigia ou praia do Amanhã, representada na Figura 22, com uma área de aproximadamente 43.252 m² e uma extensão de 430 metros. A arriba da área Amanhã/Vigia desenvolve-se sobre uma sequência sedimentar mesozoica composta por arenitos, conglomerados, siltitos e argilitos (C_{AL}^{1-2}) com estratificação inclinada para Este. A norte, existe um possível contacto com as sequências siliclásticas continentais siltosas, areníticas e conglomeráticas, com arenitos argilosos e argilas do Jurássico Superior (J_{BO}^3). A estrutura regional é estável, mas marcada por variações locais de competência e granulometria.

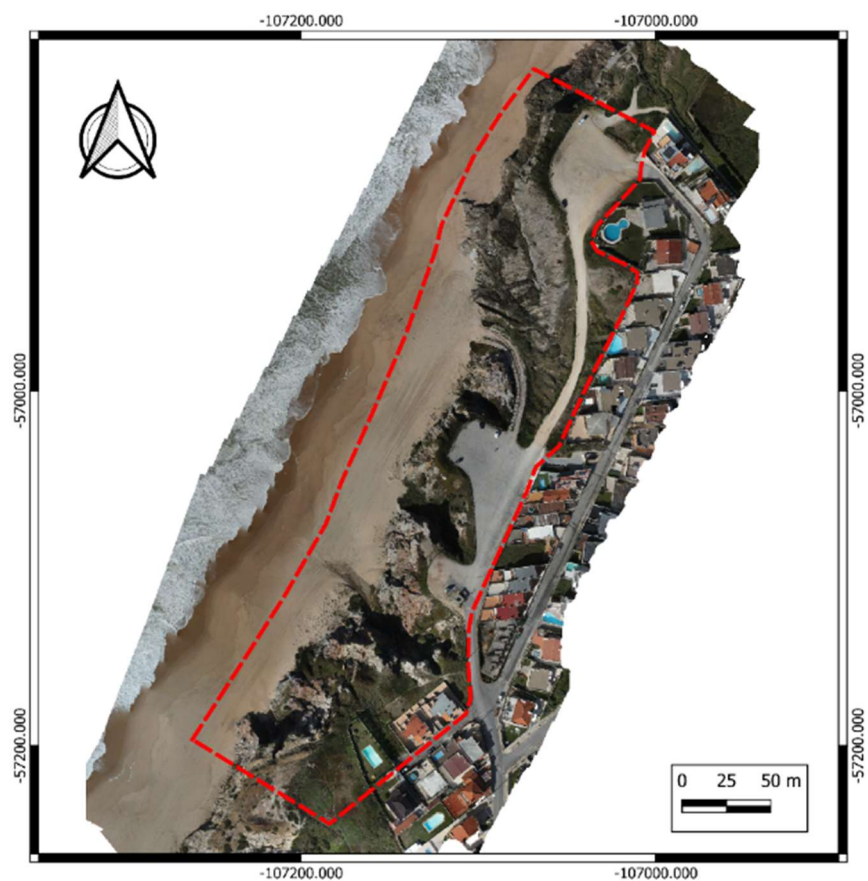


Figura 22 - Representação da arriba da área Amanhã/Vigia sobre fotografia aérea.

Na Figura 23, estão representadas imagens das arribas costeiras da área Amanhã/Vigia, resultantes do levantamento topográfico das arribas de Santa Cruz.



Figura 23 - Imagens das arribas costeiras da área Amanhã/Vigia, resultantes do levantamento topográfico das arribas de Santa Cruz.

A altitude das cristas na área em estudo oscila entre os 19 e os 34 metros apresentando uma inclinação máxima de 90° e mínima de 21° . A orientação da linha de costa é predominante para $N25^\circ$ e a direção da inclinação das arribas é predominantemente $N295^\circ$ (Figura 24).

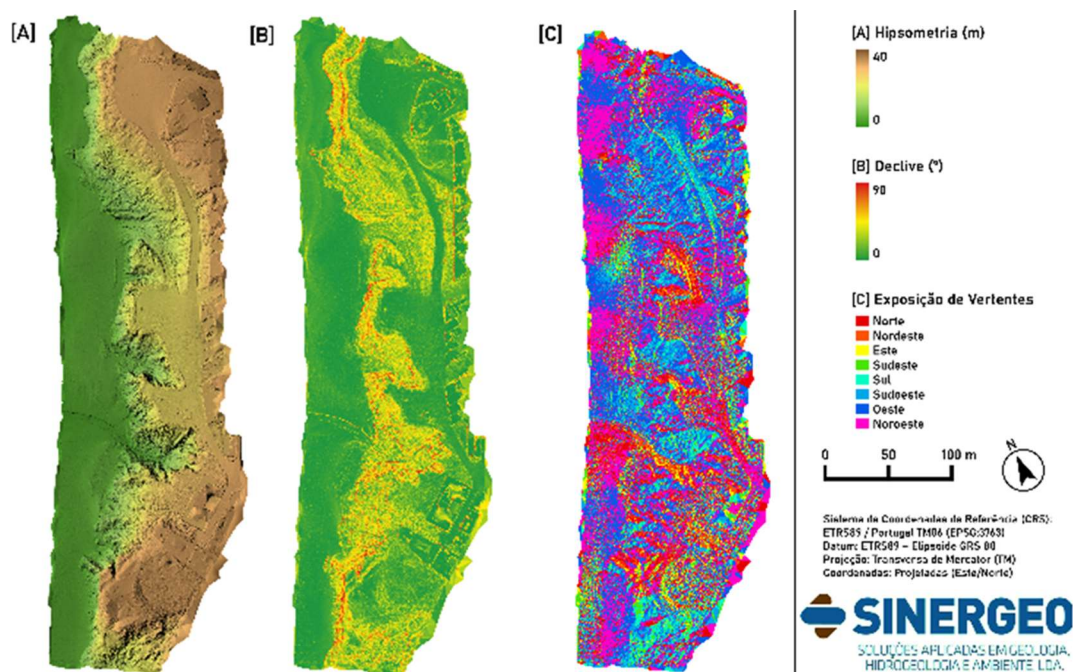


Figura 24 - Condições fisiográficas da área do caso de estudo Amanhã/Vigia.

De acordo com Ramos (2021), a Praia da Vigia apresenta processos erosivos ativos e instabilidade visível na arriba. Observou-se a formação e posterior queda de blocos instáveis de arenito e registaram-se escoamentos superficiais que causam ravinas, especialmente nas zonas de materiais muito brandos (siltes e argilas). Há o registo de um caso específico de identificação e queda de um bloco de aproximadamente 33 m³ entre 17 de dezembro de 2020 e 13 de fevereiro de 2021 (Figura 25). O bloco estava sustentado de forma precária na face da arriba antes de cair.

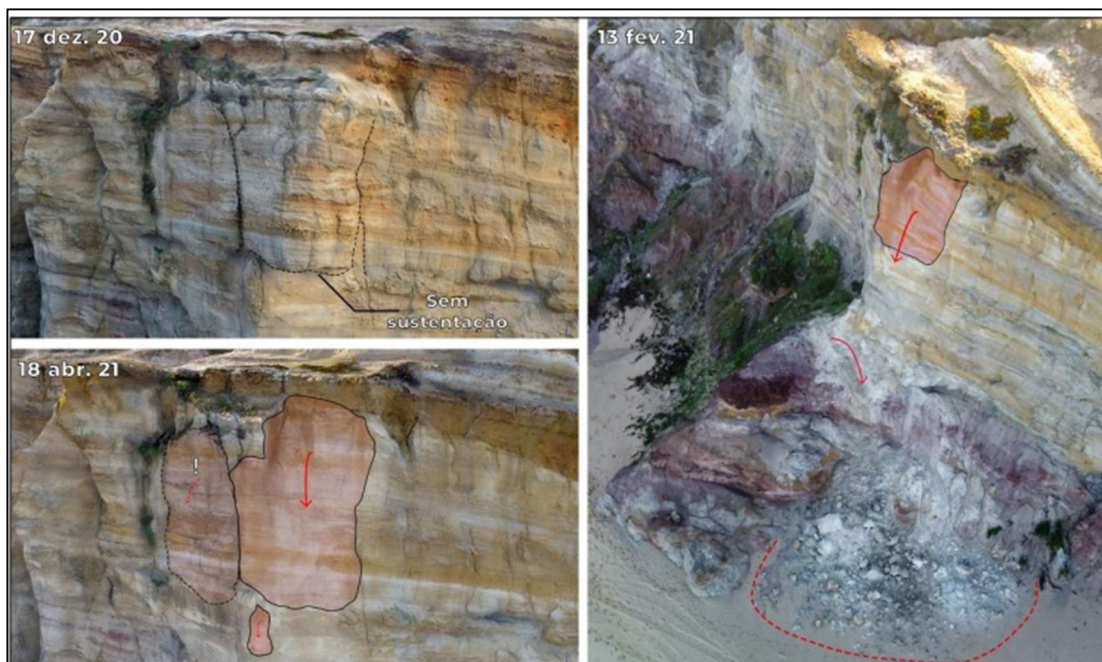


Figura 25 - Identificação da queda de um bloco de aproximadamente 33 m³ na Praia da Vigia, entre 17 de dezembro de 2020 e 13 de fevereiro de 2021 (extraído de Ramos 2021).

Ramos (2021) refere ainda a possibilidade de se observar outros processos neste setor, como o escoamento superficial, que promove a formação de ravinamentos nas rochas de menor resistência e contribui para pequenos fluxos e acumulação. Em material de maior resistência, a fraturação que possui favorece as quedas de blocos (Figura 26).

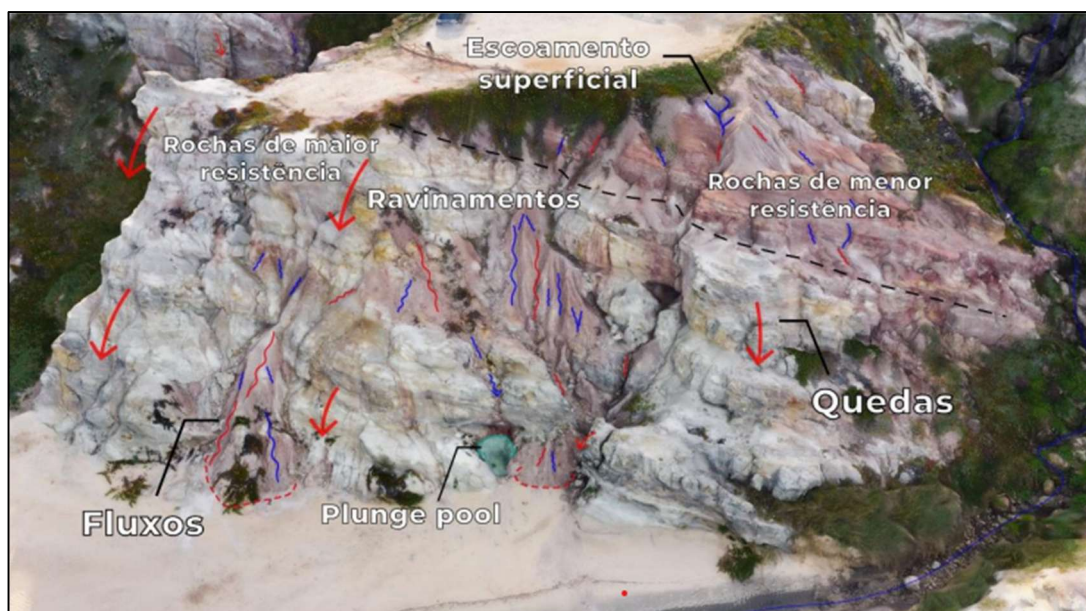


Figura 26 - Processos erosivos observados na Praia da Vigia a 18 de abril de 2021, por Ramos (2021) (extraído de Ramos 2021).

5.4.1. Levantamento de campo

O levantamento de campo desenvolvido na área de estudo Amanhã/Vigia, foi realizado nos dias 13 de fevereiro de 2025 e 22 de abril de 2025. As atividades de campo incluíram a implantação de estações de observação (L_x), destinadas à identificação e caracterização de patologias geotécnicas, de estruturas e de unidades litológicas expostas, bem como ao registo do início e do fim da amostragem linear das arribas costeiras.

Para o levantamento geológico e geotécnico das discontinuidades expostas nos maciços rochosos das arribas costeiras da área Amanhã/Vigia, foram implementadas cinco amostragens lineares pela técnica de amostragem linear. Esta metodologia permitiu registar sistematicamente as principais famílias de discontinuidades, parâmetros geométricos (como a orientação, espaçamento e persistência) e outras características relevantes para a análise da estabilidade estrutural. Na Figura 27 estão representadas, sobre fotografia aérea, a localização das “scanlines” e das estações de observação realizadas.

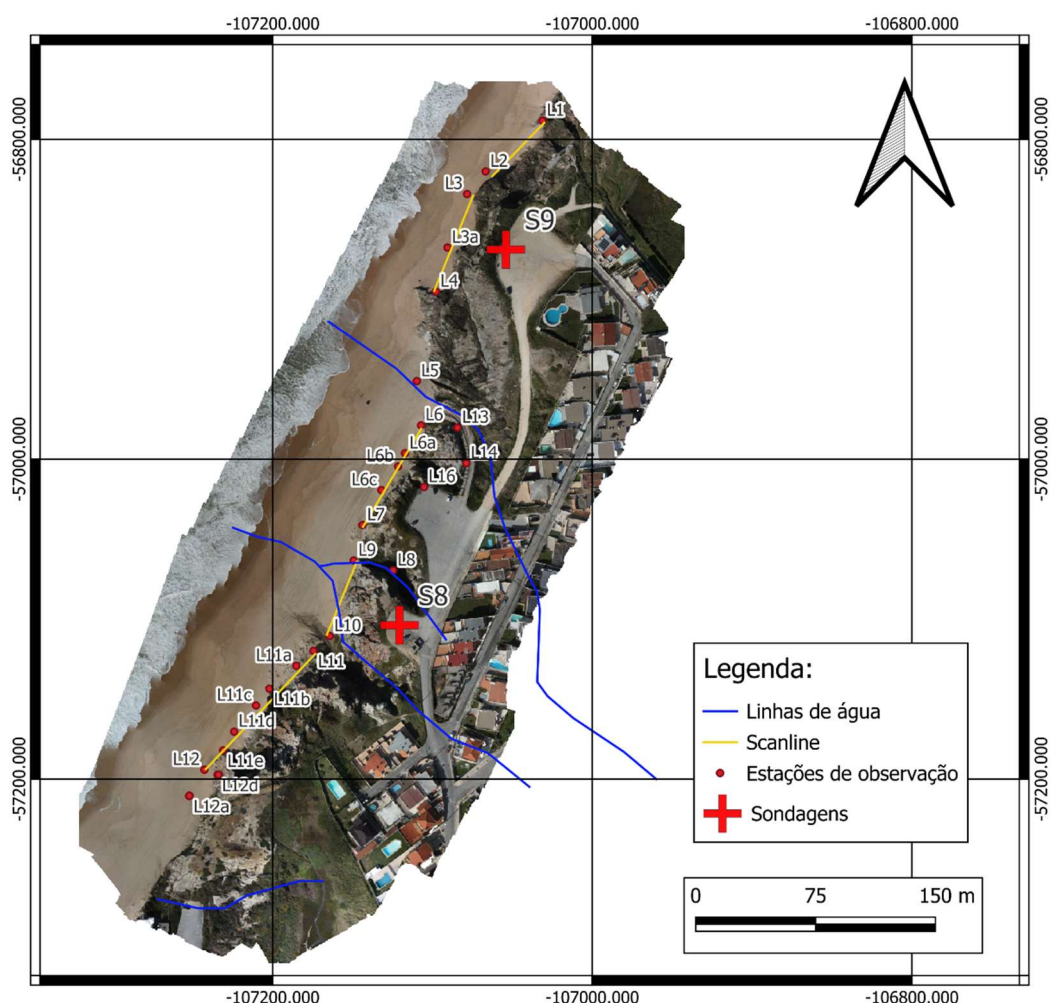


Figura 27 - Localização das “scanlines” e das estações de observação realizadas no levantamento de campo na área do caso de estudo Amanhã/Vigia, sobre fotografia aérea.

Os dados geológico-geotécnicos e geomecânicos cartografados nas “scanlines” foram, posteriormente, tratados com vista à delimitação e análise da compartimentação do maciço rochoso fissurado. As características gerais das “scanlines”, nomeadamente a direção geral que possuem, os comprimentos analisados, o número de descontinuidades e as suas coordenadas, estão sintetizadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Características gerais das “scanlines” executadas nas arribas costeiras na área do caso de estudo Amanhã/Vigia.

Scanline	Coordenadas Início (PT-TM06/ETRS89)		Coordenadas Fim (PT-TM06/ETRS89)		Direção geral	Comprimento (m)	Número de descontinuidades
	M	P	M	P			
L1-L2	-107031,173	-56788,232	-107066,693	-56819,934	N50º	45	15
L3-L4	-107078,347	-56834,089	-107097,828	-56895,110	N20º	64	40
L6-L7	-107107,138	-56978,742	-107143,753	-57041,066	N50º	72,5	71
L9-L10	-107149,337	-57063,263	-107164,284	-57110,506	N20º	49,4	45
L11-L12	-107174,522	-57119,771	-107242,771	-57194,089	N50º	120	71

Os dados gerais referentes a cada “scanline” foram registados na Ficha de Caracterização das Condições Geológico-Geotécnicas de Superfície de Taludes que podem ser consultadas no Anexo II.

De um ponto de vista geral, o maciço das arribas costeiras encontra-se descomprimido, alterado (W_{4-5}), com fraturação subvertical (paralela, subparalela e oblíqua à arriba), o que compartimenta o maciço em blocos colunares (paralelepípedos) e favorece a queda de blocos. As arribas são afetadas por erosão ativa, com escorrência pluvial concentrada, descalçamento basal devido às marés (sapas), e erosão diferencial nos níveis menos competentes. Assinalam-se ainda movimentos antigos, comprovados em Ramos (2021).

A morfologia é predominantemente vertical, com setores inclinados ($\approx 45^\circ$) e zonas de recuo. Identificam-se ainda três patamares morfológicos (vertical-inclinado-vertical), colunas instáveis e blocos descalçados. Algumas zonas vegetadas evidenciam estabilidade superficial relativa. Há evidências de desmoronamentos recentes, fissuração no topo e blocos inclinados em situação metaestável.

5.4.2. Análise de cinemática

Para a avaliação da estabilidade das arribas costeiras, foi realizada uma análise cinemática através da representação estereográfica das descontinuidades registadas nas “scanlines”, recorrendo-se ao ensaio de Markland (1972).

Recorreu-se ao software *Dips*, da *Rocscience*, para executar a análise cinemática das arribas costeiras do caso de estudo Amanhã/Vigia, em cada “*scanline*” efetuada. Para a análise considerou-se a orientação média da arriba, a orientação média das famílias de descontinuidades e o valor do ângulo de atrito do maciço rochoso. Os valores considerados para o ângulo de atrito do maciço rochoso tiveram em consideração os valores apresentados na Tabela 13, no capítulo 5.4.4. desta dissertação.

De seguida, são apresentados os resultados obtidos para cada “*scanline*”, relativamente ao Ensaio de *Markland* realizado no software *Dips*, onde foi avaliado o risco de rotura planar, rotura por cunha e por tombamento flexural, direto e oblíquo.

Para a “*scanline*” L1-L2 a análise de cinemática identificou diferentes mecanismos potenciais de instabilidade. A rotura planar poderá ocorrer na Família 1 de descontinuidades, uma vez que esta apresenta direções sub-paralelas à arriba e inclinações orientadas para o mesmo quadrante, em conjunto com algumas descontinuidades aleatórias (Figura 28A). Relativamente à rotura por cunha, verifica-se a interseção dos planos das Famílias 1 e 2, bem como de descontinuidades aleatórias, que poderão igualmente originar este tipo de mecanismo (Figura 28B). Quanto ao tombamento direto e oblíquo, observa-se a interseção de planos das Famílias 1 e 2 e de algumas descontinuidades aleatórias, sugerindo condições favoráveis a este tipo de rotura (Figura 28C). Por fim, a rotura por tombamento flexural poderá desenvolver-se a partir da Família 2 e de descontinuidades aleatórias, dado que apresentam direção sub-paralela e inclinação contrária à da arriba (Figura 28D).

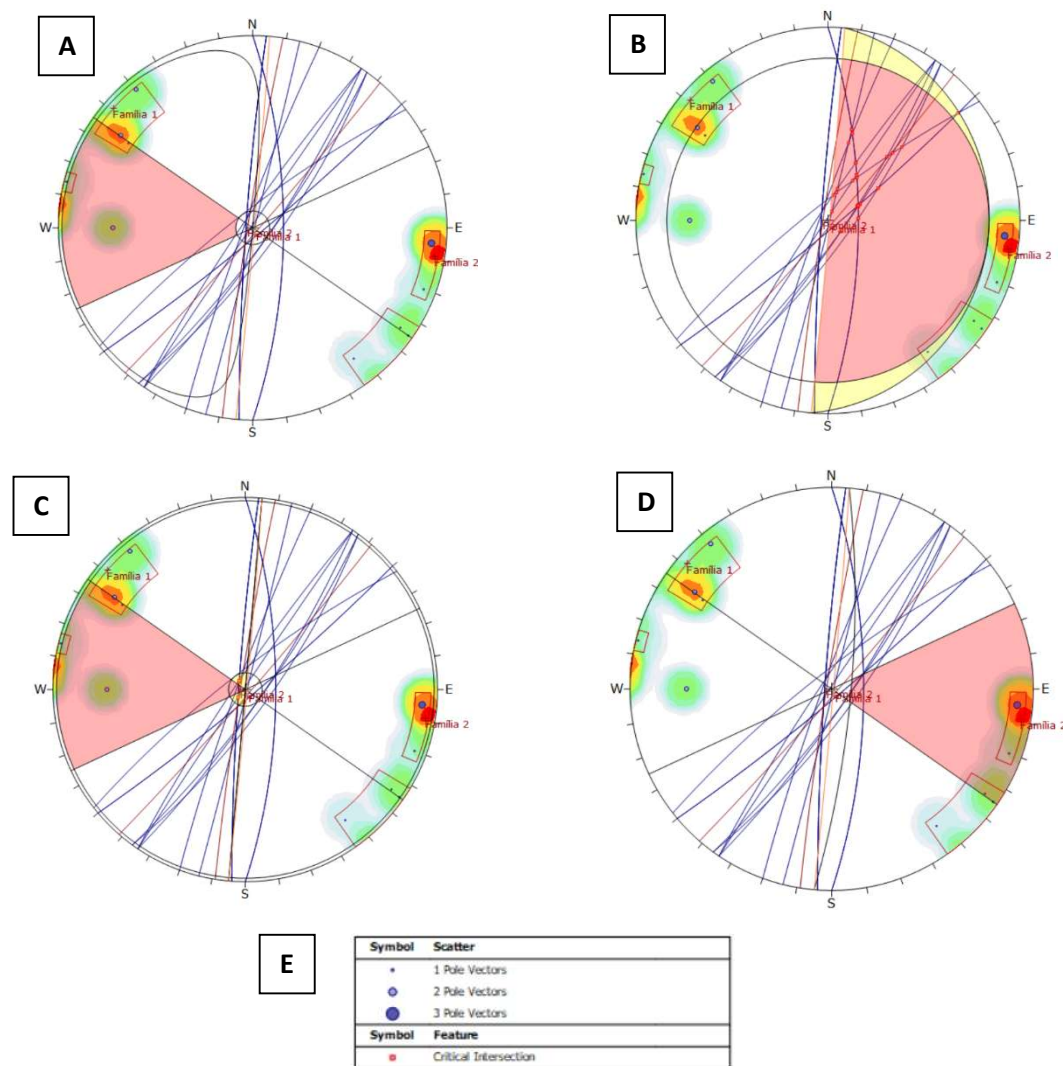


Figura 28 - Análise cinemática da “scanline” L1-L2 do caso de estudo Amanhã/Vigia; A-Rotura Planar; B-Rotura por Cunha; C- Rotura por Tombamento Direto e Oblíquo; D-Rotura por Tombamento Flexural; E-Legenda dos Símbolos.

Para a “scanline” L3-L4 a análise cinemática revelou a possibilidade de diferentes mecanismos de instabilidade. A rotura planar poderá ocorrer nas Famílias 1 e 2 de discontinuidades, uma vez que apresentam direções sub-paralelas à arriba e inclinações orientadas para o mesmo quadrante, em conjunto com algumas discontinuidades aleatórias (Figura 29A). Quanto à rotura por cunha, observa-se a interseção dos planos das Famílias 1, 2 e 3, bem como de discontinuidades aleatórias, sugerindo condições favoráveis a este tipo de rotura (Figura 29B). Relativamente ao tombamento direto e oblíquo, verificam-se interseções entre planos das Famílias 1 e 2 e de discontinuidades aleatórias, que poderão originar estes tipos de roturas (Figura 29C). Por fim, a rotura por tombamento flexural poderá desenvolver-se em alguns planos de discontinuidades aleatórias, que apresentam direção sub-paralela e inclinação contrária à da arriba (Figura 29D).

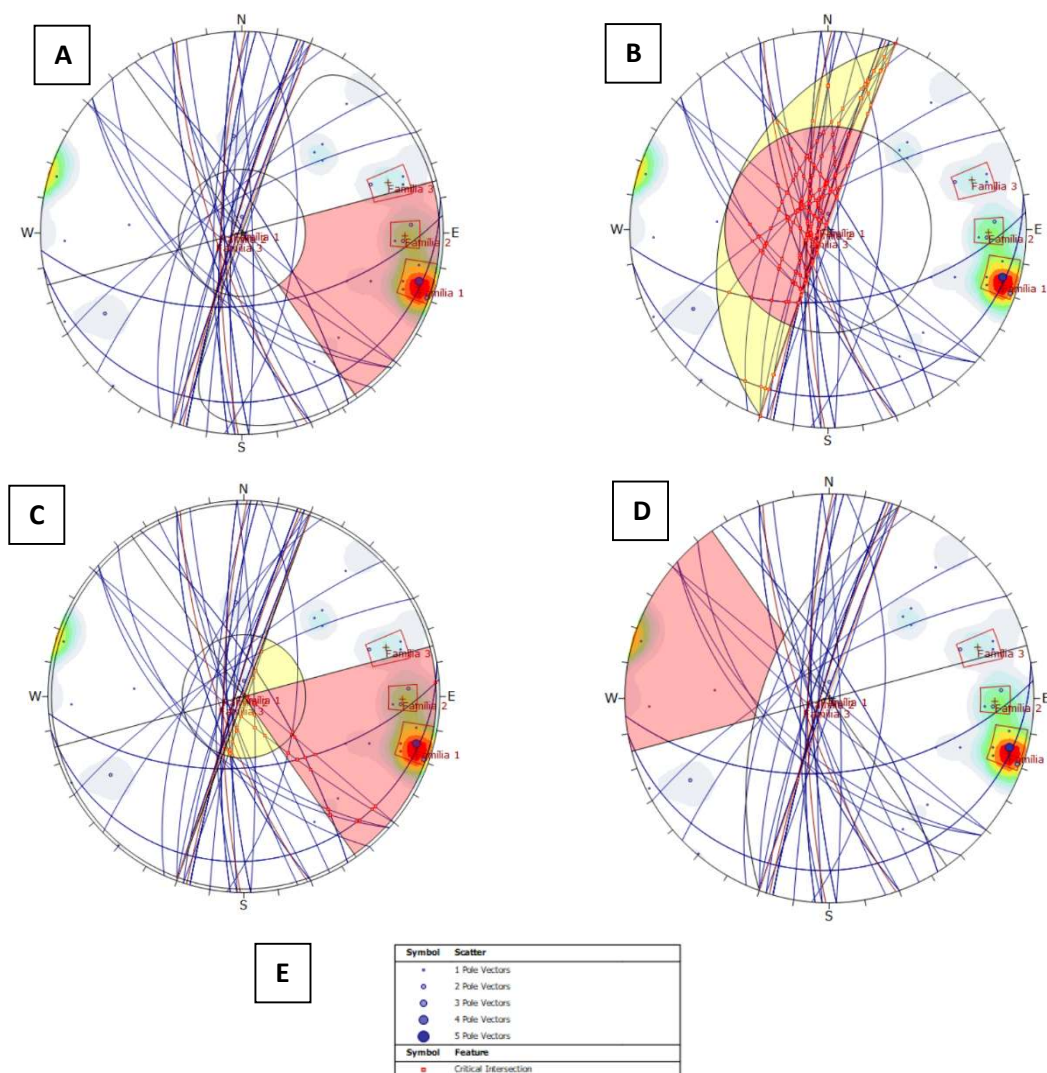


Figura 29 - Análise cinemática da “scanline” L3-L4 do caso de estudo Amanhã/Vigia; A-Rotura Planar; B-Rotura por Cunha; C- Rotura por Tombamento Direto e Oblíquo; D-Rotura por Tombamento Flexural; E- Legenda dos Símbolos.

Para a “scanline” L6-L7 a análise cinemática evidenciou diferentes mecanismos potenciais de instabilidade. A rotura planar poderá desenvolver-se na Família 4 de discontinuidades, dado que apresenta direções sub-paralelas à arriba e inclinações orientadas para o mesmo quadrante, em conjunto com algumas discontinuidades aleatórias (Figura 30A). A rotura por cunha poderá ocorrer a partir da interseção dos planos das Famílias 2 e 4, 1 e 4, bem como a 3 e 4, indicando condições favoráveis a este tipo de rotura (Figura 30B). Relativamente ao tombamento direto e oblíquo, verificam-se interseções entre planos da Família 4 e da Família 5, além de algumas discontinuidades aleatórias, que poderão originar estas roturas (Figura 30C). No que respeita ao tombamento flexural, não foram identificados indícios que permitam considerar a sua ocorrência (Figura 30D).

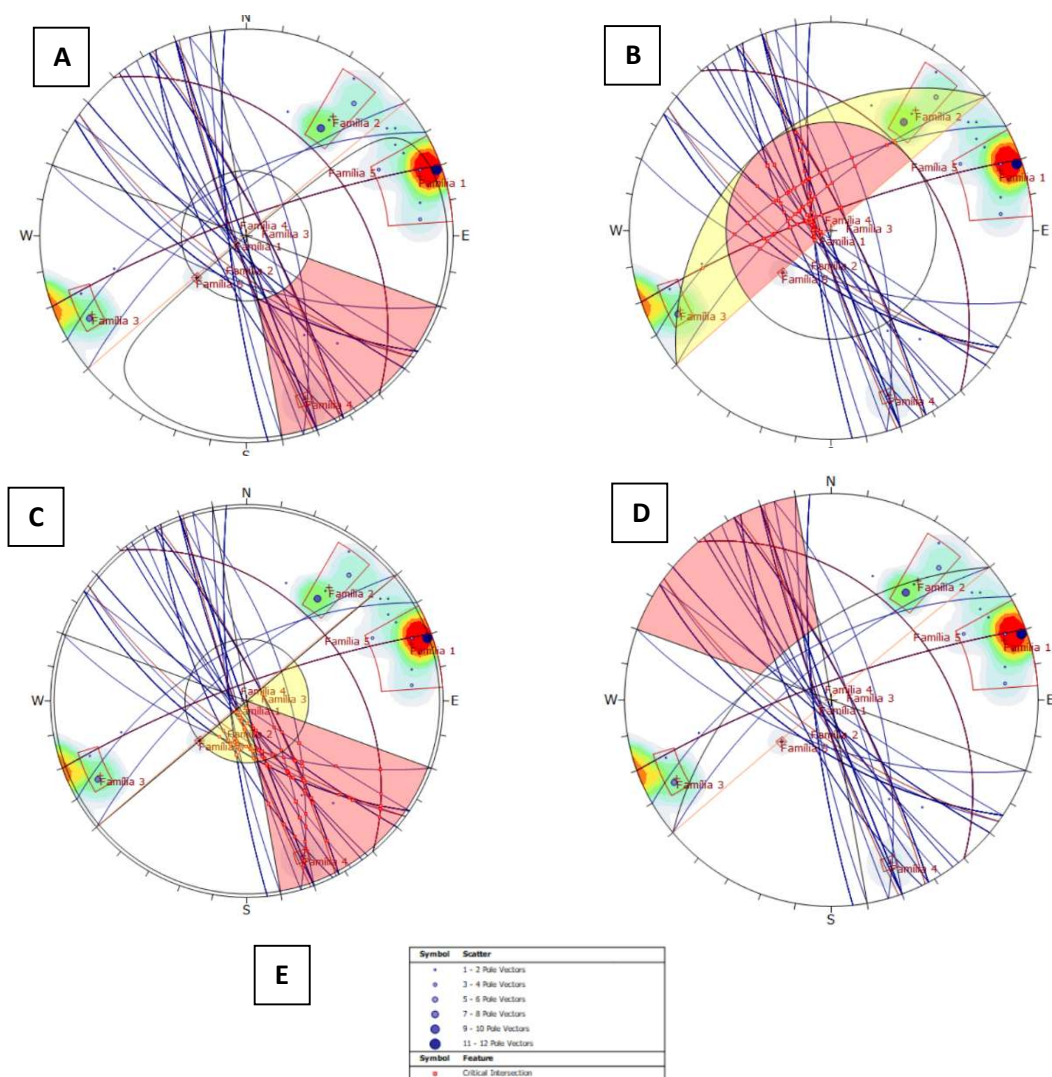


Figura 30 - Análise cinemática da “scanline” L6-L7 do caso de estudo Amanhã/Vigia; A-Rotura Planar; B- Rotura por Cunha; C- Rotura por Tombamento Direto e Oblíquo; D-Rotura por Tombamento Flexural; E- Legenda dos Símbolos.

Para a “scanline” L9-L10, a análise cinemática identificou diferentes mecanismos potenciais de instabilidade. A rotura planar poderá ocorrer nas Famílias 3 e 4 de descontinuidades, uma vez que apresentam direções sub-paralelas à arriba e inclinações orientadas para o mesmo quadrante, em conjunto com algumas descontinuidades aleatórias (Figura 31A). No caso da rotura por cunha, observa-se a interseção entre diversos planos de descontinuidades, designadamente: Família 3 com Família 5; Família 4 com Família 5; Família 4 com Família 2; Família 3 com Família 2; Família 3 com Família 4; Família 4 com Família 1; e Família 1 com Família 3. Estas combinações poderão originar roturas por cunha (Figura 31B). Relativamente ao tombamento direto e oblíquo, verificam-se interseções entre planos das Famílias 3 e 4, além de algumas descontinuidades aleatórias, sugerindo condições favoráveis a estes tipos de roturas (Figura 31C). Por fim, relativamente ao

tombamento flexural, não foram identificados indícios que permitam considerar a sua ocorrência (Figura 31D).

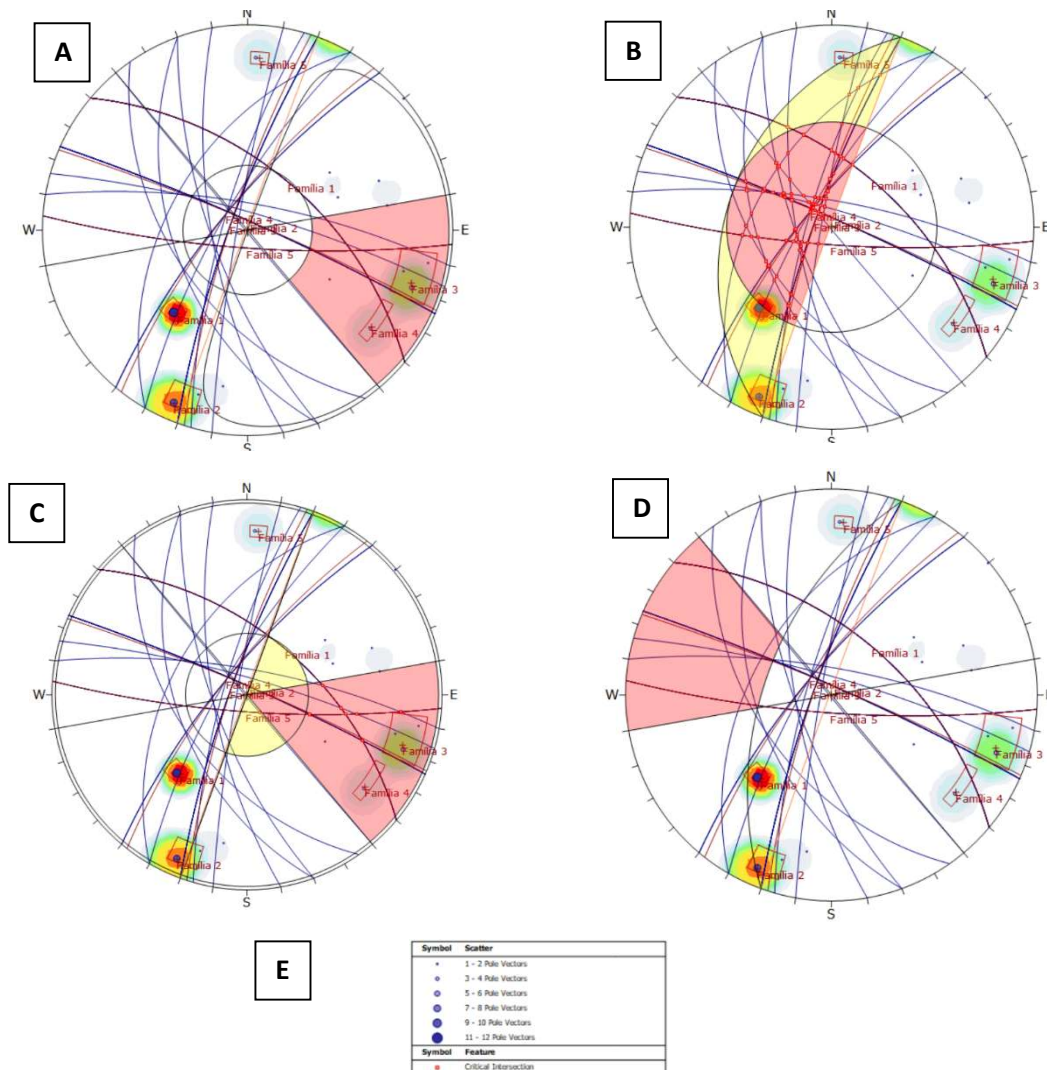


Figura 31 - Análise cinemática da “scanline” L9-L10 do caso de estudo Amanhã/Vigia; A-Rotura Planar; B-Rotura por Cunha; C- Rotura por Tombamento Direto e Oblíquo; D-Rotura por Tombamento Flexural; E- Legenda dos Símbolos.

Por último, para a “scanline” L11-L12, a análise cinemática evidenciou a possibilidade de diferentes mecanismos de instabilidade. A rotura planar poderá desenvolver-se na Família 4 de descontinuidades, uma vez que esta apresenta direções sub-paralelas à arriba e inclinações orientadas para o mesmo quadrante, verificando-se ainda a presença de algumas descontinuidades aleatórias (Figura 32A). No caso da rotura por cunha, observa-se a interseção entre diversos planos de descontinuidades, nomeadamente: Família 4 com Família 1; Família 4 com Família 5; Família 1 com Família 5; Família 1 com Família 3; Família 4 com Família 3; Família 3 com Família 2; e Família 2 com Família 4. Estas combinações poderão originar roturas por cunha (Figura 32B). Relativamente

ao tombamento direto e oblíquo, verificam-se interseções entre planos da Família 4 e de descontinuidades aleatórias, sugerindo condições favoráveis a estes tipos de rotura (Figura 32C). Por fim, quanto à rotura por tombamento flexural, não foram identificados indícios que permitam considerar a sua ocorrência (Figura 32D).

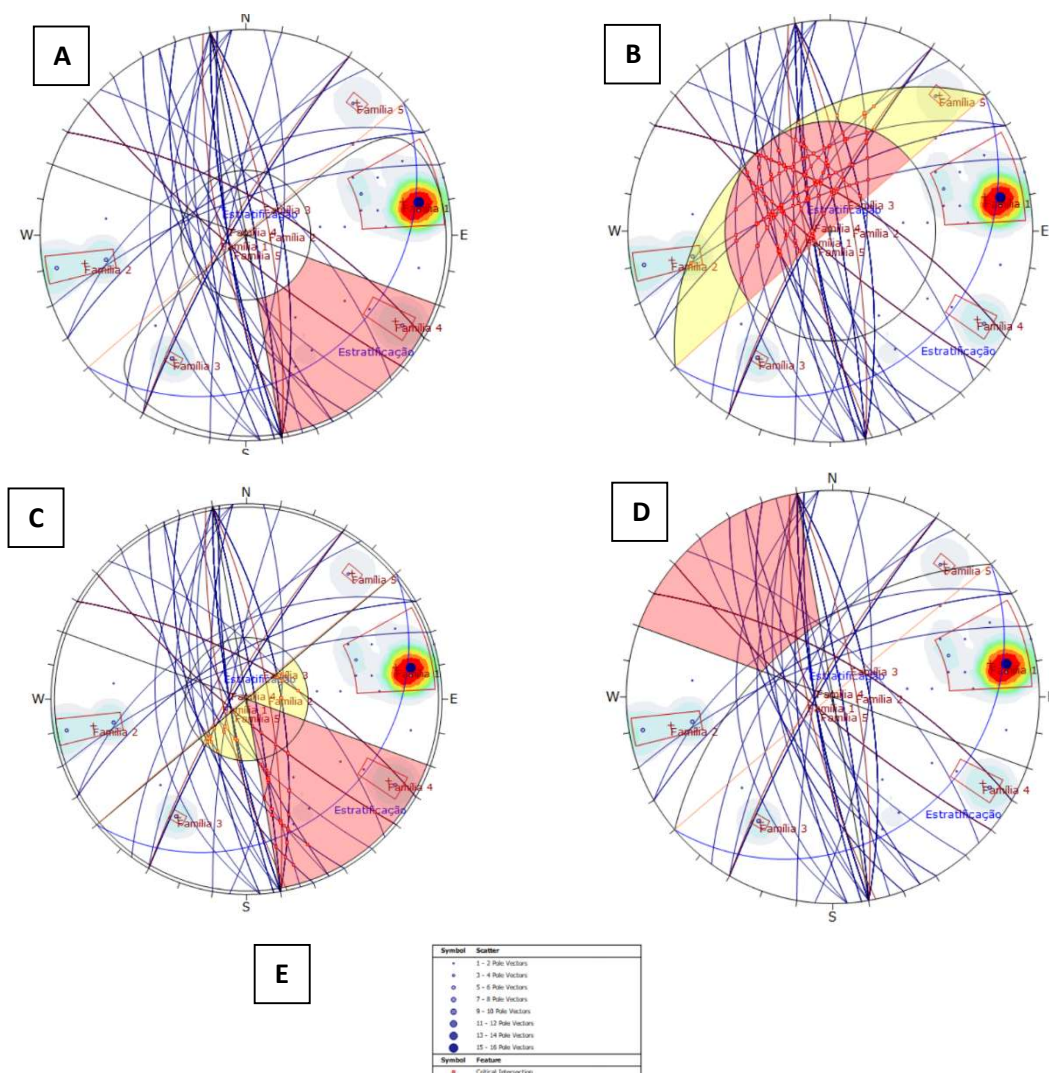


Figura 32 - Análise cinemática da “scanline” L11-L12 do caso de estudo Amanhã/Vigia; A-Rotura Planar; B-Rotura por Cunha; C- Rotura por Tombamento Direto e Oblíquo; D-Rotura por Tombamento Flexural: E- Legenda dos Símbolos.

No Anexo II, na Ficha de Caracterização das Condições Geológico-Geotécnicas de Superfície de Taludes das “scanlines” encontram-se representadas as famílias de descontinuidades identificadas em cada arriba, assim como a sua atitude média.

5.4.3. Prospeção Geológico-Geotécnica

O plano de prospeção geológico-geotécnico da área do caso de estudo Amanhã/Vigia foi constituído por 2 sondagens mecânicas à rotação com execução de ensaios SPT a cada 1,5 metros em solo e rocha dura (R4); na recuperação de testemunho de sondagem em rocha extremamente branda (R0) a dura (R4); assim como na execução de análises laboratoriais de caracterização geotécnica.

Foi possível identificar as unidades geológicas, caracterizar o seu grau de alteração (Wx), determinar o espaçamento das fraturas (Fx) (ISRM 1981) e ainda calcular a percentagem de recuperação (IR) e a percentagem de recuperação modificada (RQD) (Deere 1969).

- **Percentagem de recuperação - IR**, é a razão, expressa em percentagem, entre o comprimento da amostra recuperada e o comprimento do tramo sondado;
- **Percentagem de recuperação modificada – RQD**, é a razão entre o comprimento total da amostra recuperada e o comprimento do tramo sondado, expressa de igual forma percentualmente, mas, considerando unicamente os troços com comprimento igual ou superior a 10 cm, em estado compacto (Figura 33) (Deere 1969).

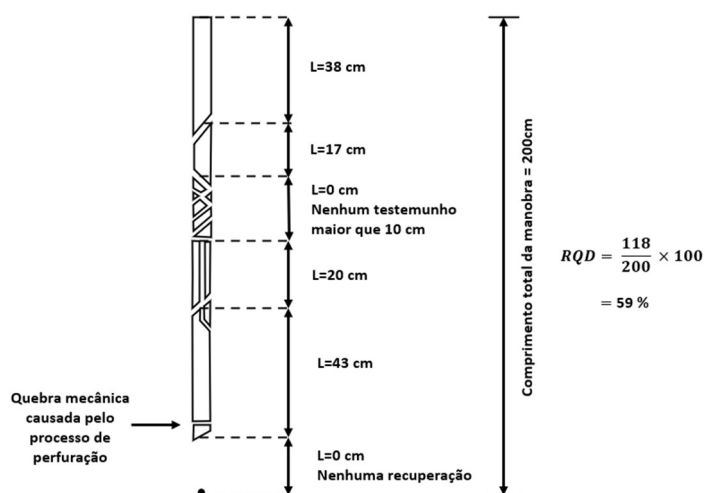


Figura 33 - Procedimento para determinar o RQD (adaptado de Deere 1969).

A campanha de prospeção geotécnica foi realizada por uma máquina da marca RIASONDA, modelo RIA 21, equipada com amostrador de parede dupla T2-76mm e tubos de revestimento 77-84mm para a realização dos furos de sondagem, tendo sido acompanhados da execução de ensaios SPT em intervalos de 1,5 m.

Os furos de sondagem mecânicos verticais foram executados à rotação, recorrendo à utilização de água e bentonite como fluído de estabilização, com recuperação contínua do testemunho, sendo a amostragem acondicionada em caixas apropriadas.

Na Figura 34, estão representadas, sobre fotografia aérea, a localização das sondagens executadas na área do caso de estudo Amanhã/Vigia. Na Figura 35 e Figura 36 estão representados os locais de execução dos furos de sondagem, bem como o equipamento de perfuração utilizado. As sondagens foram realizadas nos dias 17, 18, 19 e 20 de fevereiro de 2025.



Figura 34 - Localização das sondagens executadas na área do caso de estudo Amanhã/Vigia, sobre fotografia aérea.



Figura 35 - Local de execução da sondagem S9 na área do caso de estudo Amanhã/Vigia.



Figura 36 - Local de execução da sondagem S8 na área do caso de estudo Amanhã/Vigia.

Na Tabela 9 encontra-se sintetizado os dados referentes às sondagens realizadas na área do caso de estudo Amanhã/Vigia, nomeadamente as coordenadas geográficas, a cota da boca do furo de sondagem, a profundidade atingida e o número de ensaios SPT realizados. Os boletins de sondagens mecânicas realizados podem ser consultados no Anexo III.

Tabela 9 - Resumo dos dados das sondagens executadas na área do caso de estudo Amanhã/Vigia.

Referência do furo de sondagem	Cota de boca de furo de sondagem	Sistema de coordenadas: PT-TM06/ETRS89		Profundidade atingida (m)	Ensaaios SPT
		E	N		
S8	24,314	-107120,607	-57103,718	22,5	15
S9	29,639	-107054,045	-56868,804	24,0	16

Os ensaios laboratoriais realizados na área do caso de estudo Amanhã/Vigia, incidiram sobre amostras recolhidas nos furos de sondagem executados. A Tabela 10 sintetiza os ensaios realizados, as amostras ensaiadas, as profundidades de recolha e os resultados obtidos.

Tabela 10 - Síntese de resultados dos ensaios laboratoriais realizados na área do caso de estudo Amanhã/Vigia.

Sondagem	Prof. Recolha (m)	Classificação Unificada ASTM D2487 (ASTM D2487 2017)	Classificação Rodoviária (LNEC E240 1970)	Limites de Consistência (NP-143 1969) LL (%) LP (%) IP (%)	Teor em água (%) (NP-84 1965)	Densidade das partículas (g/cm ³) (NP-83 1965)	Massa Volúmica (Mg/m ³) (EN ISO 17892-2 2014)	Peso volúmico aparente seco g/cm ³ (ASTM D2166 2006)	Ensaio de compressão uniaxial KPa (ASTM D2166 2006)	Resistência à compressão uniaxial (MPa) (ISRM 1979)	Ensaio de corte direto não drenado ^º kPa (ASTM D3080 2011)
S8	1,5 – 3,0	SC – Areia argilosa ²⁾	A-6 (5) ²⁾	30 14 16	--	2,71	2,28	2,18	920	--	--
	15-16,5	CL – Argila magra com areia ¹⁾	A-6 (8) ¹⁾	27 14 13	--	2,63	--	--	--	--	--
S9	0,9 – 1,5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	13,8 58
	2,5 – 3,2	SC – Areia argilosa ²⁾	A-4 (3) ²⁾	22 14 8	7,9	2,65	2,23	1,99	243	--	--
	13,5 – 15,0	CL – Argila magra com areia ¹⁾	A-6 (8) ¹⁾	30 19 11	7,4	2,7	--	--	--	--	--
	19,5 – 20,5	--	--	--	--	--	--	--	--	25,4	--

1) LNEC E196 1966 – Análise granulométrica por sedimentação

2) LNEC E239 1970 – Análise granulométrica por peneiração

5.4.4. Caracterização geológico-geotécnica

Com base nas amostras recolhidas nos furos de sondagem, foi possível caracterizar o perfil de investigação, especialmente em relação aos valores obtidos dos ensaios SPT e à identificação visual dos terrenos atravessados, nomeadamente quanto à estratigrafia/litologia, presença de contaminação orgânica (cor e odor), granulometria e cor.

A classificação das areias, no que se refere à compacidade realizou-se de acordo com Terzaghi & Peck (1948), e das argilas, no que respeita à consistência, de acordo com Peck et al. (1974) e Look (2007).

A classificação do maciço rochoso realizou-se de acordo com a ISRM (1981) para os critérios do estado de alteração e espaçamento entre fraturas e de acordo com Deere (1969), para a obtenção da percentagem de recuperação modificada.

Realizaram-se ainda, no maciço rochoso, análises expeditas com o recurso ao martelo de *Schmidt*® para estimar os valores da resistência à compressão simples (σ_c). Para tal, basta recorrer à classificação proposta pela ISRM (1978) que, em função do grau de qualidade da rocha, correlaciona a resistência à compressão simples (σ_c) com o comportamento da material face àquelas análises expeditas.

5.4.4.1. Caracterização Geológica

Com base nos resultados obtidos na prospeção efetuada, individualizaram-se as unidades litoestratigráficas em seguida descritas na Tabela 11. A profundidade de interseção de cada uma das unidades/horizontes pode ser consultada nos boletins de sondagens mecânicas realizados no Anexo III.

Tabela 11 - Caracterização das unidades/horizontes litoestratigráficos definidos para a área do caso de estudo Amanhã/Vigia, de acordo com os resultados da prospeção efetuada.

Folha 30-A (Lourinhã)		Símbolo Litológico	Litologia	Descrição Litológica
a, ad, A ou d	a, ad, A ou d		Areia	Areia média de tonalidade castanho-claro a areia muito fina siltosa de tonalidade castanha, com nódulos de argila.
C¹⁻²_{Al} e/ou J³_{Bo}	C¹⁻²_{Al} Ou J³_{Bo}		Argila	Argilitos de tonalidade vermelha a violáceo, pontualmente amarelado, com intercalações de grés fino a grosseiro, com tonalidades idênticas e com níveis argilosos violáceos e amarelados e com fração grosseira de quartzo. Podem ainda surgir argilitos cinzentos com grãos de quartzo muito grosseiros e ainda um argilito ligeiramente siltoso.
			Grés/arenito	Unidade de grés siltoso com fração argilosa, por vezes grés argiloso, de tonalidade roxa, cinza-esverdeada a amarelada, a arenitos muito finos e finos a grosseiros, com matriz argilosa, de tonalidade castanha bordô, castanho rosado, bege acastanhado, violácea, cinzenta e amarelada. O grés siltoso pode ainda ser micáceo. Em profundidade os arenitos têm uma tonalidade cinza escuro a claro, médios a grosseiros, com a presença de carvão e até mineralizações de pirite. Podem surgir intercalações argilosas nos arenitos e seixos de grandes dimensões.

5.4.4.2. Caracterização Geotécnica

Com base na caracterização realizada através dos ensaios SPT, conjugada com a observação macroscópica das amostras recolhidas e dos ensaios laboratoriais executados, foram individualizadas, do topo para a base, as seguintes zonas geotécnicas do maciço descritas na Tabela 12. Há uma sobreposição entre horizontes/unidades geológicas e zonas geotécnicas. O perfil geológico-geotécnico elaborado pode ser observado no Anexo IV.

Tabela 12 - Descrição do zonamento proposto para a área do caso de estudo Amanhã/Vigia.

	Areia	Corresponde a uma areia média a areia fina siltosa, com nódulos de argila. Tem como valor representativo $N_{SPT} \geq 60$; peso volúmico entre 17,5 e 19,5 kN/m ³ ; ângulo de atrito entre 13,8 e 15°; coesão entre 20 e 58 kPa e módulo de deformabilidade entre 10 e 30 MPa.
	Argila	Corresponde a argilitos com intercalações de grés fino a grosseiro, com níveis argilosos e fração grosseira de quartzo, a argilitos com fração muito grosseira e também siltosa. Tem como valor representativo $N_{SPT} \geq 60$; peso volúmico entre 21,3 e 23,3 kN/m ³ ; ângulo de atrito entre 15 e 20°; coesão entre 60 e 90 kPa e módulo de deformabilidade entre 30 e 70 MPa.
	Grés/Arenito	Corresponde a grés siltoso com fração argilosa a arenitos muito finos e finos a grosseiros, com matriz argilosa. Podem ocorrer intercalações argilosas. Tem como valor representativo $N_{SPT} \geq 60$; peso volúmico entre 21,8 e 24,0 kN/m ³ ; ângulo de atrito entre 28 e 35°; coesão entre 50 e 75 kPa e módulo de deformabilidade entre 35,6 e 67,2 MPa.

Atendendo ao zonamento geotécnico proposto, definiu-se a parametrização geotécnica do maciço, conforme se apresenta na Tabela 13, determinada com base nos ensaios laboratoriais executados e nas correlações existentes na bibliografia da especialidade em função das litologias atravessadas e do comportamento geomecânico evidenciado pelos materiais.

O estabelecimento, deste modo, de valores de parâmetros geotécnicos apresenta algumas limitações dado o carácter generalista das correlações encontradas na bibliografia e devem, por isso, ser utilizados com alguma prudência.

Tabela 13 - Valores propostos para as propriedades físicas e características de resistência e de deformabilidade dos horizontes geológicos para a área do caso de estudo Amanhã/Vigia (γ – peso volúmico; ϕ – Ângulo de atrito, C – Coesão; E – módulo de deformabilidade).

Horizonte		N_{SPT}	Litologia	$\gamma(kN/m^3)$ (a) 1)	$\phi(^{\circ})$ (b) 1)	$C_u(kPa)$ (c) 1)	$E(MPa)$ (d) 1)
	Areia	≥ 60	Areia média a areia muito fina siltosa, com nódulos de argila.	17,5* – 19,5	13,8* - 15	20 - 58*	10 - 30
	Argila	≥ 60	Argilitos com intercalações de grés fino a grosseiro, com níveis argilosos e fração grosseira de quartzo, a argilitos com fração muito grosseira e também siltosa.	21,3* – 23,3*	15 – 20	60 - 90	30 - 70
	Grés/ Arenito	≥ 60	Grés siltoso com fração argilosa a arenitos muito finos e finos a grosseiros, com matriz argilosa. Podem surgir intercalações argilosas.	21,8* – 24,0	28 - 35	50 - 75	35,6 – 67,2

- a) Parâmetro estimado a partir do N_{SPT} , ensaios laboratoriais, litologia e granulometrias observadas, de acordo com Godoy 1972; Hunt 1984; Bowles 1997; Swiss Standard SN 670 010b 1997;
- b) Parâmetro estimado a partir do N_{SPT} , ensaios laboratoriais, litologia e granulometria observadas, de acordo com Koloski et al. 1989; Swiss Standard SN 670 010b 1997; Minnesota Department of Transportation 2007;
- c) Parâmetro estimado a partir do N_{SPT} , litologia e granulometria observadas, de acordo com SN 0525-LP-300-7071 1986; Minnesota Department of Transportation 2007;
- d) Parâmetro estimado a partir do N_{SPT} , litologia e granulometria observadas, de acordo com D'Appolonia et al. 1970; Kezdi 1974; Tan et al. 1991; Prat et al. 1995;

*) Parâmetro obtido através de ensaio laboratorial (ASTM D3080 2011; EN ISO 17892-2 2014).

- 1) Não foram aplicados os coeficientes parciais de segurança do Eurocódigo 7 (ENV 1997-3 2000).

5.5. Caso da arriba Formosa

O segundo caso de estudo corresponde às arribas costeiras entre a praia da Formosa, a praia do Penedo do Guincho e a praia de Santa Cruz, nomeadamente a zona do miradouro da Praia Formosa, representada na Figura 37, com uma área de aproximadamente 7.778 m² e uma extensão de 130 metros. A arriba da área Formosa constitui a transição, por falha, entre a Formação da Praia da Amoreira-Porto Novo (J_{AP}^3) e a Formação de Santa Cruz (J_{SC}^3). A primeira, que ocorre a sul, caracteriza-se pela presença de grés, margas e arenitos e, a segunda, a norte, é constituída por margas. Estas são formações sedimentares, com estratificação inclinada e fraturação marcada, classificadas entre uma rocha extremamente branda (R_0) a rocha dura (R_4). As margas de Santa Cruz

apresentam maior competência (R_{3-4}) do que as formações sedimentares da Praia da Amoreira-Porto Novo (R_{0-3}).

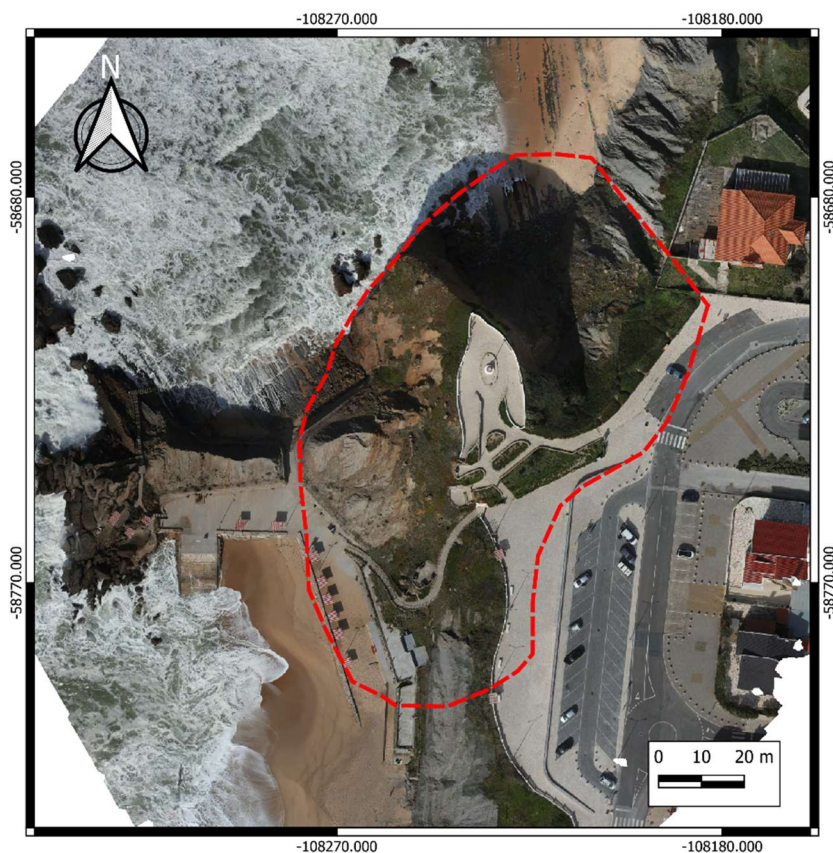


Figura 37 - Representação da arriba da área Formosa, sobre fotografia aérea.

Na Figura 38, estão representadas imagens das arribas costeiras da área Formosa, resultantes do levantamento topográfico das arribas de Santa Cruz.

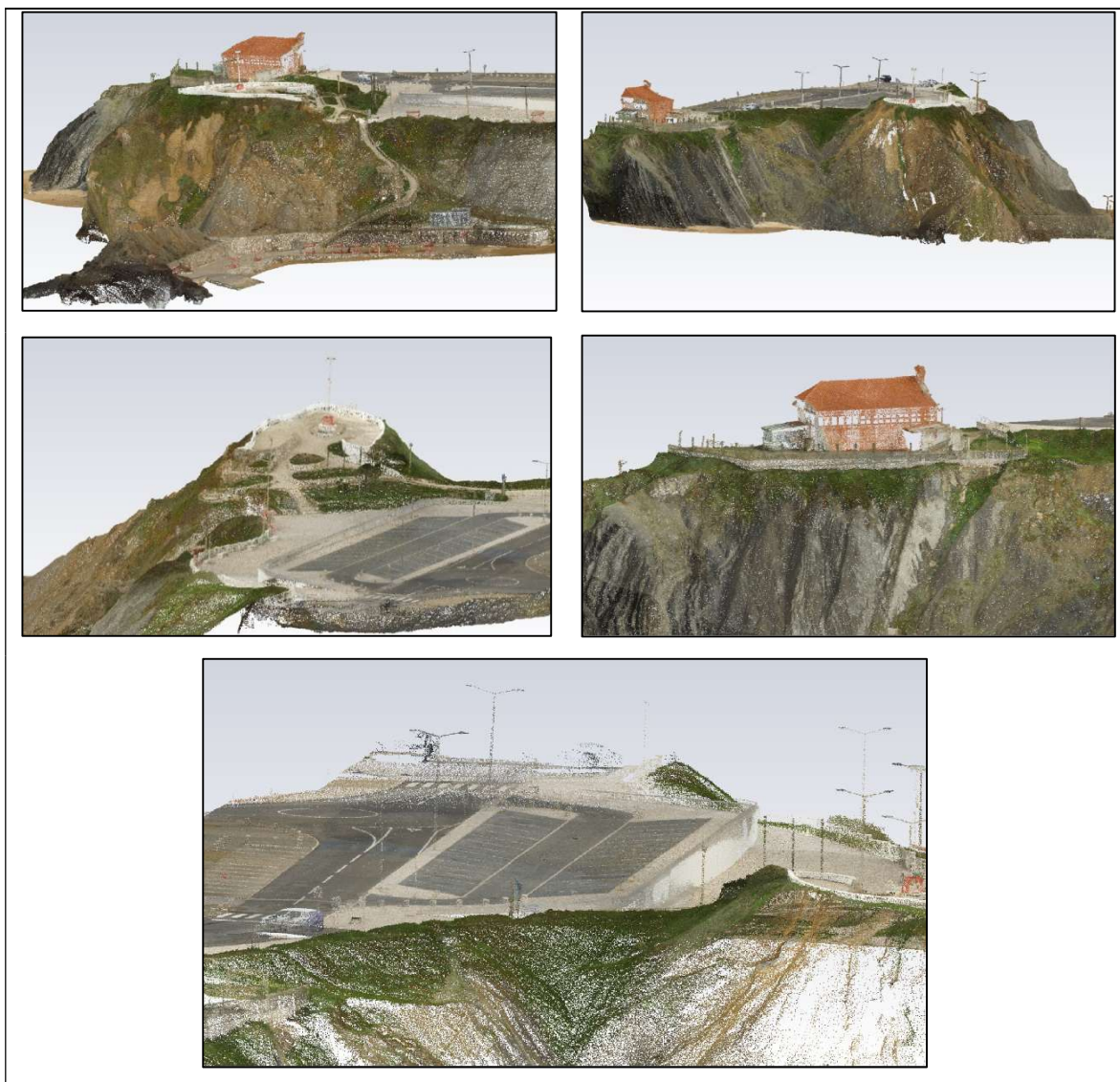


Figura 38 - Imagens das arribas costeiras da área Formosa, resultantes do levantamento topográfico das arribas de Santa Cruz.

A altitude das cristas na área em estudo oscila entre os 24 e os 33 metros, apresentando uma inclinação máxima de 90º e mínima de 30º. A orientação da linha de costa é de N20º e a direção predominante de inclinação das arribas é de N290º (Figura 39).

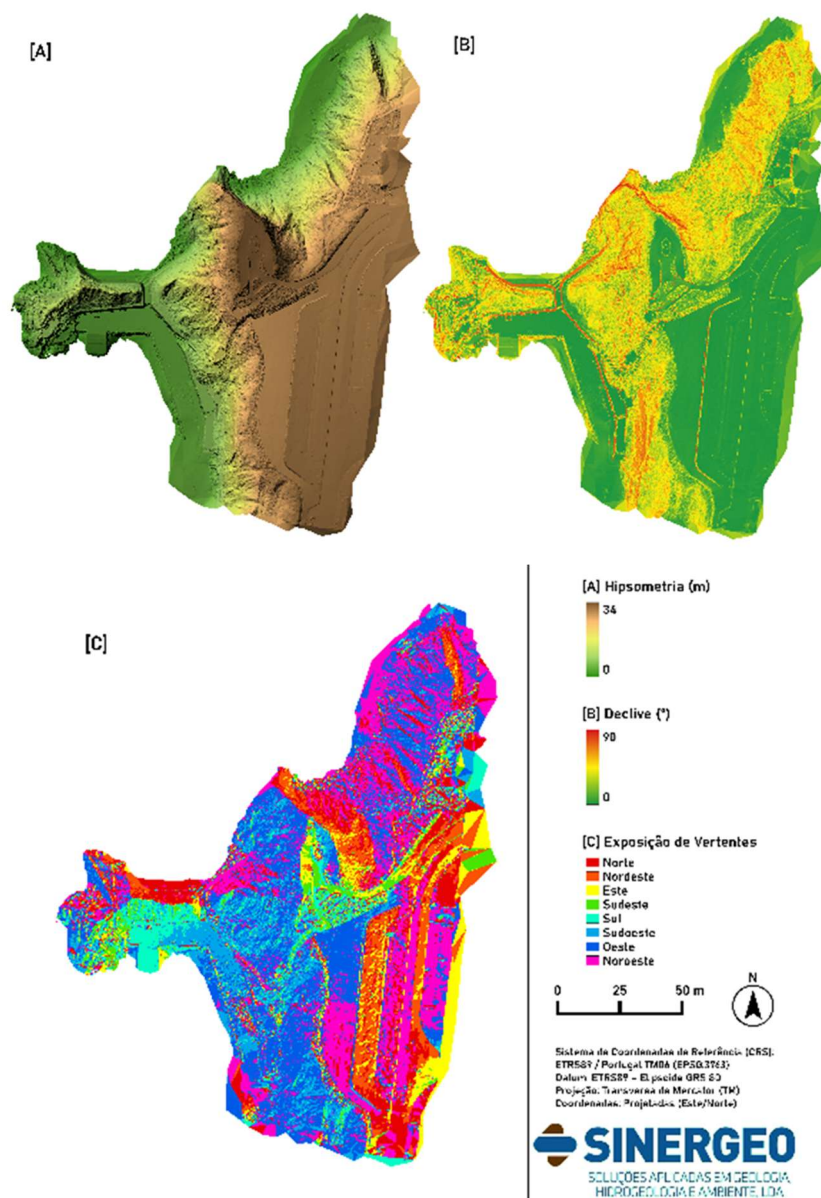


Figura 39 - Condições fisiográficas da área do caso de estudo Formosa.

De acordo com Ramos (2021), a 10 de abril de 2021, junto ao miradouro da Formosa (Figura 40), registou-se a queda de terras e deslizamento de material sobre a face da arriba. O fator desencadeante terá sido, possivelmente, a precipitação registada de 7 mm na manhã desse mesmo dia. Apesar desta ocorrência não ter tido significância no recuo da crista da arriba, é de notar a proximidade da mesma ao muro (15 a 20 cm) e a influência que os processos como a sobrecarga da arriba, a erosão biofísica e o escoamento, poderão ter na estabilidade da arriba e na aceleração deste recuo (Ramos 2021).



Figura 40 - Processos erosivos no Miradouro da praia da Formosa (14/04/2021), com a identificação da queda de terras e deslizamento de material registado a 10 de abril de 2021 (extraído de Ramos 2021).

5.5.1. Levantamento de campo

O levantamento de campo desenvolvido na área de estudo Formosa, foi realizado no dia 13 de fevereiro de 2025 e no dia 22 e 23 de abril de 2025. As atividades de campo incluíram a implantação de estações de observação (L_x), destinadas à identificação e caracterização de patologias geotécnicas, de estruturas e de unidades litológicas expostas, bem como ao registo do início e do fim da amostragem linear das arribas costeiras.

Para o levantamento geológico e geotécnico das discontinuidades expostas nos maciços rochosos das arribas costeiras da área Formosa, foram implementadas cinco amostragens lineares pela TAL. Esta metodologia permitiu registar sistematicamente as principais famílias de discontinuidades, parâmetros geométricos (como a orientação, espaçamento e persistência) e outras características relevantes para a análise da estabilidade estrutural. Na Figura 41 estão representadas, sobre fotografia aérea, a localização das “scanlines” e das estações de observação realizadas.

É importante salientar que nesta área, a aplicação dos procedimentos da TAL não foram executados com o maior rigor, uma vez que se trata de uma arriba com um acesso muito restrito na base, impossibilitando a medição de grande parte das discontinuidades do maciço e, por isso, foram apenas cartografadas as discontinuidades possíveis de alcançar.

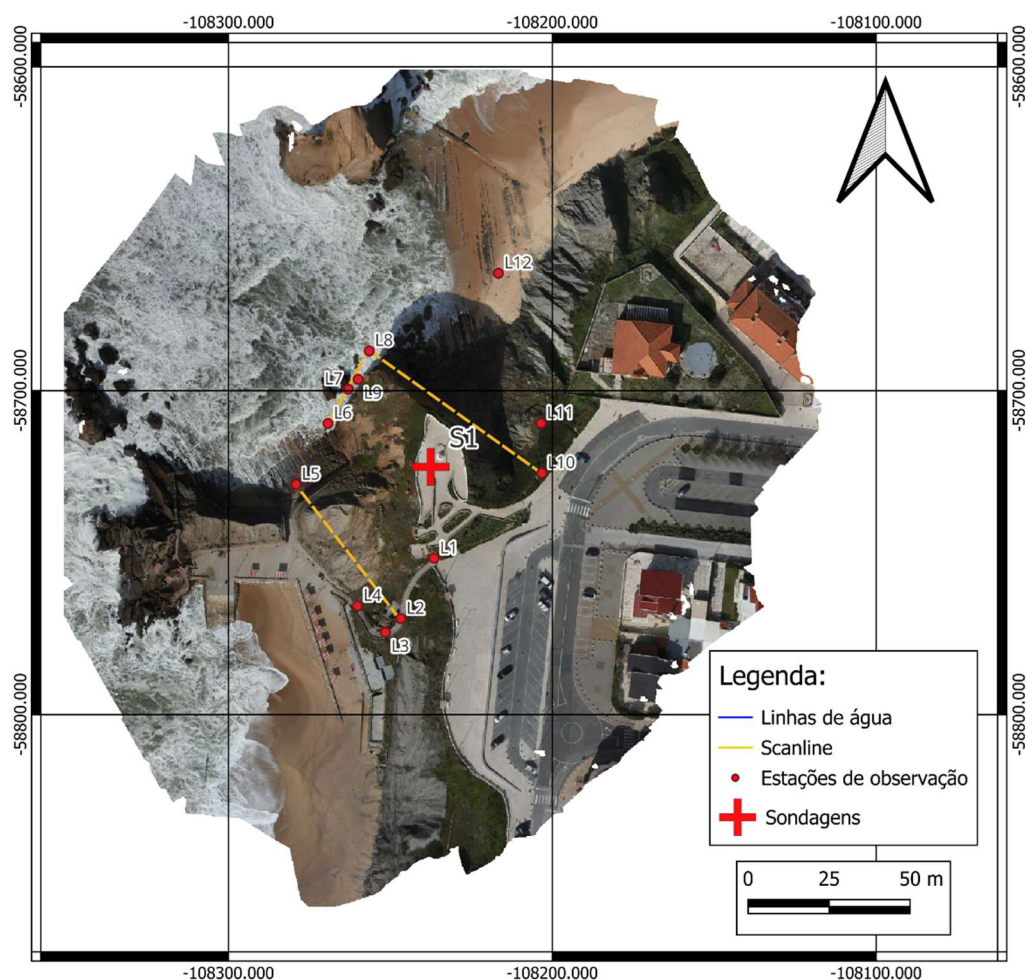


Figura 41 - Localização das “scanlines” e das estações de observação realizadas no levantamento de campo na área do caso de estudo Formosa, sobre fotografia aérea.

Os dados geológico-geotécnicos e geomecânicos cartografados nas “scanlines” foram, posteriormente, tratados, com vista à delineação e análise da compartimentação do maciço rochoso fissurado. As características gerais das “scanlines”, nomeadamente a direção geral que possuem, os comprimentos analisados, o número de discontinuidades e as suas coordenadas, estão sintetizadas na Tabela 14.

Tabela 14 - Características gerais das “scanlines” executadas nas arribas costeiras na área do caso de estudo Formosa.

Scanline	Coordenadas Início (PT-TM06/ETRS89)		Coordenadas Fim (PT-TM06/ETRS89)		Direção geral	Comprimento (m)	Número de discontinuidades
	M	P	M	P			
L2-L5	-108246,769	-58770,399	-108279,113	-58728,946	N40º	55	6
L6-L8	-108269,253	-58710,120	-108256,507	-58687,727	N30º	25	7
L8-L10	-108256,507	-58687,727	-108203,181	-58725,421	N134º	65	8

Os dados gerais referentes a cada “*scanline*” foram registados na Ficha de Caracterização das Condições Geológico-Geotécnicas de Superfície de Taludes, podem ser consultadas no Anexo II.

De um ponto de vista geral, no maciço das arribas da Formosa, observam-se blocos caídos na base da arriba; ravinamentos; fenómenos de descompressão, com desprendimentos de solo e fendas indicando instabilidade por rotura circular; e erosão basal que afetam a estabilidade das arribas, comprovados em Ramos (2021). A cobertura vegetal é maioritariamente rasteira, mas ausente nas zonas mais inclinadas e instáveis.

5.5.2. Análise cinemática

Para a avaliação da estabilidade das arribas costeiras, à semelhança do Caso do Amanhã/Vigia, foi realizada uma análise cinemática através da representação estereográfica das descontinuidades registadas nas “*scanlines*”, recorrendo-se ao ensaio de Markland (1972).

Recorreu-se, novamente, ao software *Dips*, da *Rocscience*, para executar a análise cinemática das arribas costeiras do caso de estudo Formosa, em cada “*scanline*” efetuada. Para a análise considerou-se a orientação média do talude, a orientação média das famílias de descontinuidades e o valor do ângulo de atrito do maciço rochoso. Os valores considerados para o ângulo de atrito do maciço rochoso, tiveram em conta os valores apresentados na Tabela 19, no capítulo 5.5.4. desta dissertação.

De seguida, são apresentados os resultados obtidos para cada “*scanline*”, relativamente ao Ensaio de *Markland* realizado no software *Dips*, onde foi avaliado o risco de rotura planar, rotura por cunha e por tombamento flexural, direto e oblíquo.

Para a “*scanline*” L2-L5 a análise cinemática evidenciou diferentes mecanismos potenciais de instabilidade. Relativamente à rotura planar, considerando ambos os ângulos de atrito, não se prevê uma ocorrência muito provável, no entanto, a Família 1 de descontinuidades poderá eventualmente originar este tipo de rotura, uma vez que apresenta direções sub-paralelas à arriba e inclinações orientadas para o mesmo quadrante (Figura 42A). No caso da rotura por cunha, observa-se a interseção entre os planos das Famílias 1 e 2, entre os planos das Famílias 1 e 2 com a estratificação, e ainda algumas descontinuidades aleatórias, que poderão dar origem a este tipo de rotura (Figura 42B). Relativamente ao tombamento direto e oblíquo, verificam-se interseções entre planos da Família 3 e de descontinuidades aleatórias, sugerindo condições favoráveis a estes tipos de roturas (Figura 42C). Por fim, em relação ao tombamento flexural, não foram identificados indícios que permitam considerar a sua ocorrência (Figura 42D).

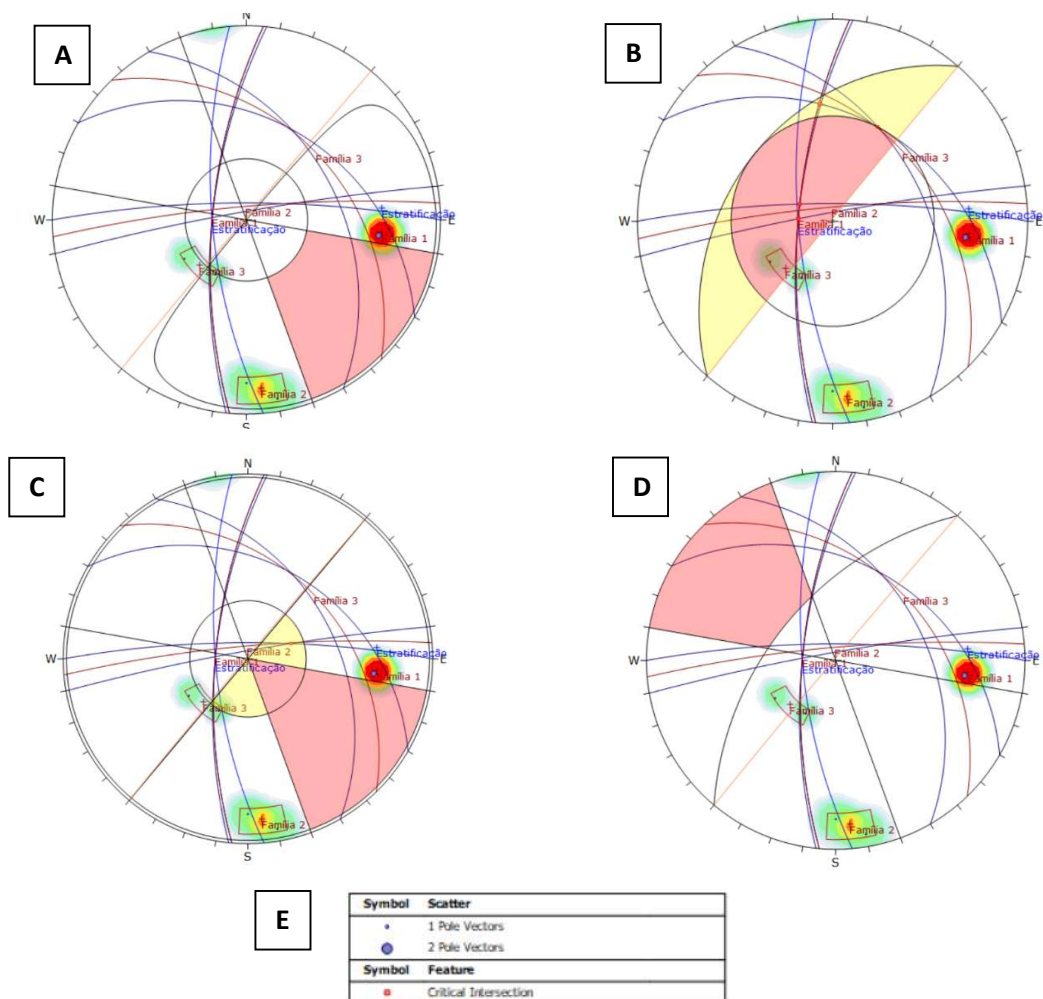


Figura 42 - Análise cinemática da “scanline” L2-L5 do caso de estudo Formosa; A-Rotura Planar; B-Rotura por Cunha; C- Rotura por Tombamento Direto e Oblíquo; D-Rotura por Tombamento Flexural; E- Legenda dos Símbolos.

Para a “scanline” L6-L8 a análise cinemática evidenciou diferentes mecanismos potenciais de instabilidade. Relativamente à rotura planar, considerando ambos os ângulos de atrito, a Família 2 de descontinuidades poderá originar este tipo de rotura, dado que apresenta direções sub-paralelas à arriba e inclinações orientadas para o mesmo quadrante (Figura 43A). No caso da rotura por cunha, observa-se a interseção entre planos das Famílias 1 e 2, entre planos das Famílias 1 e 2 com a estratificação, e ainda algumas descontinuidades aleatórias, que poderão dar origem a este tipo de rotura (Figura 43B). Relativamente ao tombamento direto e oblíquo, verificam-se interseções entre planos da Família 2 e de descontinuidades aleatórias, sugerindo condições favoráveis a estes tipos de rotura (Figura 43C). Por fim, relativamente ao tombamento flexural, não foram identificados indícios que permitam considerar a sua ocorrência (Figura 43D).

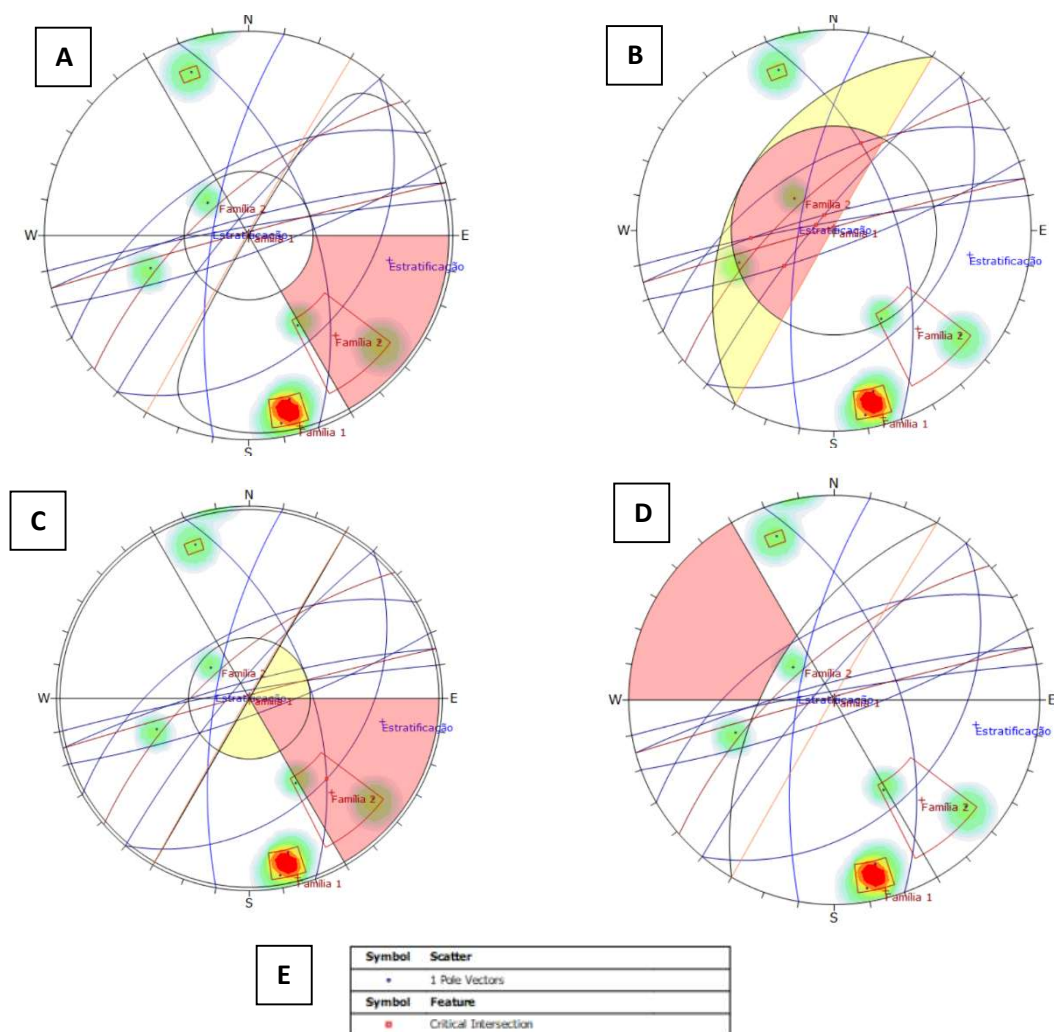


Figura 43 - Análise cinemática da “scanline” L6-L8 do caso de estudo Formosa; A-Rotura Planar; B-Rotura por Cunha; C- Rotura por Tombamento Direto e Oblíquo; D-Rotura por Tombamento Flexural; E- Legenda dos Símbolos.

Por último, para a “scanline” L8-L10 a análise cinemática evidenciou diferentes mecanismos potenciais de instabilidade. Relativamente à rotura planar, considerando ambos os ângulos de atrito, a Família 1 de discontinuidades poderá originar este tipo de rotura, uma vez que apresenta direções sub-paralelas à arriba e inclinações orientadas para o mesmo quadrante, em conjunto com algumas discontinuidades aleatórias (Figura 44A). No caso da rotura por cunha, observa-se a interseção entre planos das Famílias 1 e 4, bem como das Famílias 1 e 3, que poderão eventualmente dar origem a este tipo de rotura (Figura 44B). Relativamente ao tombamento direto e oblíquo, verificam-se interseções entre planos da Família 1, da Família 3 e de algumas discontinuidades aleatórias, sugerindo condições favoráveis à ocorrência destes tipos de rotura (Figura 44C). Por fim, relativamente ao tombamento flexural, foram identificados indícios de

ocorrência, dado que algumas descontinuidades apresentam direção sub-paralela e inclinação contrária à da arriba (Figura 44D).

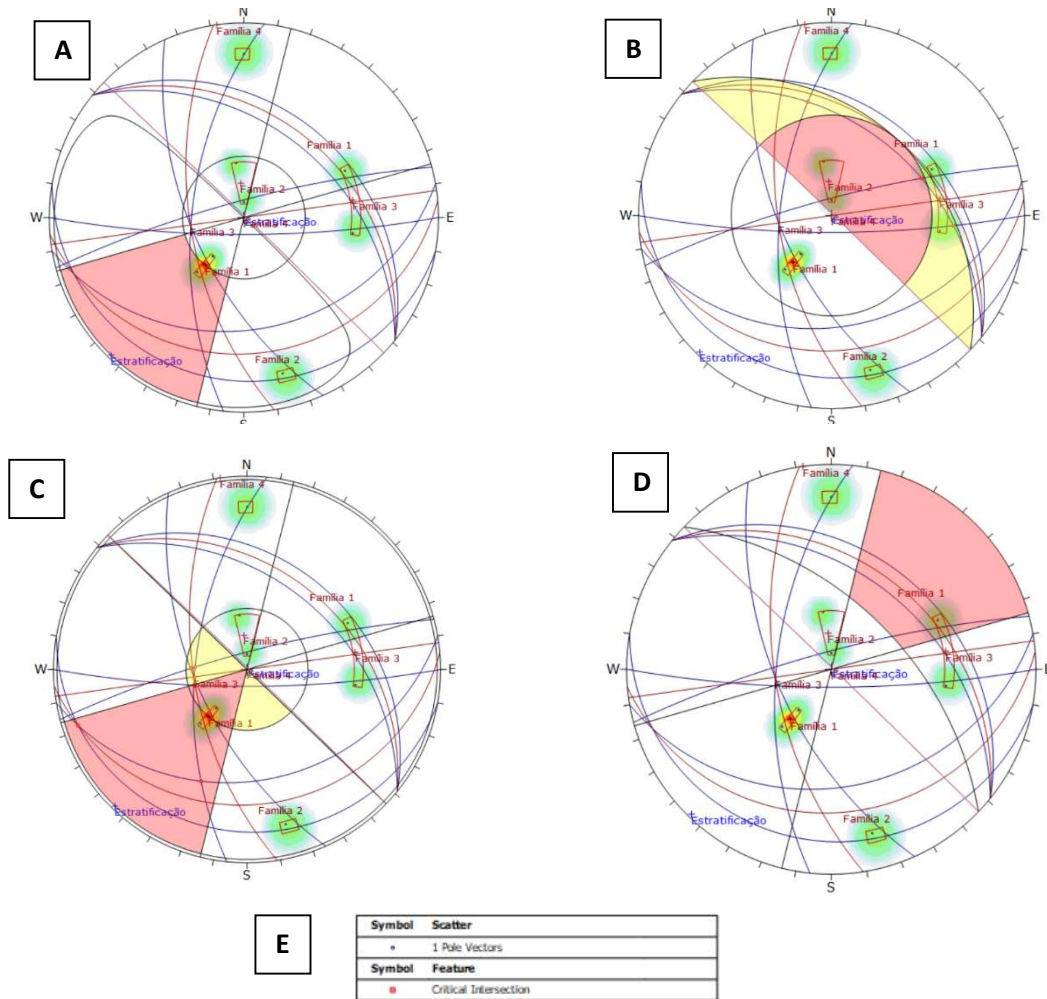


Figura 44 - Análise cinemática da “scanline” L8-L10 do caso de estudo Formosa; A-Rotura Planar; B- Rotura por Cunha; C- Rotura por Tombamento Direto e Oblíquo; D-Rotura por Tombamento Flexural; E- Legenda dos Símbolos.

No Anexo II, na Ficha de Caracterização das Condições Geológico-Geotécnicas de Superfície de Taludes das “scanlines” encontram-se representadas as famílias de descontinuidades identificadas em cada arriba, assim como a sua atitude média.

5.5.3. Prospeção Geológico-Geotécnica

O plano de prospeção geotécnica da área do caso de estudo Formosa foi constituído por 1 sondagem mecânica à rotação com execução de ensaios SPT a cada 1,5 metros em solo e rocha dura (R4); na recuperação de testemunho de sondagem em rocha extremamente branda (R0) a dura (R4); assim como em análises laboratoriais de caracterização geotécnica.

Foi possível identificar as unidades geológicas, caracterizar o seu grau de alteração (Wx), determinar o espaçamento das fraturas (Fx) (ISRM 1981) e ainda calcular a percentagem de recuperação (IR) e a percentagem de recuperação modificada (RQD) (Deere 1969).

Para a área do caso de estudo Formosa, realizou-se uma campanha de prospeção geotécnica idêntica à aplicada na área do caso de estudo Amanhã/Vigia (Capítulo 5.4.3.).

Na Figura 45, está representada, sobre fotografia aérea, a localização da sondagem executada na área do caso de estudo Formosa. Na Figura 46 está representado o local de execução do furo de sondagem, bem como o equipamento de perfuração utilizado. A sondagem foi realizada nos dias 18 e 19 de março de 2025.



Figura 45 - Localização da sondagem executada na área do caso de estudo Formosa, sobre fotografia aérea.



Figura 46 - Local de execução da sondagem S1 na área do caso de estudo Formosa.

Na Tabela 15 encontra-se sintetizado os dados referentes à sondagem realizada na área do caso de estudo Formosa, nomeadamente as coordenadas geográficas, a cota da boca do furo de sondagem, a profundidade atingida e o número de ensaios SPT realizados. O boletim de sondagem mecânica realizado pode ser consultado no Anexo III.

Tabela 15 - Resumo dos dados das sondagens executadas na área do caso de estudo Formosa.

Referência do furo de sondagem	Cota de boca de furo de sondagem	Sistema de coordenadas: PT-TM06/ETRS89		Profundidade atingida (m)	Ensaios SPT
		E	N		
S1	32,514	-108237,507	-58723,520	34,5	23

Os ensaios laboratoriais realizados na área do caso de estudo Formosa, incidiram sobre amostras recolhidas nos furos de sondagem executados. A Tabela 16 sintetiza os ensaios realizados, as amostras ensaiadas, as profundidades de recolha e os resultados obtidos.

Tabela 16 - Síntese de resultados dos ensaios laboratoriais realizados na área do caso de estudo Formosa.

Sondagem	Profundidade Recolha (m)	Classificação Unificada ASTM D2487 (ASTM D2487 2017)	Classificação Rodoviária (LNEC E240 1970)	Limites de Consistência (NP-143 1969) LL (%) LP (%) IP (%)	Teor em água (%) (NP-84 1965)	Densidade das partículas (g/cm ³) (NP-83 1965)	Massa Volúmica (Mg/m ³) (EN ISO 17892-2 2014)	Peso volúmico aparente seco g/cm ³ (ASTM D2166 2006)	Ensaio de compressão uniaxial KPa (ASTM D2166 2006)	Resistência à compressão uniaxial (MPa) (ISRM 1979)	Ensaio de corte direto não drenado σ kPa (ASTM D3080 2011)
S1	0,9 – 1,5	--	--	--	14,4	--	--	--	--	--	46,9 12
	1,5 – 4,5	SC-SM – Areia argilo-siltosa ¹⁾	A-4(3) ¹⁾	29 22 7	--	2,69	1,93	--	--	--	--
	4,5 – 6,0	--	--	--	--	--	--	1,94	557	--	--
	6,0 – 7,5	--	--	--	--	--	--	1,93	331	--	--
	10 - 15	GC – Cascalho argiloso com areia ²⁾	A-6 (3) ²⁾	30 19 11	10,4	2,70	1,98	--	--	--	--
	10,5 - 12	--	--	--	--	--	--	--	--	7,5	--

1) LNEC E196 1966 – Análise granulométrica por sedimentação

2) LNEC E239 1970 – Análise granulométrica por peneiração

5.5.4. Caracterização geológico-geotécnica

Com base nas amostras recolhidas nos furos de sondagem, foi possível caracterizar o perfil de investigação, especialmente em relação aos valores obtidos dos ensaios SPT e à identificação visual dos terrenos atravessados, nomeadamente quanto à estratigrafia/litologia, presença de contaminação orgânica (cor e odor), granulometria e cor.

A classificação das areias, das argilas e do maciço rochoso realizou-se, de igual forma, à classificação aplicada na área do caso de estudo Amanhã/Vigia (Capítulo 5.4.4.).

5.5.4.1. Caracterização Geológica

Com base nos resultados obtidos na prospeção efetuada, individualizaram-se as unidades litoestratigráficas em seguida descritas na Tabela 17. A profundidade de interseção de cada uma das unidades/horizontes pode ser consultada no boletim de sondagem mecânica realizado no Anexo III.

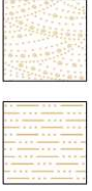
Tabela 17 - Caracterização das unidades/horizontes litoestratigráficos definidos para a área do caso de estudo Formosa, de acordo com os resultados da prospeção efetuada.

Folha 30-A (Lourinhã)		Símbolo Litológico	Litologia	Descrição Litológica
	(2) J ³ _{AP}		Siltito/Arenito	Sucessão litológica composta predominantemente por siltitos ligeiramente micáceos, intercalados com níveis de arenitos de granulometria variável, desde muito grosseiros até muito finos, por vezes com clastos (seixos). Identificam-se alternâncias de tonalidade que variam entre o castanho alaranjado, bege, cinzento e castanho-escuro, refletindo possíveis mudanças nas condições de oxidação, no teor de matéria orgânica ou variações na proveniência do material sedimentar. É ainda visível uma foliação subvertical, de estruturas deposicionais primárias preservadas.
	(4) J ³ _{SC}		MargasC	Marga argilosa de textura muito fina, com tonalidade cinzenta-escuro, que apresenta uma estratificação subvertical a inclinada. A topo são visíveis algumas alternâncias com níveis de siltito. Apresenta veios dolomíticos esbranquiçados a cristalinos, que evidencia processos de diagénese carbonatada. Os planos de fratura são concordantes com a estratificação, podendo por vezes, ser inclinada.

5.5.4.2. Caracterização Geotécnica

Com base na caracterização realizada através dos ensaios SPT, conjugada com a observação macroscópica das amostras recolhidas e dos ensaios laboratoriais executados, foram individualizadas, do topo para a base, as seguintes zonas geotécnicas do maciço descritas na Tabela 18. Há uma sobreposição entre horizontes/unidades geológicas e zonas geotécnicas.

Tabela 18 - Descrição do zonamento proposto para a área do caso de estudo Formosa.

	Siltito/Arenito	Corresponde a um horizonte constituído por siltitos, arenitos muito finos a grosseiros com clastos (seixos). Tem como valor representativo N_{SPT} entre 50 e 60 pancadas; peso volúmico entre 18,93 e 21,68 kN/m ³ ; ângulo de atrito entre 30 e 46,9º; coesão entre 12 e 50 kPa e módulo de deformabilidade entre 20 e 60 MPa.
	MargasC	Corresponde a um horizonte constituído por uma marga argilosa a argilo-siltosa, cinza-escura, deformada e fraturada. Tem como valor representativo $N_{SPT} \geq 60$ e RQD entre 7 e 97%; peso volúmico entre 19,45 e 22,4 kN/m ³ ; ângulo de atrito entre 29,8 e 35,5º; coesão entre 56 e 152 kPa e módulo de deformabilidade entre 100 e 389 MPa.

Atendendo ao zonamento geotécnico proposto, definiu-se a parametrização geotécnica do maciço, conforme se apresenta na Tabela 19, determinada com base nos ensaios laboratoriais executados e nas correlações existentes na bibliografia da especialidade em função das litologias atravessadas e do comportamento geomecânico evidenciado pelos materiais.

O estabelecimento, deste modo, de valores de parâmetros geotécnicos apresenta algumas limitações dado o carácter generalista das correlações encontradas na bibliografia e devem, por isso, ser utilizados com alguma prudência.

Tabela 19 - Valores propostos para as propriedades físicas e características de resistência e de deformabilidade dos horizontes geológicos para a área do caso de estudo Formosa (γ – peso volúmico; ϕ – Ângulo de atrito, C – Coesão; E – módulo de deformabilidade).

Horizonte		N _{SP} τ	RQD (%)	Litologia	γ (kN/m ³) ^(a) 1)	ϕ (°) ^(b) 1)	C _u (kPa) (c) 1)	E (MPa) (d) 1)
	Arenito/Siltito	50-60	---	Siltitos, arenitos muito finos a grosseiros, com clastos e seixos.	18,93* - 21,68*	30 – 46,9*	12* - 50	20 - 60
	MargasC	≥60	7 a 97	Marga argilosa a argilo-siltosa, cinza-escura, deformada e fraturada.	19,45* - 22,4	29,8 – 35,5	56 - 152	100 -389

a) Parâmetro estimado a partir do N_{SPT}, ensaios laboratoriais, litologia e granulometrias observadas, de acordo com Godoy 1972; Hunt 1984; Bowles 1997; Swiss Standard SN 670 010b 1997;

b) Parâmetro estimado a partir do N_{SPT}, RQD (*Rock Mass Rating* (RMR) (Bieniawski 1989), critérios de rotura de Hoek-Brown e Mohr-Coulomb (Hoek 1990; Hoek & Brown 2018)), ensaios laboratoriais, litologia e granulometria observadas, de acordo com Swiss Standard SN 670 010b 1997; Minnesota Department of Transportation 2007;

c) Parâmetro estimado a partir do N_{SPT}, RQD (*Rock Mass Rating* (RMR) (Bieniawski 1989), critérios de rotura de Hoek-Brown e Mohr-Coulomb (Hoek 1990; Hoek & Brown 2018)), litologia e granulometria observadas, de acordo com Rocha 1981; SN 0525-LP-300-7071 1986; Swiss Standard SN 670 010b 1997; Minnesota Department of Transportation 2007;

d) Parâmetro estimado a partir do N_{SPT}, RQD (*Rock Mass Rating* (RMR) (Bieniawski 1989), critérios de rotura de Hoek-Brown e Mohr-Coulomb (Hoek 1990; Hoek & Brown 2018)), litologia e granulometria observadas, de acordo com D'Appolonia et al. 1970; Kezdi 1974; Rocha 1981; Tan et al. 1991; Prat et al. 1995;

*) Parâmetro obtido através de ensaio laboratorial (ASTM D3080 2011; EN ISO 17892-2 2014).

1) Não foram aplicados os coeficientes parciais de segurança do Eurocódigo 7 (ENV 1997-3 2000).

5.6. Esquematização das matrizes de risco

A matriz de risco proposta aplicou-se nas áreas dos casos de estudo Amanhã/Vigia e Formosa, relevantes para a gestão costeira de Torres Vedras, representativas da diversidade e complexidade

das condições geológicas e geomorfológicas regionais, e onde se aplicou a técnica de amostragem linear “*scanline*”.

A avaliação dos parâmetros de perigosidade e de vulnerabilidade de cada arriba costeira considerou, para além da sua localização geográfica, os seguintes processos:

- O levantamento geológico e geotécnico de campo, permitiu a caracterização direta da geologia, da geomorfologia, do grau de alteração e dos processos de instabilidade presentes nas arribas, assim como a identificação das descontinuidades associadas;
- A análise cinemática efetuada, permitiu identificar os mecanismos potenciais de rotura e avaliar a condição geo-estrutural das descontinuidades;
- A prospeção geológico-geotécnica executada, incluindo as sondagens, os ensaios SPT e os ensaios laboratoriais, essenciais para a atribuição dos parâmetros geotécnicos para a caracterização do maciço rochoso;
- A caracterização geológico-geotécnica realizada, com a definição do zonamento e a parametrização das unidades geológico-geotécnicas identificadas - permitiu integrar os parâmetros de resistência e deformabilidade do maciço no processo de avaliação;
- O valor da precipitação anual média foi determinado a partir dos registos da estação meteorológica mais próxima da área de estudo — Vimeiro (Lourinhã) (18B/04UG), integrante do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos — considerando os dados disponíveis entre 1980 e 2008. Com base nesta informação, a precipitação anual média obtida corresponde a 695,8 mm.

Nos subcapítulos seguintes apresentam-se, para cada arriba dos casos de estudo, as suas localizações e uma breve descrição morfológica, geológica e geomecânica.

5.6.1. Amanhã/Vigia

Na área do caso de estudo Amanhã/Vigia, foram implementadas cinco amostragens lineares pela técnica “*scanline*”, nomeadamente a L1-L2, L3-L4, L6-L7, L9-L10 e L11-L12, onde se aplicaram as tabelas para o cálculo do grau de perigosidade e grau de vulnerabilidade, para a posterior execução da matriz de risco. Na Figura 27 pode ser observada a localização das “*scanlines*” e na Tabela 8 as suas características gerais.

A arriba L1-L2 (Figura 47), com uma altura aproximada de 29 metros e comprimento de 45 metros, com uma orientação N50º, apresenta uma inclinação predominantemente vertical. De um ponto de vista geral, o maciço encontra-se muito alterado (W4), moderadamente fraturado, afetado por erosão ativa, com escorrência pluvial concentrada e descalçamento basal devido às marés e

observam-se igualmente movimentos antigos, com indícios de deslizamentos recentes. Algumas zonas vegetadas denotam uma estabilidade superficial relativa.

Esta arriba insere-se numa praia mais remota, com acesso apenas pela praia a Sul, não existindo qualquer ocupação a topo da arriba ou infraestrutura próxima na base. Existe sinalização pontual na base, para o risco de derrocada.



Figura 47 - Arriba L1-L2 na área do caso de estudo Amanhã/Vigia, estação de observação L2 (22/04/2025).

Os parâmetros considerados para a tabela de perigosidade e para a tabela de vulnerabilidade da arriba L1-L2 encontram-se apresentados no Anexo I.

A arriba L3-L4 (Figura 48), com uma altura aproximada de 25 metros, comprimento de 64 metros e orientação N20º, apresenta uma inclinação predominantemente vertical, embora com três patamares morfológicos (vertical-inclinado-vertical). De um ponto de vista geral, o maciço encontra-se muito alterado (W4), moderadamente fraturado, e afetado por erosão ativa, evidenciando escorrência pluvial concentrada e acentuado descalçamento basal associado à ação das marés. Verificam-se ainda movimentos antigos, bem como indícios de deslizamentos recentes. Algumas zonas vegetadas, nomeadamente no patamar intermédio da arriba, menos inclinado, evidenciam estabilidade superficial relativa.

Esta arriba localiza-se numa praia relativamente remota, acessível somente pela praia a Sul. Na sua base não existem infraestruturas, no entanto, apresenta a topo da arriba um largo que funciona como estacionamento e miradouro. Existe, ainda, sinalização pontual na base ao alertar para o risco de derrocada.



Figura 48 - Arriba L3-L4 na área do caso de estudo Amanhã/Vigia, estação de observação L3 e L4, respetivamente (22/04/2025).

Os parâmetros considerados para a tabela de perigosidade e para a tabela de vulnerabilidade na arriba L3-L4, encontram-se apresentados no Anexo I.

A arriba L6-L7 (Figura 49), com uma altura aproximada de 17,5 metros e comprimento de 72,5 metros, orientada a N50º, apresenta uma inclinação predominantemente vertical a inclinada 80ºNW. De um ponto de vista geral, o maciço encontra-se muito alterado a decomposto (W4-5), moderadamente fraturado, afetado por erosão ativa, com escorrência pluvial concentrada e erosão diferencial nos níveis menos competentes. Observa-se um considerável descalçamento basal devido às marés, bem como movimentos antigos, evidências de deslizamentos recentes, fissuração e ravinamentos no topo, além de blocos inclinados em situação metaestável. Zonas pontuais de vegetação, em áreas menos inclinadas, evidenciam uma estabilidade superficial relativa.

Esta arriba localiza-se numa praia com acesso pedonal e para veículos de apoio. Na sua base não existem infraestruturas, contudo, no topo encontra-se um largo que funciona igualmente como estacionamento e miradouro. Existe, ainda, sinalização pontual na base a alertar para o risco de derrocada.



Figura 49 - Arriba L6-L7 na área do caso de estudo Amanhã/Vigia, estação de observação L6, L6b, L6c e L7, respetivamente (22/04/2025).

Os parâmetros considerados para a tabela de perigosidade e para a tabela de vulnerabilidade na arriba L6-L7, encontram-se apresentados no Anexo I.

A arriba L9-L10 (Figura 50), com cerca de 18 metros de altura e 49,4 metros de comprimento, com uma orientação N20º, apresenta uma inclinação predominantemente vertical a inclinada 50ºNW. De um ponto de vista geral, o maciço, idêntico ao anteriormente descrito, encontra-se muito alterado a decomposto (W4-5), moderadamente fraturado, afetado por erosão ativa, com escorrência pluvial concentrada e erosão diferencial nos níveis menos competentes. Observa-se ainda parcial descalçamento basal devido à ação das marés, bem como movimentos antigos, evidências de deslizamentos recentes, fissuração e ravinamentos no topo, além de alguns blocos inclinados em situação metaestável. Pontualmente, registam-se zonas vegetadas no topo da arriba.

Esta arriba localiza-se numa praia com acesso pedonal da praia anteriormente descrita, ou seja, menos direto. Na sua base não existem infraestruturas, contudo, a topo, encontra-se um largo que funciona como estacionamento e miradouro, onde se regista também a presença de uma infraestrutura de águas residuais. Existe, ainda, sinalização pontual na base a alertar para o risco de derrocada.



Figura 50 - Arriba L9-L10 na área do caso de estudo Amanhã/Vigia, estação de observação L9 e L10, respetivamente (22/04/2025).

Os parâmetros considerados para a tabela de perigosidade e para a tabela de vulnerabilidade da arriba L9-L10, encontram-se apresentados no Anexo I.

Por fim, a última arriba do caso de estudo Amanhã/Vigia, a arriba L11-L12 (Figura 51), com uma altura aproximada entre 18,8 e 22 metros, um comprimento de 120 metros e orientação N50º, com uma inclinação predominantemente vertical, com uma zona pouco inclinada 35ºNW. De um ponto de vista geral, o maciço encontra-se muito alterado (W4), moderadamente a bastante fraturado, afetado por erosão ativa, com escorrência pluvial muito pontual e erosão diferencial nos níveis menos competentes. Observam-se ainda movimentos antigos, com evidências de quedas de blocos de grande volume, fissuração e ravinamentos no topo, bem como alguns blocos inclinados em situação metaestável. Registam-se zonas pontuais de vegetação no topo da arriba e uma cobertura vegetal mais significativa na zona menos inclinada.

Esta arriba insere-se numa praia com acesso relativamente remoto, a partir das praias adjacentes. Na sua base não existem infraestruturas, contudo, a topo, observa-se a presença de uma habitação muito próxima da crista da arriba. Existe, ainda, sinalização pontual na base a alertar para o risco de derrocada.

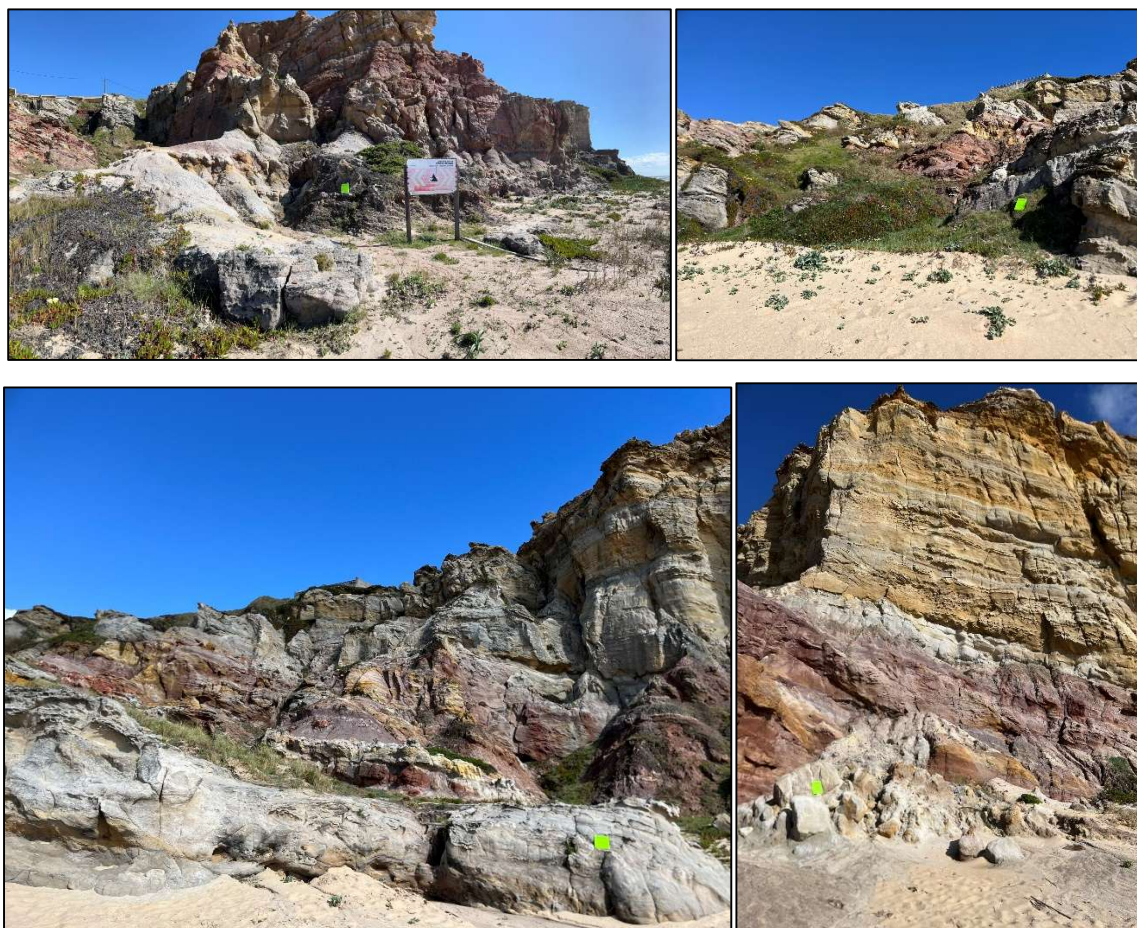


Figura 51 - Arriba L11-L12 na área do caso de estudo Amanhã/Vigia, estação de observação L11, L11c, L11d e L12, respetivamente (22/04/2025).

Os parâmetros considerados para a tabela de perigosidade e para a tabela de vulnerabilidade na arriba L11-L12, encontram-se apresentados no Anexo I.

5.6.2. Formosa

Na área do caso de estudo Formosa foram implementadas três amostragens lineares pela técnica “*scanline*”, nomeadamente a L2-L5, L6-L8, L8-L10, às quais se aplicaram as tabelas para o cálculo do grau de perigosidade e grau de vulnerabilidade, com vista à posterior elaboração da matriz de risco. Na Figura 41 pode ser observada a localização das “*scanlines*” e, na Tabela 14, as suas características gerais.

É importante referir que, nesta área, como já mencionado anteriormente, a aplicação da técnica “*scanline*” foi condicionada ao acesso restrito à base da arriba, o que resultou numa menor quantidade de dados recolhidos.

Na escolha dos parâmetros para o cálculo do grau de perigosidade e vulnerabilidade, considerou-se o pior caso possível, atribuindo uma maior pontuação.

A arriba L2-L5 (Figura 52), com uma altura aproximada de 29 metros e comprimento de 55 metros, com uma orientação N40º, apresenta uma inclinação predominantemente vertical a inclinada 70º. De um ponto de vista geral, o maciço encontra-se muito alterado (W4), moderadamente fraturado e afetado por erosão ativa, com ravinamentos e fenómenos de descompressão. Observam-se desprendimentos de blocos na crista, provocadas pela estratificação das margas, bem como movimentos antigos com evidências de quedas de blocos, cuja acumulação ocorre na base, onde a erosão basal contribui para a instabilidade da arriba. Zonas pontualmente vegetadas, localizadas em áreas menos inclinadas, evidenciam estabilidade superficial relativa.

Esta arriba insere-se numa praia bastante conhecida, com acesso facilitado por uma escadaria dotada de miradouros. A topo da arriba, localiza-se o miradouro da Praia da Formosa, frequentemente utilizado e, na base da arriba, encontra-se um bar de praia, assim como diversas infraestruturas de apoio, incluindo zonas de lazer e apoios aos pescadores. Existe sinalização clara e recorrente, assim como barreiras de proteção para o risco de derrocada.



Figura 52 - Arriba L2-L5 na área do caso de estudo Formosa, estação de observação L2, L3, L4 e L5 (22/04/2025 e 23/04/2025).

Os parâmetros considerados para a tabela de perigosidade e para a tabela de vulnerabilidade na arriba L2-L5, encontram-se apresentados no Anexo I.

A arriba L6-L8 (Figura 53), com uma altura aproximada de 32 metros e comprimento de 25 metros, com uma orientação N30°, apresenta uma inclinação predominantemente vertical. De um ponto de vista geral, o maciço encontra-se muito alterado (W4), moderadamente fraturado e afetado por erosão ativa, apresentando fenómenos de descompressão e desprendimentos de blocos na crista, associados à estratificação das margas. Observam-se ainda movimentos antigos, com evidências de quedas de blocos, bem como erosão basal acentuada que compromete a estabilidade da arriba. Pontualmente, algumas zonas vegetadas no topo evidenciam estabilidade superficial relativa.

Esta arriba insere-se numa praia pequena, com acesso difícil, por meio da praia anteriormente referida. A topo da arriba, localiza-se o miradouro da Praia da Formosa, frequentemente utilizado e, na base da arriba, não se registam infraestruturas. Existe, ainda, sinalização pontual na base a alertar para o risco de derrocada.



Figura 53 - Arriba L6-L8 na área do caso de estudo Formosa, estação de observação L6, L9 e L8 (22/04/2025 e 23/04/2025).

Os parâmetros considerados para a tabela de perigosidade e para a tabela de vulnerabilidade na arriba L6-L8, encontram-se apresentados no Anexo I.

Por fim, a última arriba do caso de estudo Formosa, a arriba L8-L10 (Figura 54), apresenta uma altura aproximada de 32 metros e comprimento de 65 metros, com uma orientação N134º, com uma inclinação predominantemente vertical. De um ponto de vista geral, o maciço encontra-se muito alterado (W4), moderadamente fraturado, afetado por erosão ativa, fenómenos de descompressão e deslizamentos de solo, a topo, nos arenitos. Observam-se movimentos antigos, bem como desprendimentos de blocos associados tanto à estratificação das margas como aos arenitos, com evidências de quedas e acumulação de blocos na base. A erosão basal acentuada contribui para a instabilidade da arriba. Pontualmente, algumas zonas vegetadas no topo evidenciam estabilidade superficial relativa.

Esta arriba insere-se numa praia pequena, com acesso difícil, por meio da praia de Santa Cruz. A topo da arriba, existe o miradouro da Praia da Formosa, frequentemente utilizado e, na base da arriba, não desse assinala nenhuma infraestrutura. Existe sinalização pontual na base, para o risco de derrocada.

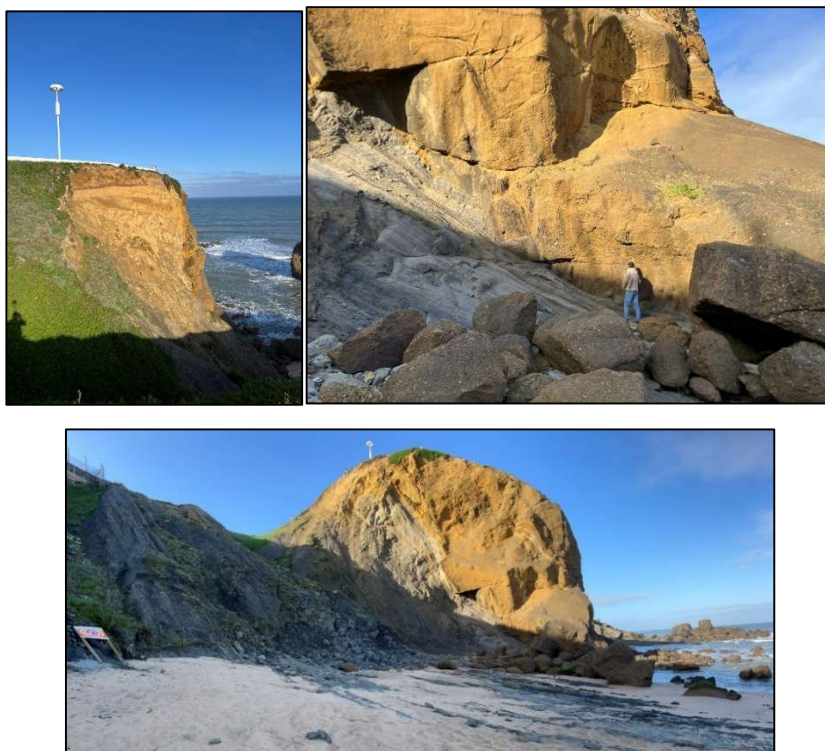


Figura 54 - Arriba L8-L10 na área do caso de estudo Formosa, estação de observação L10, L12 (22/04/2025 e 23/04/2025).

Os parâmetros considerados para a tabela de perigosidade e para a tabela de vulnerabilidade na arriba L8-L10, encontram-se apresentados no Anexo I.

Capítulo 6

Resultados das análises desenvolvidas sobre os casos de estudo

[página propositadamente em branco]

6.Resultados das análises desenvolvidas sobre os casos de estudo

6.1. Introdução

No presente capítulo apresentam-se os resultados da aplicação das tabelas de cálculo do grau de perigosidade e vulnerabilidade (Tabela 3 e Tabela 4) para cada arriba costeira dos casos de estudo da Amanhã/Vigia e da Formosa, apresentadas no Capítulo 5. Este processo culmina na obtenção do grau de risco, obtido através da esquematização da matriz de risco (Tabela 7). Após a definição dos parâmetros de perigosidade e vulnerabilidade, procede-se à análise das pontuações atribuídas a cada arriba, o que permite determinar os respetivos graus de perigosidade e de vulnerabilidade.

Posteriormente, a multiplicação entre os graus de perigosidade (Tabela 5) e de vulnerabilidade (Tabela 6), permite obter o grau de risco final associado a cada arriba costeira. A apresentação dos resultados é organizada por arriba, em cada caso de estudo, de forma a evidenciar as particularidades locais e a facilitar a comparação entre as duas áreas analisadas.

Por fim, para complementar a aplicação da matriz de risco, procedeu-se à análise da estabilidade das arribas por métodos probabilísticos, com o intuito de determinar a probabilidade de rotura. Este procedimento teve como objetivo correlacionar o seu grau de risco obtido com a probabilidade de rotura.

6.2. Amanhã/Vigia

A avaliação da perigosidade e da vulnerabilidade das arribas L1-L2, L3-L4, L6-L7, L9-L10 e L11-L12, resultou da análise dos parâmetros selecionados, cujas pontuações foram somadas e enquadradas na escala definida: Reduzido, Baixo, Moderado, Alto e Extremo (Tabela 5 e Tabela 6).

Desta forma, a Tabela 20 apresenta, de forma sintetizada, as pontuações atribuídas a cada parâmetro de perigosidade em cada arriba da área do caso de estudo Amanhã/Vigia, incluindo a pontuação total obtida e o respetivo grau de perigosidade.

Tabela 20 - Síntese dos resultados obtidos para os parâmetros de perigosidade e o respetivo grau de perigosidade atribuído, para as arribas do caso de estudo Amanhã/Vigia.

Categorias	Resultados das pontuações de cada arriba				
	L1-L2	L3-L4	L6-L7	L9-L10	L11-L12
Altura da arriba (m)	27	27	9	9	9
Inclinação (º)	81	81	81	81	81
Descalçamento da base	9	27	27	27	27
Irregularidade da face	3	27	81	81	27
Tipo de litologia	27	27	27	27	27
Condição geo-estrutural	27	27	27	27	27
Alteração do maciço	27	27	81	81	27
Grau de fraturação	27	27	27	27	27
Presença de água	27	27	9	9	3
Rugosidade das descontinuidades	27	27	27	27	27
Continuidade das descontinuidades	9	9	9	9	9
Volume dos blocos por evento (m ³)	9	9	9	9	81
Tamanho dos blocos (m)	81	81	81	81	81
Cobertura Vegetal	9	9	27	27	9
Erosão	9	27	81	81	27
Quantidade de blocos [nº de blocos rochosos soltos com potencial de queda]	9	9	27	27	81
Historial de queda de blocos	3	3	9	9	27
Prof. de obtenção de firme (3 negas (NSPT=60) consecutivas) (m)	3	3	3	3	3
Precipitação média anual (mm)	27	27	27	27	27
Pontuação Total	441	501	669	669	627
Grau de perigosidade	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto

A Tabela 21 apresenta, de forma sintetizada, as pontuações atribuídas a cada parâmetro de vulnerabilidade, em cada arriba da área do caso de estudo Amanhã/Vigia, incluindo a pontuação total obtida e o respetivo grau de vulnerabilidade.

Tabela 21 - Síntese dos resultados obtidos para os parâmetros de vulnerabilidade e o respetivo grau de vulnerabilidade atribuído, para as arribas do caso de estudo Amanhã/Vigia.

Categorias	Resultados das pontuações de cada arriba				
	L1-L2	L3-L4	L6-L7	L9-L10	L11-L12
Ocupação a topo da arriba	3	27	27	81	81
Acessibilidade da praia	9	9	27	27	9
Largura da praia (m)	9	9	9	3	9
Infraestruturas próximas da base	3	3	3	3	3
Sinalização de risco	27	27	27	27	27
Pontuação Total	51	75	93	141	129
Grau de vulnerabilidade	Baixo	Moderado	Moderado	Alto	Alto

A combinação dos graus de perigosidade e de vulnerabilidade, apresentados na Tabela 20 e Tabela 21, permite a aplicação direta da matriz de risco proposta (Tabela 7). Este procedimento possibilitou determinar o grau de risco final para cada arriba. Os resultados para as arribas do caso de estudo Amanhã/Vigia estão sintetizados na Tabela 22, onde se apresenta a classificação final de cada arriba quanto à perigosidade, vulnerabilidade e respetivo grau de risco obtido, permitindo uma leitura direta e comparativa da situação em análise.

Tabela 22 - Síntese dos resultados obtidos para o cálculo do grau de risco, para as arribas do caso de estudo Amanhã/Vigia.

Arriba	Grau de Perigosidade	Grau de Vulnerabilidade	Grau de Risco
L1-L2	Alto	Baixo	Moderado
L3-L4	Alto	Moderado	Alto
L6-L7	Alto	Moderado	Alto
L9-L10	Alto	Alto	Alto
L11-L12	Alto	Alto	Alto

6.3. Formosa

A avaliação da perigosidade e da vulnerabilidade das arribas L2-L5, L6-L8, L8-L10, resultou da análise dos parâmetros seleccionados, cujas pontuações foram somadas e enquadradas na escala definida: Reduzido, Baixo, Moderado, Alto e Extremo (Tabela 5 e Tabela 6).

Desta forma, a Tabela 23 apresenta, de forma sintetizada, as pontuações atribuídas a cada parâmetro de perigosidade, em cada arriba da área do caso de estudo Formosa, incluindo a pontuação total obtida e o respetivo grau de perigosidade.

Tabela 23 - Síntese dos resultados obtidos para os parâmetros de perigosidade e o respetivo grau de perigosidade atribuído, para as arribas do caso de estudo Formosa.

Categorias	Resultados das pontuações de cada arriba		
	L2-L5	L6-L8	L8-L10
Altura da arriba (m)	27	81	81
Inclinação (°)	81	81	81
Descalçamento da base	3	81	81
Irregularidade da face	3	9	27
Tipo de litologia	9	27	27
Condição geo-estrutural	81	81	81
Alteração do maciço	27	27	27
Grau de fraturação	27	81	81
Presença de água	3	9	9
Rugosidade das descontinuidades	27	27	27
Continuidade das descontinuidades	27	27	27
Volume dos blocos por evento (m ³)	27	27	27
Tamanho dos blocos (m)	81	81	81
Cobertura Vegetal	9	9	9
Erosão	27	27	27
Quantidade de blocos [nº de blocos rochosos soltos com potencial de queda]	27	81	81
Historial de queda de blocos	27	27	27
Prof. de obtenção de firme (3 negas (NSPT=60) consecutivas) (m)	9	9	9
Precipitação média anual (mm)	27	27	27
Pontuação Total	549	819	837
Grau de perigosidade	Alto	Extremo	Extremo

A Tabela 24 apresenta, de forma sintetizada, as pontuações atribuídas a cada parâmetro de vulnerabilidade em cada arriba da área de estudo Formosa, incluindo a pontuação total obtida e o respetivo grau de vulnerabilidade.

Tabela 24 - Síntese dos resultados obtidos para os parâmetros de vulnerabilidade e o respetivo grau de vulnerabilidade atribuído, para as arribas do caso de estudo Formosa.

Categorias	Resultados das pontuações de cada arriba		
	L2-L5	L6-L8	L8-L10
Ocupação a topo da arriba	27	27	27
Acessibilidade da praia	27	9	9
Largura da praia (m)	81	81	81
Infraestruturas próximas da base	27	3	3
Sinalização de risco	3	27	27
Pontuação Total	165	147	147
Grau de vulnerabilidade	Alto	Alto	Alto

A combinação dos graus de perigosidade e de vulnerabilidade, representados na Tabela 23 e Tabela 24, permite a aplicação direta da matriz de risco proposta (Tabela 7). Este procedimento possibilitou a obtenção do grau de risco final para cada arriba. Os resultados referentes às arribas no caso de estudo Formosa estão sintetizados na Tabela 25, onde se apresenta a classificação final de cada arriba relativamente à perigosidade, vulnerabilidade e respetivo grau de risco, permitindo uma leitura direta e comparativa da situação em análise.

Tabela 25 - Síntese dos resultados obtidos para o cálculo do grau de risco, para as arribas do caso de estudo Formosa.

Arriba	Grau de Perigosidade	Grau de Vulnerabilidade	Grau de Risco
L2-L5	Alto	Alto	Alto
L6-L8	Extremo	Alto	Extremo
L8-L10	Extremo	Alto	Extremo

6.4. Análise probabilística de rotura no RS2

Para a realização da análise complementar de probabilidade de rotura com o *software RS2*, foram considerados os parâmetros geotécnicos atribuídos a cada unidade do zonamento geotécnico definidos no Capítulo 5.4.4 e no Capítulo 5.5.4, para cada caso de estudo. Na modelação, os parâmetros geotécnicos utilizados, nomeadamente o ângulo de atrito (ϕ), coesão (C) e módulo de deformabilidade (E), foram avaliados considerando ambos os valores do intervalo apresentado na Tabela 13 e Tabela 19, ou seja, tanto o valor inferior como o superior. Importa salientar que que a

definição destes valores resultou, em parte, de correlações encontradas na bibliografia e, dado o seu carácter generalista, recomenda-se que sejam utilizadas com prudência.

Desta forma, a utilização dos parâmetros geotécnicos estabelecidos para cada caso estudo nos modelos bidimensionais assegura que as propriedades mecânicas do maciço terroso e rochoso presentes nas arribas costeiras refletem as condições locais, tal como caracterizadas pela prospeção geológica e geotécnica realizada.

A geometria utilizada nos modelos numéricos foi obtida a partir do levantamento topográfico das arribas, complementado pela criação de perfis transversais. Para assegurar maior rigor na representação das unidades geotécnicas, a análise foi restringida apenas aos perfis que intersejam as sondagens geológico-geotécnicas, uma vez que apenas nestas localizações é possível definir, com um nível mínimo de certeza, a profundidade das diferentes unidades geotécnicas estabelecidas.

Para a análise de probabilidade de rotura no *software*, foram também considerados e introduzidos no modelo as famílias de descontinuidades identificadas através da análise cinemática. Os parâmetros adotados para caracterizar as descontinuidades correspondem à sua atitude geológica, ao respetivo espaçamento e continuidade. Estes parâmetros podem ser consultados nas Fichas de Caracterização das Condições Geológico-Geotécnicas de Superfície de Taludes, disponíveis no Anexo II.

Desta forma, a utilização dos perfis transversais das arribas no modelo no *software*, juntamente com o zonamento, os parâmetros geotécnicos estabelecidos e as redes de famílias de descontinuidades, permite integrar de forma consistente os dados da prospeção geológico-geotécnica, os resultados laboratoriais e a informação topográfica na análise probabilística de rotura, culminando na determinação da probabilidade de rotura.

Com isto, no âmbito desta dissertação, foram realizadas três análises probabilísticas de rotura: duas no caso de estudo Amanhã/Vigia - na arriba L3-L4, onde se localiza a topo da crista, a sondagem S9, e na arriba L9-L10, onde se localiza a topo da crista, a sondagem S8 - e no caso de estudo Formosa, uma análise na arriba L6-L8, onde se localiza a topo da crista, a sondagem S1. A localização das arribas, nomeadamente das “*scanlines*” referidas, juntamente com as sondagem, dos casos de estudo Amanhã/Vigia e Formosa, estão representados, respetivamente, na Figura 27 e Figura 41.

Os resultados obtidos nas análises probabilísticas de rotura, encontram-se sintetizados na Tabela 26, onde se apresentam, para cada arriba, os valores do *Mean Critical SRF* (valor médio do Fator de Segurança que leva a arriba ao ponto de falha), o desvio padrão do *Critical SRF* e a respetiva

probabilidade de rotura (PF). Os resultados individuais da modelação da análise probabilística de rotura podem ser consultados no Anexo V.

Tabela 26 - Síntese dos resultados da análise probabilística das arribas dos casos de estudo Amanhã/Vigia e Formosa.

Parâmetros	Amanhã/Vigia		Formosa
	L3-L4	L9-L10	L6-L8
Mean Critical SRF	1,34	2,33	1,23
Std. Dev. Critical SRF	0,1314	0,2377	0,4584
PF (%)	0,45	Próximo de 0	30,66

Na Figura 55, encontra-se apresentado o resultado obtido na análise probabilística de rotura da arriba L6-L8 do caso de estudo da Formosa, que apresentou o valor mais baixo do fator de segurança e, em simultâneo, a maior probabilidade de rotura. Esta arriba, apresentou um fator de segurança próximo do limite de instabilidade e uma probabilidade de rutura considerável, representando um risco significativo para a instabilidade. Estes valores obtidos são coerentes com os resultados obtidos na esquematização da matriz de risco, que evidenciaram um grau de risco Extremo (Tabela 25). Importa salientar que a variabilidade associada ao fator de segurança (desvio-padrão de 0,4584) reforça a incerteza do comportamento do maciço, que, aliado à elevada probabilidade de rotura, torna esta arriba, uma das zonas prioritárias para intervenção e/ou monitorização.

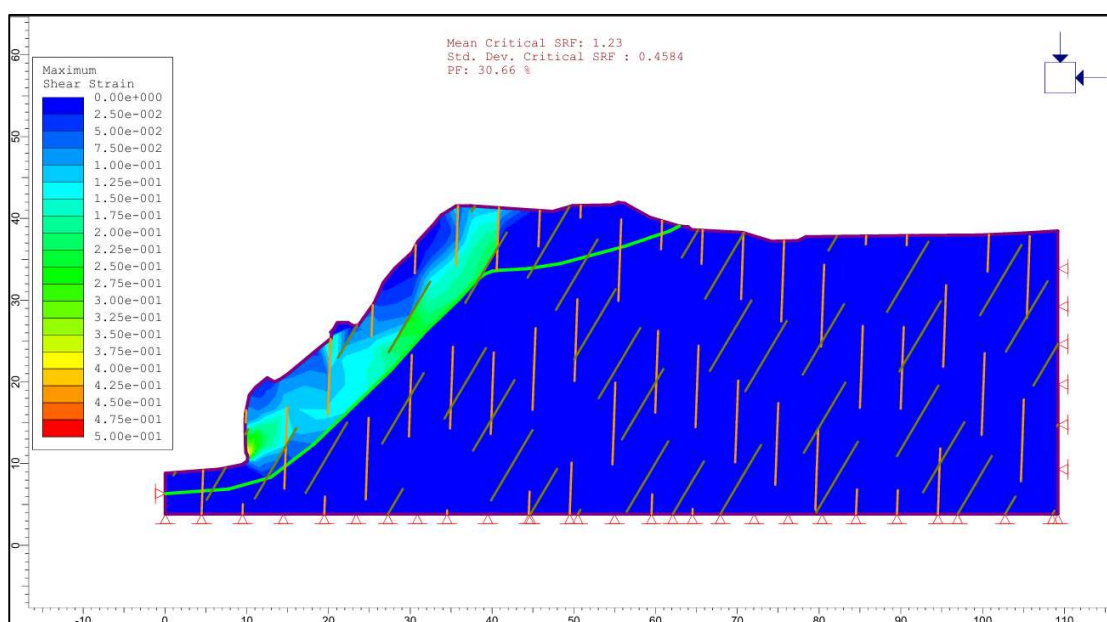


Figura 55 - Resultado obtido na análise probabilística de rotura da arriba L6-L8 do caso de estudo da Formosa (Nota: a linha verde representa o contacto entre duas zonas geotécnicas).

Nas arribas L3-L4 e L9-L10 do caso de estudo Amanhã/Vigia, os resultados da análise de probabilidade de rotura, evidenciaram comportamentos distintos face ao grau de risco obtido (Tabela 22). A arriba L3-L4 apresentou um fator de segurança de 1,34, próximo do limite de instabilidade, mas com um reduzido desvio-padrão (0,1314) e uma probabilidade de rotura bastante baixa (0,45%). Em relação à arriba L9-L10, esta apresentou um fator de segurança elevado (2,33) e uma probabilidade de rotura praticamente nula, evidenciando estabilidade. Estes resultados, revelam uma aparente incoerência com os resultados obtidos no grau de risco, correspondente a Elevado, evidenciando um grau de risco obtido mais elevado, não comprovado pelo fator de segurança e pela probabilidade de rotura.

[página propositadamente em branco]

Capítulo 7

Considerações finais

[página propositadamente em branco]

7.Considerações finais

O estudo desenvolvido no âmbito desta dissertação permitiu propor e aplicar uma adaptação do sistema de avaliação de risco *Rockfall Hazard Rating System* (RHRS) (Pierson et al. 1990), criado face à crescente necessidade de avaliar o risco associado à queda de blocos em taludes de rodovias, uma vez que os estudos geotécnicos então realizados apresentavam qualidade limitada. Este sistema de avaliação de risco tem sido alvo de diversas adaptações por diversos autores e em diversos contextos, incluindo a versão aqui referida, o *Rockfall Hazard Rating System* (RHRSm2), desenvolvida por Pinheiro et al. (2015), que também serviu de referência para a presente dissertação.

A adaptação destes sistemas de avaliação de risco surgiu da necessidade de os aplicar a taludes inseridos num contexto bastante diferente daquele para o qual foram inicialmente concebidos, uma vez que os casos de estudo desta dissertação se localizam em ambiente costeiro. Tornou-se, por isso, necessário excluir parâmetros, adaptar diversos já existentes e criar novos, especificamente relacionados com as arribas costeiras, dado que estas apresentam fatores de instabilidade diferentes dos taludes de rodovias e estão sujeitas a diferentes forças erosivas, decorrentes da sua localização geográfica.

Ao contrário dos sistemas de avaliação de risco referidos anteriormente, o método proposto é baseado em parâmetros de perigosidade e vulnerabilidade associados ao risco de instabilidade de arribas costeiras, permitindo não apenas a aplicação de uma matriz para determinação do grau de risco, mas também a avaliação simultânea da perigosidade e vulnerabilidade de uma arriba.

Esta abordagem revelou-se um contributo relevante para a gestão costeira, uma vez que possibilita a avaliação objetiva dos riscos de instabilidade associado exclusivamente a arribas costeiras, apoiando-se em levantamentos geológicos e estudos geológico-geotécnicos, considerados de elevada importância, que fornecem dados fundamentais. Estes permitem identificar estratos geológicos que possam influenciar o comportamento da estrutura, caracterizar os materiais quanto à sua resistência e deformabilidade e compreender o comportamento hidráulico do terreno. Estes dados são essenciais para a conceção e implementação de estruturas geotécnicas, como fundações, estruturas de contenção, aterros, cortes, taludes e obras subterrâneas.

Importa destacar que a aplicação da matriz de risco proposta aos casos de estudo foi suportada, em grande maioria, pelos métodos de prospeção geológica e geotécnica realizados, os quais conferiram uma maior robustez e fiabilidade aos parâmetros considerados para a obtenção dos graus de risco. A amostragem linear pela técnica “*scanline*” permitiu identificar e caracterizar, de forma sistemática, as discontinuidades presentes no maciço das arribas, fundamentais para a análise sistemática e para a avaliação e definição dos tipos de rotura possíveis. As sondagens geológicas e geotécnicas forneceram informação detalhada sobre a geologia local, permitindo uma descrição de pormenor dos horizontes atravessados, enquanto os ensaios SPT realizados, permitiram avaliar e caracterizar esses horizontes quanto à sua resistência e deformabilidade. A parametrização geotécnica dos horizontes definidos foi realizada, essencialmente, recorrendo a correlações consagradas na bibliografia, mas também suportada nos resultados obtidos nos ensaios laboratoriais, essenciais para a determinação rigorosa das propriedades físicas e mecânicas dos solos e das rochas.

A implementação destes métodos nos casos de estudo permitiu reforçar a assertividade, sobretudo, na classificação da perigosidade das arribas e, conseqüentemente, na obtenção dos graus de risco. Este cruzamento de metodologias assegurou que os resultados obtidos não se limitaram a uma análise subjetiva, e refletem de forma fundamentada as condições reais.

Do ponto de vista geológico e geotécnico, as duas áreas estudadas apresentam características distintas, mas ambas com sinais de instabilidade, como deslizamentos, quedas, tombamentos e ravinamentos. A ação marítima, conjugada com a morfologia acentuada das arribas e a erosão diferencial dos materiais, contribui para a sua regressão. A modelação morfodinâmica e a avaliação do histórico de movimentos permitiram confirmar que estas arribas, embora evoluam a um ritmo lento, estão sujeitas a fenómenos de instabilidade súbita e localizada, com potencial risco para pessoas e bens.

De um ponto de vista geral, a aplicação da matriz de risco proposta às arribas costeiras dos casos de estudo Amanhã/Vigia e Formosa evidenciou os seguintes resultados:

- No caso de estudo Amanhã/Vigia todas as arribas analisadas apresentam um grau de perigosidade Alto. O grau de vulnerabilidade varia consoante cada arriba: a L1-L2 evidencia um grau **Baixo**, associado à sua localização e ao acesso mais difícil; as arribas L3-L4 e L6-L7 apresentam um grau **Moderado**, em virtude do acesso mais facilitado aos utilizadores e da ocupação no topo, fatores que aumentam a vulnerabilidade ainda que a presença de um areal mais extenso permita que as pessoas permaneçam afastadas da base; já as arribas L9-L10 e L11-L12 registam um grau de vulnerabilidade **Alto**, devido à ocupação existente no topo, nomeadamente uma infraestrutura de águas residuais e uma habitação, respetivamente. O grau de risco obtido para as arribas é, assim, **Alto**, com exceção da arriba L1-L2, que apresenta risco **Moderado**, em virtude da sua baixa vulnerabilidade. A análise probabilística de rotura realizada nas arribas L3-L4 e L9-L10 indicou uma probabilidade de rotura próxima ou muito próxima de zero, com fatores de segurança de 1,34 e 2,33, respetivamente, valores pouco preocupantes e compatíveis com taludes considerados estáveis.
- No caso de estudo Formosa, a arriba L2-L5 apresenta um grau de perigosidade **Alto**, enquanto as arribas L6-L8 e L8-L10, evidenciam um grau de perigosidade **Extremo**, sobretudo em virtude da sua altura e do acentuado descalçamento da base. No que respeita ao grau de vulnerabilidade, as três arribas analisadas apresentam um grau **Alto**, determinado pela ocupação no topo, nomeadamente o miradouro da Praia Formosa, um ponto turístico muito frequentado da região e pela largura reduzida das praias nesta área. O grau de risco obtido para a arriba L2-L5 foi classificado como **Alto**, e, para as arribas L6-L8 e L8-L10, o grau de risco obtido foi **Extremo**. A análise probabilística de rotura realizada na arriba L6-L8 revelou um fator de segurança de 1,23, muito próximo do limite considerado instável, com uma probabilidade de rotura, no perfil analisado, de 30,66%.

De um ponto de vista comparativo, o caso de estudo Formosa apresenta um grau de risco significativamente mais elevado do que o verificado no caso de estudo Amanhã/Vigia, exigindo maior prioridade na implementação de medidas de monitorização e mitigação.

A comparação entre os fatores de segurança, as probabilidades de rotura e os graus de risco obtidos, demonstrou uma coerência significativa entre as análises, destacando-se a arriba L6-L8 da Formosa, onde ambas as metodologias convergiram para um cenário de risco Extremo. Nos casos das arribas L3-L4 e L9-L10 de Amanhã/Vigia, observou-se uma discrepância entre os baixos valores

de probabilidade de rotura e os graus de risco elevados obtidos, evidenciando que o grau de risco incorpora de forma mais expressiva a perigosidade associada a uma eventual rotura. Desta forma, afirma-se que a utilização conjunta das duas abordagens, a análise probabilística de rotura e a esquematização da matriz de risco, permite realizar uma avaliação mais robusta e abrangente.

É importante salientar que a análise probabilística realizada não avalia as arribas na sua globalidade e, portanto, os valores obtidos, tanto o fator de segurança como a probabilidade de rotura, poderão não refletir integralmente a realidade, uma vez que foram considerados apenas perfis transversais bidimensionais, analisados de forma pontual. Assim, esta abordagem apresenta limitações, pois não contempla todas as variáveis tridimensionais das arribas. Os resultados obtidos devem, portanto, ser entendidos como aproximações válidas para os planos estudados, mas não garantem uma representação fiel da estabilidade global das arribas.

A utilização da matriz de risco proposta, desenvolvida para ambientes costeiros, mostrou-se eficaz na integração de parâmetros qualitativos, apoiados em levantamentos geológicos e na avaliação geológico-geotécnica, para a gestão do risco costeiro em regiões com importância socioeconómica e/ou ambiental.

A utilização de análises probabilísticas, associadas à aplicação da matriz de risco proposta, poderá constituir uma mais-valia, na medida que permite validar os resultados obtidos a partir de parâmetros geotécnicos determinados de forma fiável, nomeadamente com ensaios *in situ*, ensaios laboratoriais, levantamento de descontinuidades do maciço e perfis transversais topográficos que representem fielmente o caso real.

Após a esquematização destes resultados, importa salientar que este estudo apresenta limitações, decorrentes do número reduzido de casos analisados, o que não permitiu uma calibração suficientemente robusta dos parâmetros utilizados. Além disso, o trabalho dependeu fortemente dos dados obtidos especificamente para esta região, bem como da experiência do utilizador.

Os resultados obtidos para o caso de estudo Formosa devem ser interpretados com alguma prudência, uma vez que a obtenção dos parâmetros geológicos e estruturais das arribas foi fortemente condicionada pelo difícil acesso ao local.

Importa ainda referir que, a quantidade e o tipo de métodos que suportam os estudos nesta dissertação, estavam estritamente condicionados às especificações do caderno de encargos de referência desta dissertação. Poder-se-ia ter realizado um maior número de ensaios laboratoriais sobre as amostras de solo e rocha recolhidas nas sondagens, permitindo determinar de forma mais

rigorosa, os parâmetros de resistência e deformabilidade, reduzindo a necessidade de recorrer a correlações empíricas. Poderiam igualmente ter sido aplicados métodos geofísicos, como a sísmica, para estimar a profundidade do *bedrock* e, adicionalmente, determinar também o módulo de deformabilidade da rocha através da análise das ondas P e do coeficiente de Poisson, o que contribuiria para uma caracterização ainda próxima da realidade e detalhada para as condições geológico-geotécnicas das arribas dos casos de estudo.

A aplicação da técnica de amostragem linear poderia ter sido expandida nos casos de estudo, aumentando a cobertura das arribas e, conseqüentemente, o número de descontinuidades registadas. Em alternativa a esta metodologia tradicional, poder-se-ia ter recorrido a um levantamento topográfico das arribas e a um *software* de identificação automática de descontinuidades, permitindo uma caracterização mais abrangente e global do maciço.

Com base nesta caracterização, suportada com o levantamento topográfico e identificação automática das descontinuidades, seria ainda possível desenvolver modelos tridimensionais para a avaliação do fator de segurança e da probabilidade de rotura global das arribas, proporcionando uma análise mais abrangente e representativa das condições reais.

Numa perspetiva futura, recomenda-se a expansão da aplicação da metodologia proposta a um conjunto mais vasto de arribas costeiras, inseridas em diferentes contextos geológicos e geomorfológicos, de modo a validar a sua robustez e, se necessário, ajustar ou acrescentar parâmetros de perigosidade e/ou vulnerabilidade.

Em suma, a metodologia proposta revelou-se eficaz, sobretudo quando associada e suportada em avaliações geológico-geotécnicas, para a avaliação da instabilidade de arribas costeiras, constituindo um instrumento promissor de apoio à decisão na gestão do risco.

[página propositadamente em branco]

8.Referências

- Almeida, C., Mendonça, J., Jesus, M., & Gomes, A. (2000). *Sistemas Aquíferos de Portugal Continental (Vol. II)*. Lisboa: Centro de Geologia da Universidade de Lisboa & Instituto Nacional da Água.
- ANPC (2009). *Guia para a caracterização de risco no âmbito da elaboração de planos de emergência de proteção civil. Cadernos Técnicos PROCIV 9*. Lisboa: Autoridade Nacional de Proteção Civil.
- ASTM D2166. (2006). *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil*. ASTM - Advancing Standards Transforming Markets.
- ASTM D2487. (2017). *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. ASTM - Advancing Standards Transforming Markets.
- ASTM D3080. (2011). *Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*. ASTM - Advancing Standards Transforming Markets.
- Bieniawski, Z. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*. John Wiley & Sons.
- Bird, E. (2000). *Coastal Geomorphology: an introduction*. 2nd ed.. England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Bowles, J. (1997). *Foundation Analysis and Desing*. Singapore: McGraw-Hill.
- Brissos, J.C. (2013). *Avaliação de risco de instabilidade de arribas no troço Sines – Zambujeira do Mar (SW Alentejano)*. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa. (Dissertação de mestrado)
- Budhu, M. (2011). *Soil Mechanics and Foundations*. 3rd ed.. USA: John Wiley & Sons, INC.
- C.M. Torres Vedras. (17 de Agosto de 2025). *Freguesias de Torres Vedras*. Obtido de Câmara Municipal Torres Vedras: <https://www.cm-tvedras.pt/freguesias>
- C.M. Torres Vedras. (17 de Agosto de 2025). *Município / Concelho / Info. geográfica / Demografia*. Obtido de Câmara Municipal Torres Vedras: <https://www.cm-tvedras.pt/municipio/concelho/informacao-geografica/demografia-geo>
- Caputo, H.P. (1988). *Mecânica dos solos e suas aplicações (Vol. Volume 1)*. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

Chakraborty, R., & Dey, A. (2022). Probabilistic slope stability analysis: state of the art review and future prospects. *Innovative Infrastructure Solutions*.

Chaminé, H.I. (2016). Técnicas de amostragem em estudos de maciços rochosos fracturados: importância na prática da geologia estrutural, geociências de engenharia e mecânica das rochas. In: H.I. Chaminé, M.J. Afonso, A.C. Galiza (eds.), Eduardo Gomes (1931-2008): Engenheiro, Docente, Empreendedor – Uma Homenagem. Coleção LABCARGA-Geo|2, Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada & Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto. p. 297-343.

Chaminé, H., Afonso, M., Ramos, L., & Pinheiro, R. (2015). Scanline sampling techniques for rock engineering surveys: insights from intrinsic geologic variability and uncertainty. In: D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, & C. Delgado, *Engineering Geology for Society and Territory – Applied Geology for Major Engineering Projects* (pp. 6:357-361). IAEG, Springer.

Chaminé, H., Afonso, M., Teixeira, J., Ramos, L., Fonseca, L., Pinheiro, R., & Galiza, A. (2013). Using engineering geosciences mapping and GIS-based tools for georesources management: lessons learned from rock quarrying. *European Geologist Journal*, 36:27-33.

Chaminé, H.I., & Fernandes, I. (2023). The role of engineering geology mapping and GIS-based tools in geotechnical practice. In: Chastre C., Neves J., Ribeiro D., Neves M.G., Faria P. (eds), *Advances on Testing and Experimentation in Civil Engineering*. Springer Tracts in Civil Engineering. Springer, Cham, p. 3–27.

Chaminé, H.I., & Gaspar, A.F. (1995). Estudo da compartimentação de maciços rochosos pela técnica de amostragem linear: aplicação a uma travessa da Mina de Carvão de Germunde. *Estudos, Notas e Trabalhos*, Instituto Geológico Mineiro, Porto, 37: 97-111.

Chaminé, H.I., Afonso, M.J., Silva, R., Monteiro, R., Teixeira, J., Moreira, P., Meixedo, J.P., Trigo, J.F. (2010). Da teoria à prática em geotecnia urbana de maciços rochosos: o exemplo da zona ribeirinha de Gaia. *Tecnologia e Vida, Revista da Secção Regional do Norte da ANET*, Porto, 6: 39-45.

Costa, F. (2012). *Instabilidade em arribas costeiras*. Universidade do Porto. Porto: Faculdade de Engenharia.

Cruden, D.M., & Varnes, D. (2004). *Landslide Types and Processes*. Special Report - National Research Council, Transportation Research Board.

D'Appolonia, D., D'Appolonia, E., & Brissette, R. (1970). Settlement of spread footings on sand. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Div.*, 96, 754-762.

Dawson, E., Roth, W., & Drescher, A. (1999). Slope stability analysis by strength reduction. *Géotechnique*, 49(6), 835-840.

Deb, D., & Verma, A. K. (2016). *Fundamentals and Applications of Rock Mechanics*. Haryana: PHI Learning Private Limited.

Deere, D. (1969). Geological Considerations. Em K. Stagg, & O. Zienkiewicz, *Rock Mechanics in Engineering Practice*. London: John Wiley.

EN ISO 17892-2. (2014). *Geotechnical investigation and testing - Laboratory testing of soil - Part 2: Determination of bulk density*. Geneva: International Standard Organization.

EN ISO 22476-3. (2005). *Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 3: Standard penetration test (ISO 22476-3:2005)*. Brussels: European Committee For Standardization.

ENV 1997-3. (2000). *Eurocode 7 - Part 3: Geotechnical Design assisted by field testing*.

- Fernandes, I., & Chaminé, H.I. (2023). In situ geotechnical investigations. In: Chastre C., Neves J., Ribeiro D., Neves M.G., Faria P. (eds.), *Advances on Testing and Experimentation in Civil Engineering*. Springer Tracts in Civil Engineering. Springer, Cham, p. 29–54.
- Gerscovich, D. (2016). *Estabilidade de taludes*. 2nd ed.. São Paulo: Oficina de Textos.
- Glade, T., Anderson, M., & Crozier, M. (2006). *Landslide Hazard And Risk*. England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Godoy, N. (1972). *Fundações: Notas de aula, Curso de Graduação*. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos - USP.
- GSE (1995). The description and classification of weathered rocks for engineering purposes (Vol. 28). The Geological Society Engineering Group Working Party Report. *Quarterly Journal of Engineering Geology*.
- Guerra, A., & Cunha, S. B. (2000). *Geomorfologia e Meio Ambiente*. 3rd ed.. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- Hencher, S. (2012). *Practical Engineering Geology. Applied Geotechnics (Vol. 4)*. New York: Spon Press.
- Hoek, E. (1990). Estimating Mohr-Coulomb Friction and Cohesion Values from the Hoek-Brown Failure Criterion. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 27(3), 227-229.
- Hoek, E., & Brown, E. (2018). The Hoew-Brown failure criterion and GSI - 2018 edition. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 11, 445-463.
- Hunt, R. (1984). *Geotechnical Engineering Investigation Manual*. New York: McGraw-Hill.
- Instituto Português da Qualidade. (2016). NP EN 31010:2016 – Gestão de riscos: Técnicas para o processo de avaliação de riscos. Lisboa: IPQ.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics (1978). Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, 15(6): 319-368.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics (1979). Suggested methods for determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*
- ISRM – International Society for Rock Mechanics (1981). Basic geotechnical description of rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, 18: 85-110.
- Kezdi, A. (1974). *Handbook of Soil Mechanics*. Amsterdam: Elsevier.
- Koloski, J., Schwarz, S., & Tubbs, D. (1989). Geotechnical Properties of Geologic Materials. Em R. Galster, *Engineering Geology in Washington* (pp. 19-27). Washington: Washington State Department of Natural Resources, Division of Geology and Earth Resources.
- Kullberg, J. C., Rocha, R. B., Soares, A., Rey, J., Terrinha, P., Callapez, P., & Martins, L. (2006). A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. In: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, & J. Kullberg, *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria* (pp. 317-368). Évora.
- Leite, E. (2004). *Estudo do Comportamento Geomecânico do Pilar Superior da Mina Ipueira V (Ferbasa Mineração – Andorinha, BA)*. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto.
- LNEC E196. (1966). *Solos - Análise Granulométrica - Sedimentação*. Portugal: Especificação LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

LNEC E239. (1970). Solos - Análise Granulométrica por Peneiração Húmida. Portugal: Especificação LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

LNEC E240. (1970). Solos - Classificação para fins rodoviários. Portugal: Especificação LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Look, B. (2007). Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables. London: Taylor & Francis Group.

Manuppella, G., Antunes, M., Pais, J., Ramalho, M., & Rey, J. (1999). Notícia Explicativa da Folha 30-A (Lourinhã). Lisboa: Departamento de Geologia, Instituto Geológico e Mineiro, Ministério da Economia.

Manuppella, G., Rey, J., Ramalho, M., Leinfelder, R., & Baptista, R. (1996). Folha 30-A (Lourinhã) Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50.000. Departamento de Geologia, Instituto Geológico e Mineiro, Ministério da Economia.

Markland, J. (1972). A Useful Technique for Estimating the Stability of Rock Slopes when the Rigid Wedge Slide Type of Failure is Expected. University of London: Imperial College Rock Mechanics Research, 19, Imperial College of Science and Technology.

Marques, F.M.S.F. (2008). Magnitude-frequency of sea cliff instabilities. Natural Hazards and Earth System Science, 85: 1161-1171.

Marques, F.M.S.F. (2009). Sea cliff instability hazard prevention and planning: Examples of practice in Portugal. Journal of Coastal Research, 56(SI): 856-860.

Matos Fernandes, M. (2017). Mecânica dos Solos: Conceitos e Princípios Fundamentais. 5ª ed., Vol. 1. Porto: U.Porto Press.

Matos Fernandes, M. (2020). Analysis and Design of Geotechnical Structures. Abingdon, Oxon: CRC Press, Taylor & Francis Group.

Mesquita, V. (2013). Análise Determinística e Probabilística da Estabilidade de Blocos em Taludes Rochosos. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. (Dissertação de Mestrado)

Minnesota Department of Transportation. (2007). Pavement Manual: Pavement Design. Minnesota: Minnesota Department of Transportation.

Neves, M. (2004). Evolução actual dos litorais rochosos da Estremadura Norte. Estudo de Geomorfologia. Lisboa: Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa.

NP-143. (1969). Solos - Determinação dos Limites de Consistência. Portugal: Norma Portuguesa Definitiva.

NP-83. (1965). Solos - Determinação da Densidade das Partículas. Portugal: Norma Portuguesa Definitiva.

NP-84. (1965). Solos - Determinação do Teor em Água. Portugal: Norma Portuguesa Definitiva.

OE – Ordem dos Engenheiros (2000). Recomendações na Área da Geotecnia. Ordem dos Engenheiros, Especialização em Geotecnia. Lisboa.

Pais, J., Cunha, P., Pereira, D., Legoinha, P., Dias, R., Moura, D., González-Delgado, J. (2012). The Paleogene and Neogene of Western Iberia (Portugal) - A Cenozoic Record in the European Atlantic Domain. Springer, Cham.

Peck, R., Hanson, W., & Thornburn, T. (1974). Foundation engineering. 2nd ed.. John Wiley & Sons.

Pereira, D. I., Pereira, P. S., Santos, L. C., & Silva, J. F. (2014). Unidades Geomorfológicas de Portugal Continental. 15(4), 1-18.

- Pierson, L., & Van Vickle, R. (1990). Rockfall Hazard Rating System-participant's Manual. In: Publication No. FHWA-SA-93-057. Federal Highway Administration. Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation.
- Pierson, L., Davis, S., & Van Vickle, R. (1990). Rockfall Hazard Rating System Implementation Manual. In: Report FHWA-OREG-90-01. Federal Highway Administration. EUA: US Department of Transportation.
- Pinheiro, M., Sanches, S., Miranda, T., Neves, A., Tinoco, J., Ferreira, A., & Correia, A. G. (2015). A new empirical system for rock slope stability analysis in exploitation stage. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 76:182-19.
- Prat, M., Bisch, E., Millard, A., Mestat, P., & Cabot, G. (1995). *La modelisation des ouvrages*. Paris.
- Priest, S. D. (1993). *Discontinuity analysis for rock engineering*. London: Chapman and Hall.
- Queiroz, S.M.R., & Marques, F.M.S.F. (2019). Sea cliff instability susceptibility considering nearby human occupation and predictive capacity assessment". *Engineering Geology* 253: 75-93.
- Ramos, N. (2021). Proposta metodológica de baixo custo para monitorização de arribas potencialmente instáveis, Aplicação no estudo do litoral de Torres Vedras. Porto: Faculdade de Letras da Universidade do Porto. (Dissertação de Mestrado)
- Ribeiro, A. (2002). *Soft Plate and Impact Tectonics*. Berlim: Springer-Verlag.
- Ribeiro, A., Antunes, M., Ferreira, M., Rocha, R., Soares, A., Zbyszewski, G., & Monteiro, J. (1979). *Introduction à la Géologie Générale du Portugal*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.
- Ribeiro, A., Silva, J., Cabral, J., Dias, R., Fonseca, P., Kullberg, M., & Kullberg, J. (1996). *Tectonics of the Lusitanian Basin*. Lisboa: ICTE/GG/GeoFCUL.
- Rocha, M. (1981). *A Mecânica das Rochas*. Lisboa: LNEC.
- Rocha, R., & Soares, A. (1984). Algumas reflexões sobre a sedimentação jurássica na orla meso-cenozóica ocidental de Portugal. *Coimbra: Mem. Notícias* 97.
- Rocscience Inc. (2001). *Phase 2 Model Program - 2D finite element program for calculating stresses and estimating support around underground excavations*. Rocscience Inc.
- Selby, M. (1993). *Hillslope materials and processes*. 2nd ed.. Oxford: Oxford University Press.
- Smith, K., & Petley, D.N. (2009). *Environmental hazards. Assessing risk and reducing disaster*, 5th ed.. Londres: Routledge, Taylor & Francis Group.
- SN 0525-LP-300-7071. (1986). *NAVFAC Design Manual 7.2 - Foundations and Earth Structures*. Virginia: Naval Facilities Engineering Command.
- Sunamura, T. (1992). *Geomorphology of rocky coasts*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Swiss Standard SN 670 010b (1997). *Characteristic Coefficients of soils*. Association of Swiss Road and Traffic Engineers.
- Tan, T., Inoue, T., & Lee, S. (1991). Hyperbolic method for consolidation analysis. *Journal of Geotechnical Engineering*, 117(11): [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1991\)117:11\(1723\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1991)117:11(1723))
- Teixeira, S. (2009). *Demarcação do Leito e da Margem das Águas do Mar no Litoral Sul do Algarve*. Faro: Administração da Região Hidrográfica do Algarve.
- Terzaghi, K., & Peck, R. (1948). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Terzaghi, R. D. (1965). Sources of errors in joint surveys. *Geotéchnique*, 15(3), 287-304.
- UNISDR. (2009). *Disaster Risk Reduction*. Geneva, Suíça: The United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR).

- Vallejo, L. I., & Ferrer, M. (2011). *Geological Engineering*. CRC Press, Taylor & Francis Group, London.
- van Beek, R., Cammeraat, E., Andreu, V., Mickovski, S., & Dorren, L. (2008). Hillslope Processes: Mass Wasting, Slope Stability and Erosion. In: Norris, J., et. al., *Slope Stability and Erosion Control: Ecotechnological Solutions*. Springer.
- Varnes, D. (1978). Slope Movement Types and Processes. In: Schuster, R., Krizek, R. (eds.), *Landslides-Analysis and Control*, Chapter 2. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
- Varnes, D.J. (1984). *Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice*. Paris: UNESCO.
- Waltham, T. (2009). *Foundations of engineering geology*. 3rd ed.. London: Spon Press.
- Watkins, H., Bond, C., Healy, D., Robert, & Butler, R. (2015). Appraisal of fracture sampling methods and a new workflow to characterise heterogeneous fracture networks at outcrop. *Journal Structural Geology*, 72:67-82.
- Wyllie, D., & Mah, C. (2005). *Rock Slope Engineering: civil and mining*. 4th ed.. London, Spon Press.
- Zêzere, J. L., Vaz, T., Pereira, S., Oliveira, S., Marques, R., & Garcia, R. (2015). Rainfall thresholds for landslide activity in Portugal: a state of the art. *Environmental Earth Sciences*, 4-21: 2917–2936.

Anexo I – Tabelas de perigosidade e vulnerabilidade

Anexo I – Tabelas de perigosidade e vulnerabilidade

Amanhã/Vigia

Tabela A1 – Parâmetros considerados para a obtenção do grau de perigosidade na arriba L1-L2 do caso de estudo Amanhã/Vigia.

Categorias	Critério por pontos			
	3	9	27	81
Altura da arriba (m)			29	
Inclinação (°)				Vertical
Descalçamento da base		Pouco		
Irregularidade da face	Baixa			
Tipo de litologia			Areias/argilas consolidadas	
Condição geo-estrutural			Descontinuidades com orientação desfavorável	
Alteração do maciço			W4	
Grau de fraturação			F ₃	
Presença de água			Gotejante	
Rugosidade das descontinuidades			R3	
Continuidade das descontinuidades		Pouco contínuas (1 a 3m)		
Volume dos blocos por evento (m ³)		4,6		
Tamanho dos blocos (m)				1,2

Categorias	Critério por pontos			
	3	9	27	81
Cobertura Vegetal		Alguma		
Erosão		Moderada		
Quantidade de blocos [nº de blocos rochosos soltos com potencial de queda]		Poucos		
Historial de queda de blocos	Poucas quedas			
Prof. de obtenção de firme (3 negas (NSPT=60) consecutivas) (m)	4,5			
Precipitação média anual (mm)			625,8	

Tabela A2 - Parâmetros considerados para a obtenção do grau de vulnerabilidade na arriba L1-L2 do caso de estudo Amanhã/Vigia.

Categorias	Critério por pontos			
	3	9	27	81
Ocupação a topo da arriba	Nenhuma			
Acessibilidade da praia		Acesso difícil (escadas/trilhos)		
Largura da praia (m)		80		
Infraestruturas próximas da base	Nenhuma			
Sinalização de risco			Sinalização pontual e/ou danificada	

Tabela A3 - Parâmetros considerados para a obtenção do grau de perigosidade na arriba L3-L4 do caso de estudo Amanhã/Vigia.

Categorias	Critério por pontos			
	3	9	27	81
Altura da arriba (m)			25	
Inclinação (°)				Vertical
Descalçamento da base			Algum	
Irregularidade da face			Alta	
Tipo de litologia			Areias/argilas consolidadas	
Condição geo-estrutural			Descontinuidades com orientação desfavorável	
Alteração do maciço			W4	
Grau de fraturação			F ₃	

Categorias	Critério por pontos			
	3	9	27	81
Presença de água			Gotejante	
Rugosidade das descontinuidades			R3	
Continuidade das descontinuidades		Pouco contínuas (1 a 3m)		
Volume dos blocos por evento (m³)		4,6		
Tamanho dos blocos (m)				1,2
Cobertura Vegetal		Alguma		
Erosão			Elevada	
Quantidade de blocos [nº de blocos rochosos soltos com potencial de queda]		Poucos		
Historial de queda de blocos	Poucas quedas			
Prof. de obtenção de firme (3 negas (NSPT=60) consecutivas) (m)	4,5			
Precipitação média anual (mm)			695,8	

Tabela A4 - Parâmetros considerados para a obtenção do grau de vulnerabilidade na arriba L3-L4 do caso de estudo Amanhã/Vigia.

Categorias	Critério por pontos			
	3	9	27	81
Ocupação a topo da arriba			Estacionamento	
Acessibilidade da praia		Acesso difícil (escadas/trilhos)		
Largura da praia (m)		82		
Infraestruturas próximas da base	Nenhuma			
Sinalização de risco			Sinalização pontual e/ou danificada	

Tabela A5 - Parâmetros considerados para a obtenção do grau de perigosidade na arriba L6-L7 do caso de estudo Amanhã/Vigia.

Categorias	Critério por pontos			
	3	9	27	81
Altura da arriba (m)		17,5		
Inclinação (º)				Vertical
Descalçamento da base			Algum	
Irregularidade da face				Muito alta
Tipo de litologia			Areias/argilas consolidadas	

Categorias	Critério por pontos			
	3	9	27	81
Condição geo-estrutural			Descontinuidades com orientação desfavorável	
Alteração do maciço				W5
Grau de fraturação			F ₃	
Presença de água		Húmido		
Rugosidade das descontinuidades			R3	
Continuidade das descontinuidades		Pouco contínuas (1 a 3m)		
Volume dos blocos por evento (m ³)		4,6		
Tamanho dos blocos (m)				1,2
Cobertura Vegetal			Pontual	
Erosão				Extrema
Quantidade de blocos [nº de blocos rochosos soltos com potencial de queda]			Alguns	
Historial de queda de blocos		Quedas ocasionais		
Prof. de obtenção de firme (3 negas (NSPT=60) consecutivas) (m)	4,5			
Precipitação média anual (mm)			695,8	

Tabela A6 - Parâmetros considerados para a obtenção do grau de vulnerabilidade na arriba L6-L7 do caso de estudo Amanhã/Vigia.

Categorias	Critério por pontos			
	3	9	27	81
Ocupação a topo da arriba			Estacionamento	
Acessibilidade da praia			Acesso normal	
Largura da praia (m)		95		
Infraestruturas próximas da base	Nenhuma			
Sinalização de risco			Sinalização pontual e/ou danificada	

Tabela A7- Parâmetros considerados para a obtenção do grau de perigosidade na arriba L9-L10 do caso de estudo Amanhã/Vigia.

Categorias	Critério por pontos			
	3	9	27	81
Altura da arriba (m)		17,5		
Inclinação (°)				Vertical
Descalçamento da base			Algum	
Irregularidade da face				Muito alta
Tipo de litologia			Areias/argilas consolidadas	
Condição geo-estrutural			Descontinuidades com orientação desfavorável	
Alteração do maciço				W5
Grau de fraturação			F ₃	
Presença de água		Húmido		
Rugosidade das descontinuidades			R3	
Continuidade das descontinuidades		Pouco contínuas (1 a 3m)		
Volume dos blocos por evento (m ³)		4,6		
Tamanho dos blocos (m)				1,2
Cobertura Vegetal			Pontual	
Erosão				Extrema
Quantidade de blocos [nº de blocos rochosos soltos com potencial de queda]			Alguns	
Historial de queda de blocos		Quedas ocasionais		
Prof. de obtenção de firme (3 negas (NSPT=60) consecutivas) (m)	4,5			
Precipitação média anual (mm)			695,8	

Tabela A8 - Parâmetros considerados para a obtenção do grau de vulnerabilidade na arriba L9-L10 do caso de estudo Amanhã/Vigia.

Categorias	Critério por pontos			
	3	9	27	81
Ocupação a topo da arriba				Infraestrutura e estacionamento
Acessibilidade da praia			Acesso normal	
Largura da praia (m)	100			
Infraestruturas próximas da base	Nenhuma			
Sinalização de risco			Sinalização pontual e/ou danificada	

Tabela A9 - Parâmetros considerados para a obtenção do grau de perigosidade na arriba L11-L12 do caso de estudo Amanhã/Vigia.

Categorias	Critério por pontos			
	3	9	27	81
Altura da arriba (m)		18,8 a 22		
Inclinação (º)				Vertical
Descalçamento da base			Algum	
Irregularidade da face			Alta	
Tipo de litologia			Areias/argilas consolidadas	
Condição geo-estrutural			Descontinuidades com orientação desfavorável	
Alteração do maciço			W4	
Grau de fraturação			F ₃	
Presença de água	Seco			
Rugosidade das descontinuidades			R3	
Continuidade das descontinuidades		Pouco contínuas (1 a 3m)		
Volume dos blocos por evento (m ³)				9,3
Tamanho dos blocos (m)				1,2
Cobertura Vegetal		Alguma		
Erosão			Elevada	
Quantidade de blocos [nº de blocos rochosos soltos com potencial de queda]				Muitos
Historial de queda de blocos			Muitas quedas	
Prof. de obtenção de firme (3 negas (NSPT=60) consecutivas) (m)	4,5			
Precipitação média anual (mm)			695,8	

Tabela A10 - Parâmetros considerados para a obtenção do grau de vulnerabilidade na arriba L11-L12 do caso de estudo Amanhã/Vigia.

Categorias	Critério por pontos			
	3	9	27	81
Ocupação a topo da arriba				Habitação
Acessibilidade da praia		Acesso difícil (escadas/trilhos)		
Largura da praia (m)		91		
Infraestruturas próximas da base	Nenhuma			
Sinalização de risco			Sinalização pontual e/ou danificada	

Formosa

Tabela A11 - Parâmetros considerados para a obtenção do grau de perigosidade na arriba L2-L5 do caso de estudo Formosa.

Categorias	Critério por pontos			
	3	9	27	81
Altura da arriba (m)			29	
Inclinação (°)				Vertical
Descalçamento da base	Nenhum			
Irregularidade da face	Baixa			
Tipo de litologia		Rocha alterada e/ou fraturada		
Condição geo-estrutural				Descontinuidades muito contínuas com orientação desfavorável
Alteração do maciço			W4	
Grau de fraturação			F ₃	
Presença de água	Seco			
Rugosidade das descontinuidades			R3	
Continuidade das descontinuidades			Medianamente contínuas (3 a 10m)	
Volume dos blocos por evento (m ³)			6,9	
Tamanho dos blocos (m)				1,2
Cobertura Vegetal		Alguma		
Erosão			Elevada	
Quantidade de blocos [nº de blocos rochosos soltos com potencial de queda]			Alguns	
Historial de queda de blocos			Muitas quedas	

Categorias	Critério por pontos			
	3	9	27	81
Prof. de obtenção de firme (3 negas (NSPT=60) consecutivas) (m)		7,5		
Precipitação média anual (mm)			695,8	

Tabela A12 - Parâmetros considerados para a obtenção do grau de vulnerabilidade na arriba L2-L5 do caso de estudo Formosa.

Categorias	Critério por pontos			
	3	9	27	81
Ocupação a topo da arriba			Miradouro	
Acessibilidade da praia			Acesso Normal	
Largura da praia (m)				35
Infraestruturas próximas da base			Presença moderada	
Sinalização de risco	Sinalização clara e barreiras			

Tabela A13 - Parâmetros considerados para a obtenção do grau de perigosidade na arriba L6-L8 do caso de estudo Formosa.

Categorias	Critério por pontos			
	3	9	27	81
Altura da arriba (m)				32
Inclinação (°)				Vertical
Descalçamento da base				Considerável
Irregularidade da face		Média		
Tipo de litologia			Areias/argilas consolidadas	
Condição geo-estrutural				Descontinuidades muito contínuas com orientação desfavorável
Alteração do maciço			W4	
Grau de fraturação				F ₂ /F ₁
Presença de água		Húmido		
Rugosidade das descontinuidades			R3	
Continuidade das descontinuidades			Medianamente contínuas (3 a 10m)	
Volume dos blocos por evento (m ³)			6,9	
Tamanho dos blocos (m)				1,2
Cobertura Vegetal		Alguma		

Categorias	Critério por pontos			
	3	9	27	81
Erosão			Elevada	
Quantidade de blocos [nº de blocos rochosos soltos com potencial de queda]				Muitos
Historial de queda de blocos			Muitas quedas	
Prof. de obtenção de firme (3 negas (NSPT=60) consecutivas) (m)		7,5		
Precipitação média anual (mm)			695,8	

Tabela A14 - Parâmetros considerados para a obtenção do grau de vulnerabilidade na arriba L6-L8 do caso de estudo Formosa.

Categorias	Critério por pontos			
	3	9	27	81
Ocupação a topo da arriba			Miradouro	
Acessibilidade da praia		Acesso difícil (escadas/trilhos)		
Largura da praia (m)				20
Infraestruturas próximas da base	Nenhuma			
Sinalização de risco			Sinalização pontual e/ou danificada	

Tabela A15 - Parâmetros considerados para a obtenção do grau de perigosidade na arriba L8-L10 do caso de estudo Formosa.

Categorias	Critério por pontos			
	3	9	27	81
Altura da arriba (m)				32
Inclinação (°)				Vertical
Descalçamento da base				Considerável
Irregularidade da face			Alta	
Tipo de litologia			Areias/argilas consolidadas	
Condição geo-estrutural				Descontinuidades muito contínuas com orientação desfavorável
Alteração do maciço			W4	
Grau de fraturação				F ₂ /F ₁
Presença de água		Húmido		
Rugosidade das descontinuidades			R3	

Categorias	Critério por pontos			
	3	9	27	81
Continuidade das descontinuidades			Medianamente contínuas (3 a 10m)	
Volume dos blocos por evento (m³)			6,9	
Tamanho dos blocos (m)				1,2
Cobertura Vegetal		Alguma		
Erosão			Elevada	
Quantidade de blocos [nº de blocos rochosos soltos com potencial de queda]				Muitos
Historial de queda de blocos			Muitas quedas	
Prof. de obtenção de firme (3 negas (NSPT=60) consecutivas) (m)		7,5		
Precipitação média anual (mm)			695,8	

Tabela A16 - Parâmetros considerados para a obtenção do grau de vulnerabilidade na arriba L8-L10 do caso de estudo Formosa.

Categorias	Critério por pontos			
	3	9	27	81
Ocupação a topo da arriba			Miradouro	
Acessibilidade da praia		Acesso difícil (escadas/trilhos)		
Largura da praia (m)				30
Infraestruturas próximas da base	Nenhuma			
Sinalização de risco			Sinalização pontual e/ou danificada	

**Anexo II - Fichas de Caracterização das Condições Geológico-Geotécnicas
de Superfície de Taludes**

SINERGEOSOLUÇÕES APLICADAS EM GEOLOGIA, HIDROGEOLOGIA E AMBIENTE, LDA.

FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DE SUPERFÍCIE DE TALUDES

Cliente:

Obra:

Ficha n.º: 1

Talude: L1-L2

Data: 29/04/2025

Elaborado por: Renato Rolo

Coordenadas (ETRS89/PT-TM06)

M: -107031.173
P: -56788.232

Características Gerais

Altura (m):
29

Orientação:
N50º

Inclinação (º):
Vertical

Comprimento (m):
45

Enquadramento Geológico-Geotécnico

Carta 30A- Lourinhã: Afloramento de grés, margas, argilas e conglomerados (Grés Superior) do Bombaral. É constituída por sequências silicásticas continentais siltosas, areníticas e conglomeráticas, com arenitos argilosos e argilas com composição ílítico-montmorilonítica, por vezes com concreções calcárias.

Caracterização Geomecânica dos materiais

Descrição:	Alteração (W)	Fracturação (F)	Resistência (R)
Depósitos sedimentares brancos, com estratificação horizontal a subhorizontal. As litologias predominantes correspondem a arenitos finos a médios, passando a conglomerados finos com clastos centimétricos (3 a 5 cm) angulosos a arredondados.	W1	F1	R6
	W2	F2	R5
	W3	F3	R4
	W4	F4	R3
	W5	F5	R2
	W6	F6	R1

Descontinuidades

Tipo	Dir.(º)	Incl. (º)	Esp. (cm)	Cont. (m)	Abertura (cm)	Rugosid.	Preench.	Obs.
Fratura	N41	87SE	60-200	1-3	0,1-0,5	R2-3	S/Preench	
Fratura	N9	87NW	60-200	1-3	0,1-0,5	R2-3	S/Preench	

Registo Fotográfico:

Vista geral da arriba (L2)

Arriba lado esquerdo, com acumulação de material de deslizamentos na base (L1)

Arriba lado direito, com evidências de descalçamento basal e acumulação de material resultante de deslizamentos (L2)

Ocorrências/Instabilidades observadas

Classe	Situação	Repercussão	Observações
Escorrência de água	Quase todo o talude	Erosão regressiva; abertura de descontinuidades	Contribui para a diminuição da coesão dos materiais
Queda de blocos	Pontual	Blocos instáveis no talude	Originários da decompressão do material
Deslizamento de solo	Pontual	-	Acumulação de material na base
Descalçamento basal	Pontual	Instabilidade da base do talude	Ação das marés

Observações

Vegetação	Alguma vegetação rasteira a topo e no material resultante dos deslizamentos
Humidade	Considerável
Drenagem	Bastante escorrência pluvial
Ocupação	-

Projeção estereográfica:

SINERGEOSOLUÇÕES APLICADAS EM GEOLOGIA, HIDROGEOLOGIA E AMBIENTE, LDA.

FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DE SUPERFÍCIE DE TALUDES

Ciente:

Obra:

Ficha n.º: 2

Talude: L3-L4

Data: 30/04/2025

Elaborado por: Renato Rolo

Coordenadas (ETRS89/PT-TM06)

M: -107078.347
P: -56834.089

Características Gerais

Altura (m):
25

Orientação:
N20º

Inclinação (º):
Vertical a 45ºNW

Comprimento (m):
64

Enquadramento Geológico-Geotécnico

Carta 30A- Lourinhã: Afloramento de grés, margas, argilas e conglomerados (Grés Superior) do Bombaral. É constituída por sequências silicásticas continentais siltosas, areníticas e conglomeráticas, com arenitos argilosos e argilas com composição ílítico-montmorilonítica, por vezes com concreções calcárias.

Caracterização Geomecânica dos materiais

Descrição:	Alteração (W)	Fracturação (F)	Resistência (R)
Depósitos sedimentares, com estratificação horizontal a subhorizontal, composto por arenitos muito finos a finos a conglomerados finos.	W1	F1	R6
	W2	F2	R5
	W3	F3	R4
	W4	F4	R3
	W5	F5	R2
	W6	F6	R1

Descontinuidades

Tipo	Dir.(º)	Incl. (º)	Esp. (cm)	Cont. (m)	Abertura (cm)	Rugosid.	Preench.	Obs.
Fratura	N17	85NW	20-200	<1-5	0,1-5	R2-3	S/Preench	
Fratura	N1	78W	>200	5	0,1-5	R2-3	S/ a argiloso	
Fratura	N161	75SW	20-200	1-5	0,1-5	R2-3	S/Preench	

Registo Fotográfico:

Arriba lado esquerdo (L3)

Arriba central (L3a) com descalçamento basal, intensa fraturação, muito aberta e queda de blocos

Arriba lado direito (L4)

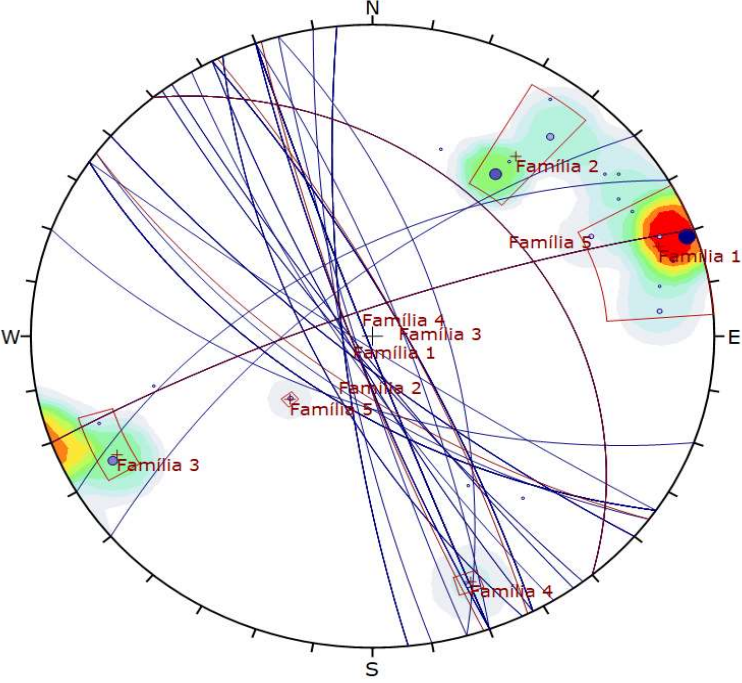
Ocorrências/Instabilidades observadas

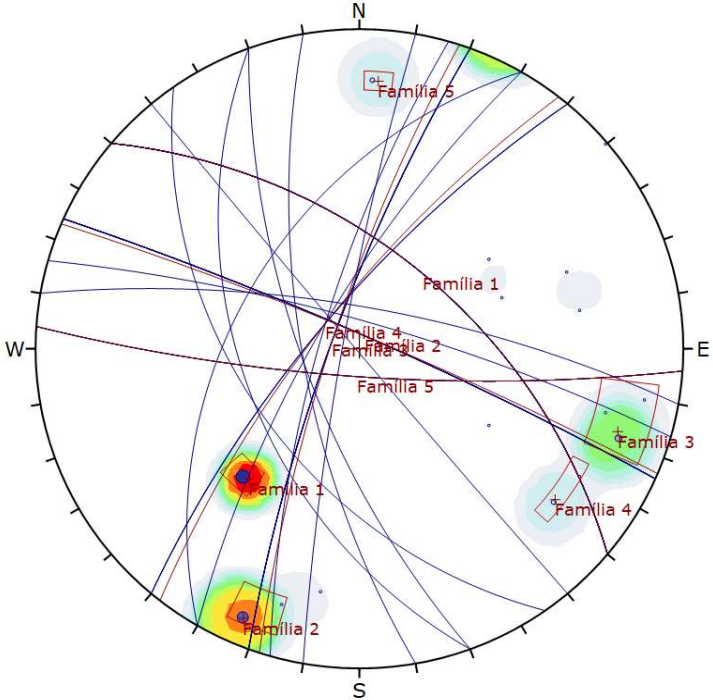
Classe	Situação	Repercussão	Observações
Escorrência de água	Quase todo o talude	Erosão regressiva; abertura de descontinuidades	Contribui para a diminuição da coesão dos materiais
Queda de blocos	Pontual	Blocos instáveis no talude	Originários da decompressão do material
Deslizamento de solo	Pontual	-	Acumulação de material na base
Descalçamento basal	Considerável	Instabilidade da base do talude	Ação das marés

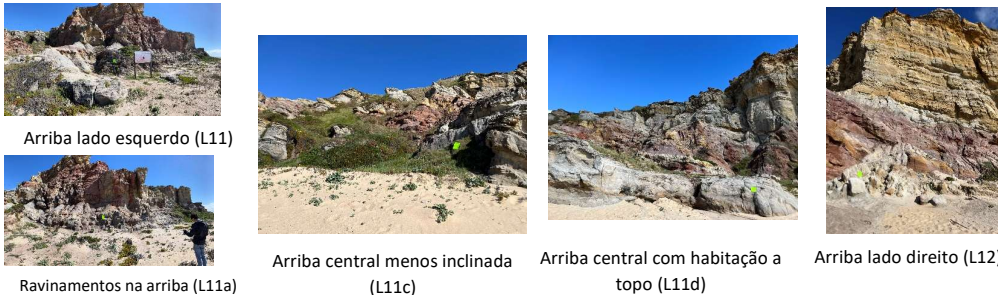
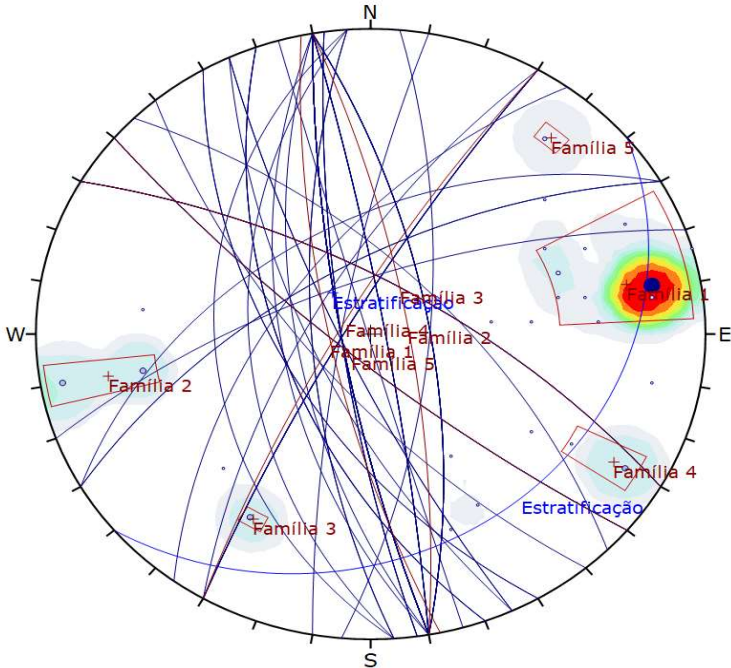
Observações

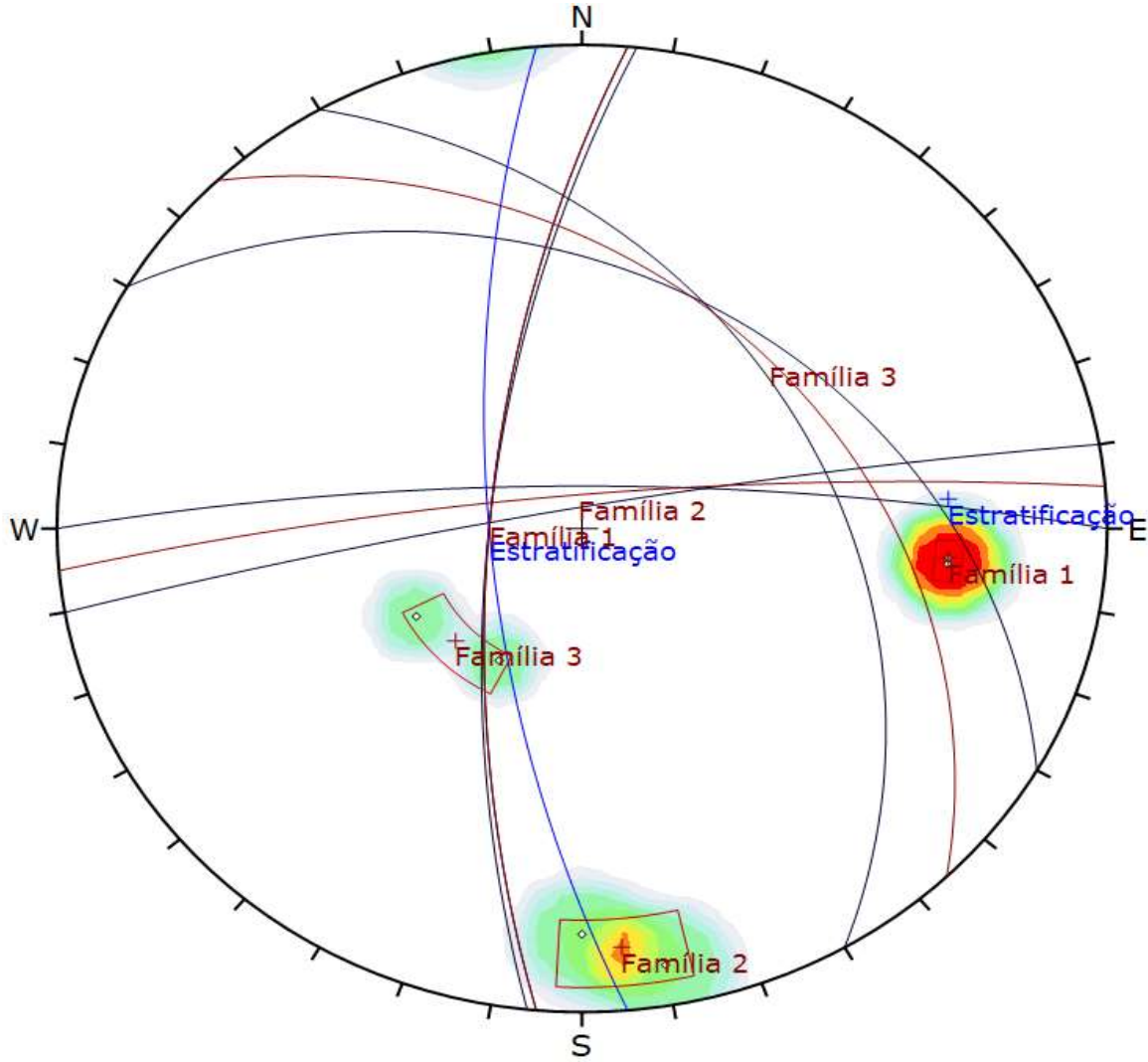
Vegetação	Alguma vegetação rasteira no patamar intermédio do talude e no material resultante de deslizamentos
Humidade	Alguma
Drenagem	Considerável escorrência pluvial
Ocupação	-

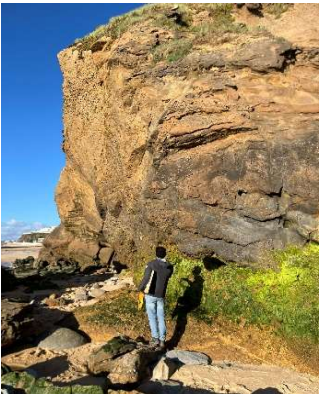
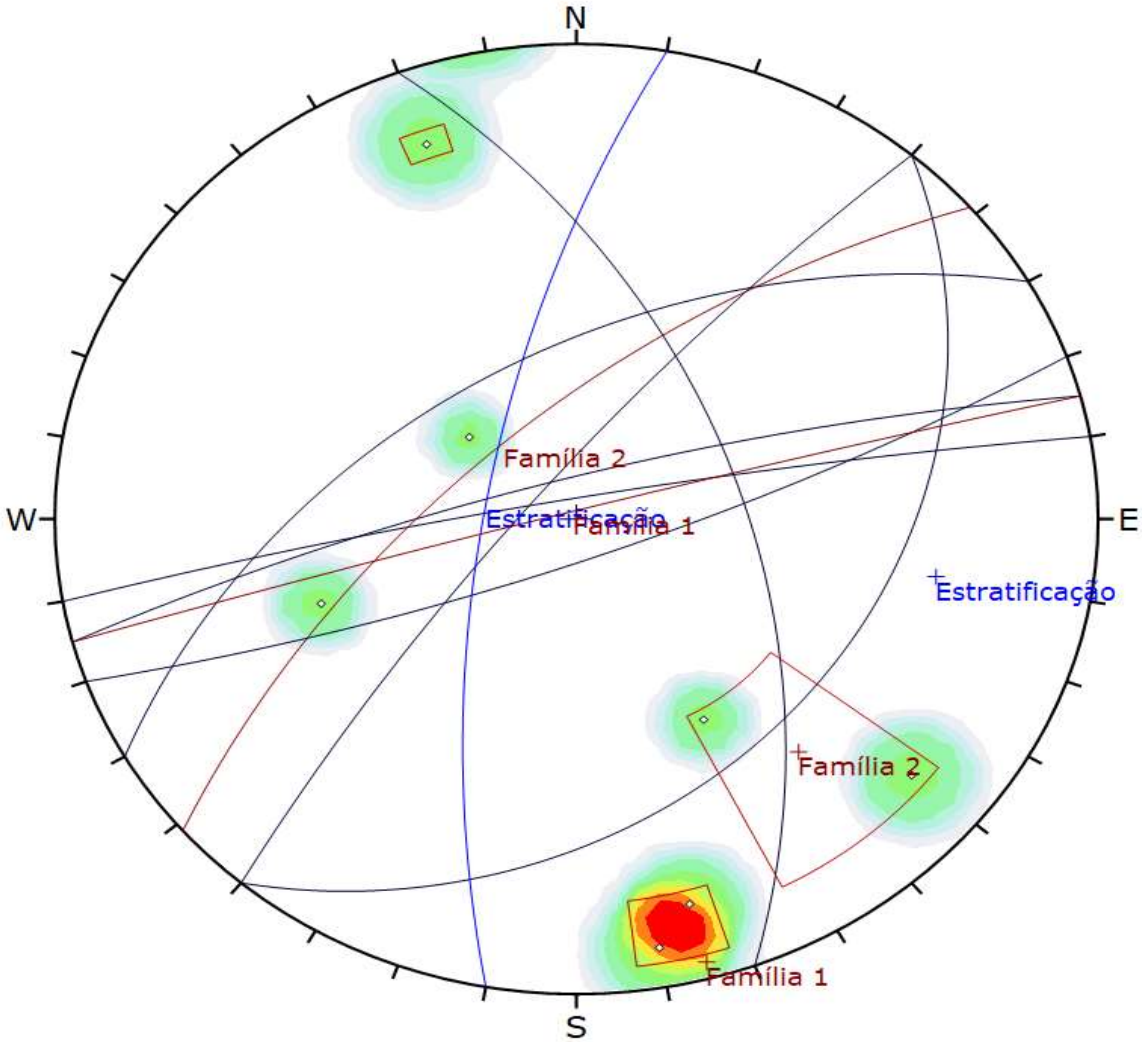
Projeção estereográfica:

		FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DE SUPERFÍCIE DE TALUDES										
Cliente:		Obra:		Ficha n.º: 3	Talude: L6-L7	Data: 30/04/2025	Elaborado por: Renato Rolo					
Coordenadas (ETRS89/PT-TM06)		M: -107107.138 P: -56978.742	Características Gerais		Altura (m): 17,5	Orientação: N50º	Inclinação (º): Vertical a 80ºNW	Comprimento (m): 72,5				
Enquadramento Geológico-Geotécnico												
Carta 30A- Lourinhã: Transição de grés, margas, argilas e conglomerados (Grés Superior) do Bombaral, constituída por sequências silicásticas continentais siltosas, areníticas e conglomeráticas, com arenitos argilosos e argilas com composição íltico-montmorilonítica, por vezes com concreções calcárias, para Siltes, argilas e grés finos a grosseiros de Almargem, constituído por depósitos exclusivamente argilo-gresosos do Barremiano superior-Aptiano, com dois membros, separados por uma crosta ferruginosa: um membro inferior constituído por grés grosseiro e conglomerados, cinzento-claro e branco, com calhaus achatados de quartzo e lidito, com cerca de 10m de espessura e um membro superior formado por argilas vermelhas, azuis e violáceas intercaladas por lenticulas finas de grés finos a grosseiros e conglomerados esbranquiçados a amarelados.												
Caracterização Geomecânica dos materiais				Descontinuidades								
Descrição:	Alteração (W)	Fracturação (F)	Resistência (R)	Tipo	Dir.(º)	Incl.(º)	Esp. (cm)	Cont. (m)	Abertura (cm)	Rugosid.	Preench.	Obs.
Depósitos sedimentares, com estratificação inclinada 20 a 30º para Este, constituída por arenitos finos a grosseiros a conglomerados, com clastos angulosos.	W1	F1	R6	Fratura	N161	83SW	20-200	2-10	0,1-5	R2-3	S/ a película dura	
	W2	F2	R5	Fratura	N126	71SW	20-200	5-10	0,1-2	R2-3	S/ a película dura	
	W3	F3	R4	Fratura	N153	80NE	6-200	2-10	0,1-2	R2-3	S/ Preench	
	W4	F4	R3	Fratura	N70	80NW	>200	5-10	Fechada	R2-3	S/ Preench	
	W5	F5	R2	Fratura	N140	35NE	20-60	5	Fechada	R2-3	Película dura	
	W6	F6	R1									
Registo Fotográfico:				Projeção estereográfica:								
												
Arriba lado esquerdo (L6) Arriba central (L6b) com escorrência e ravinamentos visíveis Arriba lado direito (L7)												
Ocorrências/Instabilidades observadas												
Classe	Situação	Repercussão	Observações									
Escorrência de água	Pontual	Erosão regressiva; abertura de descontinuidades	Contribui para a diminuição da coesão dos materiais									
Queda de blocos	Considerável	Blocos instáveis no talude	Originários da decompressão do material									
Deslizamento de solo	Pontual	-	Acumulação de material na base									
Descalçamento basal	Considerável	Instabilidade da base do talude	Ação das marés									
Observações												
Vegetação	Alguma vegetação rasteira a topo do talude											
Humidade	Alguma											
Drenagem	Escorrência pluvial											
Ocupação	-											

 SOLUÇÕES APLICADAS EM GEOLOGIA, HIDROGEOLOGIA E AMBIENTE, LDA.		FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DE SUPERFÍCIE DE TALUDES										
Cliente:		Obra:		Ficha n.º: 4	Talude: L9-L10	Data: 01/05/2025	Elaborado por: Renato Rolo					
Coordenadas (ETRS89/PT-TM06)		M: -107149.337 P: -57063.263	Características Gerais		Altura (m): 18	Orientação: N20º	Inclinação (º): Vertical a 50ºNW	Comprimento (m): 49.4				
Enquadramento Geológico-Geotécnico												
Carta 30A- Lourinhã: Siltes, argilas e grés finos a grosseiros de Almargem, constituído por depósitos exclusivamente argilo-gresosos do Barremiano superior-Aptiano, com dois membros, separados por uma crosta ferruginosa: um membro inferior constituído por grés grosseiro e conglomerados, cinzento-claro e branco, com calhaus achatados de quartzo e lidito, com cerca de 10m de espessura e um membro superior formado por argilas vermelhas, azuis e violáceas intercaladas por lenticulas finas de grés finos a grosseiros e conglomerados esbranquiçados a amarelados.												
Caracterização Geomecânica dos materiais				Descontinuidades								
Descrição:	Alteração (W)	Fracturação (F)	Resistência (R)	Tipo	Dir.(º)	Incl. (º)	Esp. (cm)	Cont. (m)	Abertura (cm)	Rugosid.	Preench.	Obs.
Depósitos sedimentares, com estratificação inclinada 20º para Este, constituída por arenitos de granulometria variável e conglomerados, com intercalações de níveis argilosos e, argilitos cinzentos	W1	F1	R6	Fratura	N130	56NE	20-60	5	0,1-2	R2-3	S/ Preench	
	W2	F2	R5	Fratura	N113	85NE	6-60	5-10	Fechada	R2-3	S/ Preench	
	W3	F3	R4	Fratura	N18	80W	6-200	1-10	0,1-0,3	R2-3	S/ Preench	
	W4	F4	R3	Fratura	N38	75NW	>200	5	Fechada	R2-3	S/ Preench	
	W5	F5	R2	Fratura	N94	80S	20-60	10	Fechada	R2-3	S/ Preench	
	W6	F6	R1									
Registo Fotográfico:				Projeção estereográfica:								
 Arriba lado esquerdo (L9)  Arriba lado direito (L10)												
Ocorrências/Instabilidades observadas												
Classe	Situação	Repercussão	Observações									
Escorrência de água (linha de água)	Pontual	Erosão regressiva; abertura de descontinuidades	Contribui para a diminuição da coesão dos materiais									
Deslizamento de solo	Pontual	Escorrência de material fino	Acumulação de material na base									
Descaimento basal	Parcial	Instabilidade da base do talude	Ação das marés									
Queda de blocos	Muito pontual	Blocos caídos na base	Originários da decompressão do material									
Observações												
Vegetação	Alguma vegetação rasteira a topo do talude											
Humidade	Pouca											
Drenagem	Escorrência pluvial											
Ocupação												

		FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DE SUPERFÍCIE DE TALUDES										
Cliente:		Obra:		Ficha n.º: 5	Talude: L11-L12	Data: 01/05/2025	Elaborado por: Renato Rolo					
Coordenadas (ETRS89/PT-TM06)		M: -107174.522 P: -57119.771	Características Gerais		Altura (m): 18,8 a 22	Orientação: N50º	Inclinação (º): Vertical a 35ºNW	Comprimento (m): 120				
Enquadramento Geológico-Geotécnico												
Carta 30A- Lourinhã: Siltes, argilas e grés finos a grosseiros de Almargem, constituído por depósitos exclusivamente argilo-gresosos do Barremiano superior-Aptiano, com dois membros, separados por uma crosta ferruginosa: um membro inferior constituído por grés grosseiro e conglomerados, cinzento-claro e branco, com calhaus achatados de quartzo e lidito, com cerca de 10m de espessura e um membro superior formado por argilas vermelhas, azuis e violáceas intercaladas por lenticulas finas de grés finos a grosseiros e conglomerados esbranquiçados a amarelados.												
Caracterização Geomecânica dos materiais				Descontinuidades								
Descrição:	Alteração (W)	Fracturação (F)	Resistência (R)	Tipo	Dir.(º)	Incl. (º)	Esp. (cm)	Cont. (m)	Abertura (cm)	Rugosid.	Preench.	Obs.
Depósitos sedimentares, com estratificação inclinada para Este, constituída por sedimentos silicálsticos, arenitos finos a grosseiros, a conglomerados finos, argilas, argilitos a siltitos.	W1	F1	R6	Fratura	N168	76SW	6-200	5-15	0,1-5	R2-3	S/ Preench	
	W2	F2	R5	Fratura	N170	77E	6-200	5-10	0,1-0,5	R2-3	S/ Preench	
	W3	F3	R4	Fratura	N120	70NE	60-200	10-15	Fechada	R2-3	S/ Preench	
	W4	F4	R3	Fratura	N30	80NW	>200	5	Fechada-0,2	R2-3	S/ Preench	
	W5	F5	R2	Fratura	N130	80SW	20-60	5	Fechada	R2-3	S/ Preench	
	W6	F6	R1									
Registo Fotográfico:				Projeção estereográfica:								
												
Ocorrências/Instabilidades observadas												
Classe	Situação	Repercussão	Observações									
Escorrência de água	Muito pontual	Erosão regressiva; abertura de descontinuidades	Contribui para a diminuição da coesão dos materiais									
Deslizamento de solo	Pontual	Escorrência de material fino	Acumulação de material na base									
Queda de blocos	Considerável	Blocos soltos no talude	Originários de fraturação vertical									
Ravinamentos	Pontual	Processo erosivo	Originário de escorrências									
Observações												
Vegetação	Alguma vegetação rasteira a topo do talude											
Humidade	Pouca											
Drenagem	Alguma escorrência pluvial											
Ocupação	Uma habitação a topo do talude											

 SOLUÇÕES APLICADAS EM GEOLOGIA, HIDROGEOLOGIA E AMBIENTE, LDA.	FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DE SUPERFÍCIE DE TALUDES											
	Cliente:	Obra:	Ficha n.º: 6	Talude: L2-L5	Data: 02/05/2025	Elaborado por: Renato Rolo						
Coordenadas (ETRS89/PT-TM06)	M: -108246.769	Características Gerais	Altura (m):	Orientação:	Inclinação (º):	Comprimento (m):						
	P: -58770.399		29	N40º	Vertical a 70º	55						
Enquadramento Geológico-Geotécnico												
Carta 30A- Lourinhã: Afloramento de grés, margas e arenitos da Praia da Amoreira e Porto Novo em contacto com com um afloramento de 40 m de arenitos conglomeráticos com clastos de granito, xisto e calcário, com uma sedimentação do tipo maciço em camadas paralelas com estratificação entrecruzada. Esta última unidade engloba-se na unidade da Praia da Amoreira e Porto Novo.												
Caracterização Geomecânica dos materiais				Descontinuidades								
Descrição:	Alteração (W)	Fracturação (F)	Resistência (R)	Tipo	Dir.(º)	Incl. (º)	Esp. (cm)	Cont. (m)	Abertura (cm)	Rugosid.	Preench.	Obs.
Arenitos conglomeráticos a conglomerados grosseiros, com seixos ligeiramente arredondados a topo da arriba, em contacto com alternâncias de unidades argilosas e arenosas a calcários margosos, com a formação de cristas mais resistentes. A inclinação da arriba é condicionada pela estratificação das margas.	W1	F1	R6	Fratura	N5	70W				R2-3	S/Preench	
	W2	F2	R5	Fratura	N84	82N				R2-3	S/Preench	
	W3	F3	R4	Fratura	N136	37NE				R2-3	S/Preench	
	W4	F4	R3									
	W5	F5	R2									
	W6	F6	R1									
Registo Fotográfico:				Projeção estereográfica:								
 Arriba lado direito (L2)  Fracturação nos conglomerados (L3)  Vista geral da arriba (L4)  Arriba lado esquerdo (L5)												
Ocorrências/Instabilidades observadas												
Classe	Situação	Repercussão	Observações									
Queda de blocos	Considerável	Blocos instáveis no talude e blocos caídos na base	Originários das cristas mais resistentes									
Descalçamento basal	Pontual	Instabilidade da base da arriba	Ação das marés									
Deslizamentos superficiais	Considerável	Acumulação de material na base	Material de diversos tamanhos									
Observações												
Vegetação	Alguma vegetação rasteira a topo e no material resultante dos deslizamentos											
Humidade	Nenhuma											
Drenagem	Nenhuma											
Ocupação	Miradouro a topo e escadarias na base da arriba; Arriba vedada											

 SOLUÇÕES APLICADAS EM GEOLOGIA, HIDROGEOLOGIA E AMBIENTE, LDA.	FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DE SUPERFÍCIE DE TALUDES											
	Cliente:	Obra:	Ficha n.º: 7	Talude: L6-L8	Data: 02/05/2025	Elaborado por: Renato Rolo						
Coordenadas (ETRS89/PT-TM06)	M: -108269.253	Características Gerais	Altura (m):	Orientação:	Inclinação (º):	Comprimento (m):						
	P: -58710.120		32	N30º	Vertical	25						
Enquadramento Geológico-Geotécnico												
Carta 30A- Lourinhã: Afloramento de grés, margas e arenitos da Praia da Amoreira e Porto Novo em contacto com com um afloramento de 40 m de arenitos conglomeráticos com clastos de granito, xisto e calcário, com uma sedimentação do tipo maciço em camadas paralelas com estratificação entrecruzada. Esta última unidade engloba-se na unidade da Praia da Amoreira e Porto Novo.												
Caracterização Geomecânica dos materiais				Descontinuidades								
Descrição:	Alteração (W)	Fracturação (F)	Resistência (R)	Tipo	Dir.(º)	Incl. (º)	Esp. (cm)	Cont. (m)	Abertura (cm)	Rugosid.	Preench.	Obs.
Arenitos conglomeráticos a conglomerados grosseiros, com seixos ligeiramente arredondados a topo da arriba, em contacto com alternâncias de unidades argilosas e arenosas a calcários margosos, com a formação de cristas mais resistentes. A inclinação do talude é condicionada pela estratificação das margas.	W1	F1	R6	Fratura	N75	88N				R2-3	S/Preench	
	W2	F2	R5	Fratura	N49	66NW				R2-3	S/Preench	
	W3	F3	R4									
	W4	F4	R3									
	W5	F5	R2									
	W6	F6	R1									
Registo Fotográfico:				Projeção estereográfica:								
 Arriba lado direito (L6)  Arriba central, com descalçamento basal (L9)  Arriba lado direito, com descalçamento basal (L8)												
Ocorrências/Instabilidades observadas												
Classe	Situação	Repercussão	Observações									
Queda de blocos	Considerável	Blocos instáveis no talude e blocos caídos na base	Originários das cristas mais resistentes e da descompressão do material									
Descalçamento basal	Considerável	Instabilidade da base da arriba	Ação das marés									
Observações												
Vegetação	Alguma vegetação rasteira a topo											
Humidade	Alguma											
Drenagem	Nenhuma											
Ocupação	Miradouro a topo											

FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DE SUPERFÍCIE DE TALUDES

Ciente: Obra: Ficha n.º: 8 Talude: L8-L10 Data: 02/05/2025 Elaborado por: Renato Rolo

Coordenadas (ETRS89/PT-TM06)

M: -108256.507

P: -58687.727

Características Gerais

Altura (m):

32

Orientação:

N134º

Inclinação (º):

Vertical

Comprimento (m):

65

Enquadramento Geológico-Geotécnico

Carta 30A- Lourinhã: Afloramento de 40 m de arenitos conglomeráticos com clastos de granito, xisto e calcário, com uma sedimentação do tipo maciço em camadas paralelas com estratificação entrecruzada da unidade da Praia da Amoreira e Porto Novo em contacto com os calcários e margas de Santa Cruz.

Caracterização Geomecânica dos materiais

Descrição:	Alteração (W)	Fracturação (F)	Resistência (R)
Arenitos conglomeráticos a conglomerados grosseiros, com seixos ligeiramente arredondados a topo da arriba, em contacto com calcários e margas. A inclinação do talude é condicionada pela estratificação dos calcários e das margas e pelo descalçamento basal.	W1	F1	R6
	W2	F2	R5
	W3	F3	R4
	W4	F4	R3
	W5	F5	R2
	W6	F6	R1

Descontinuidades

Tipo	Dir.(º)	Incl. (º)	Esp. (cm)	Cont. (m)	Abertura (cm)	Rugosid.	Preench.	Obs.
Fratura	N129	35NE				R2-3	S/Preench	
Fratura	N85	20S				R2-3	S/Preench	
Fratura	N171	59W				R2-3	S/Preench	
Fratura	N82	90S				R2-3	S/Preench	

Registo Fotográfico:



Arriba lado esquerdo (L10) com evidências de deslizamentos



Arriba central (L12) com evidências de deslizamentos e queda de blocos



Arriba lado direito (L12)

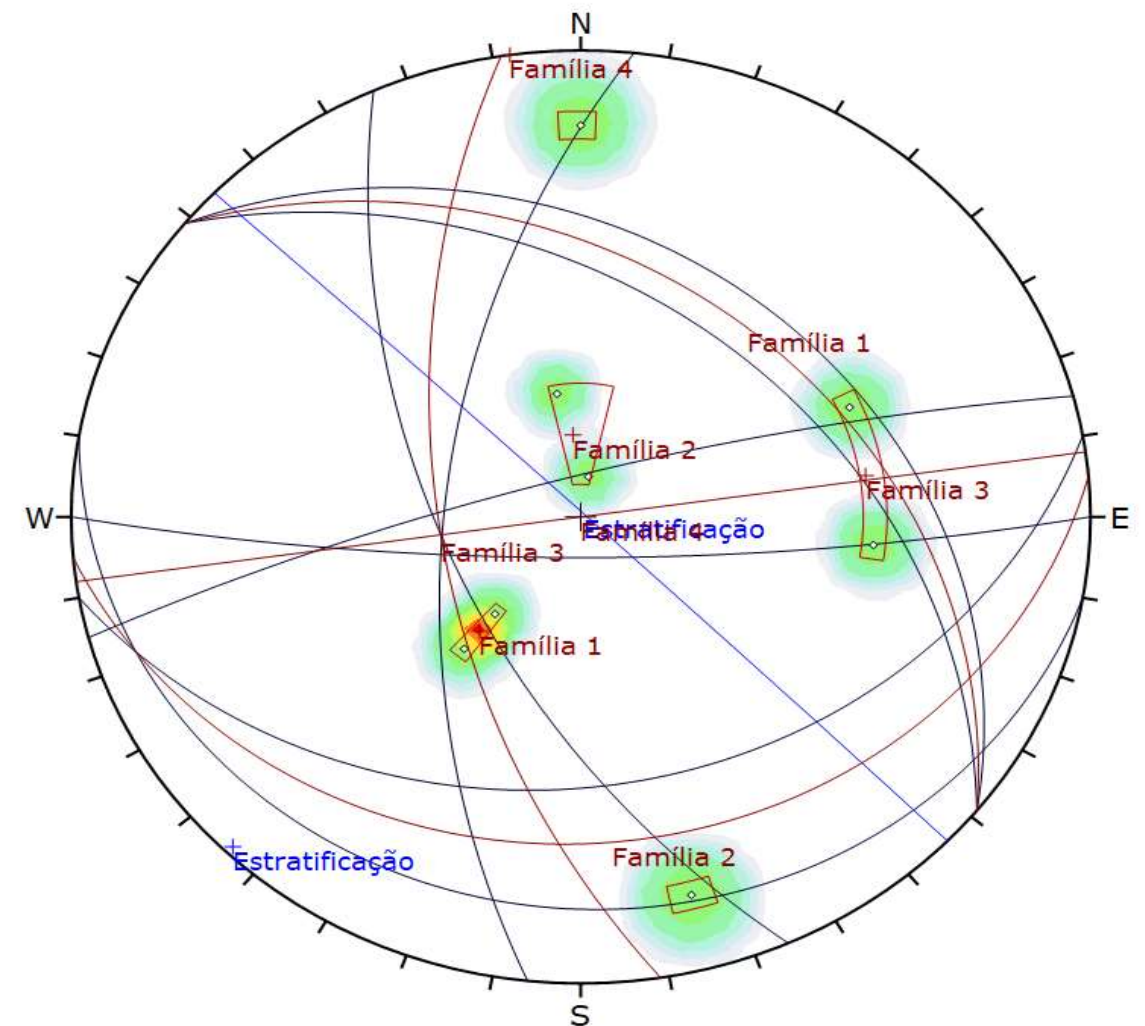
Ocorrências/Instabilidades observadas

Classe	Situação	Repercussão	Observações
Queda de blocos	Considerável	Blocos instáveis no talude e blocos caídos na base	Originários da decompressão do material e da estratificação das margas desfavorável
Descalçamento basal	Considerável	Instabilidade da base da arriba	Ação das marés
Deslizamentos	Considerável	Acumulação de material na base	Originário de ambas as litologias

Observações

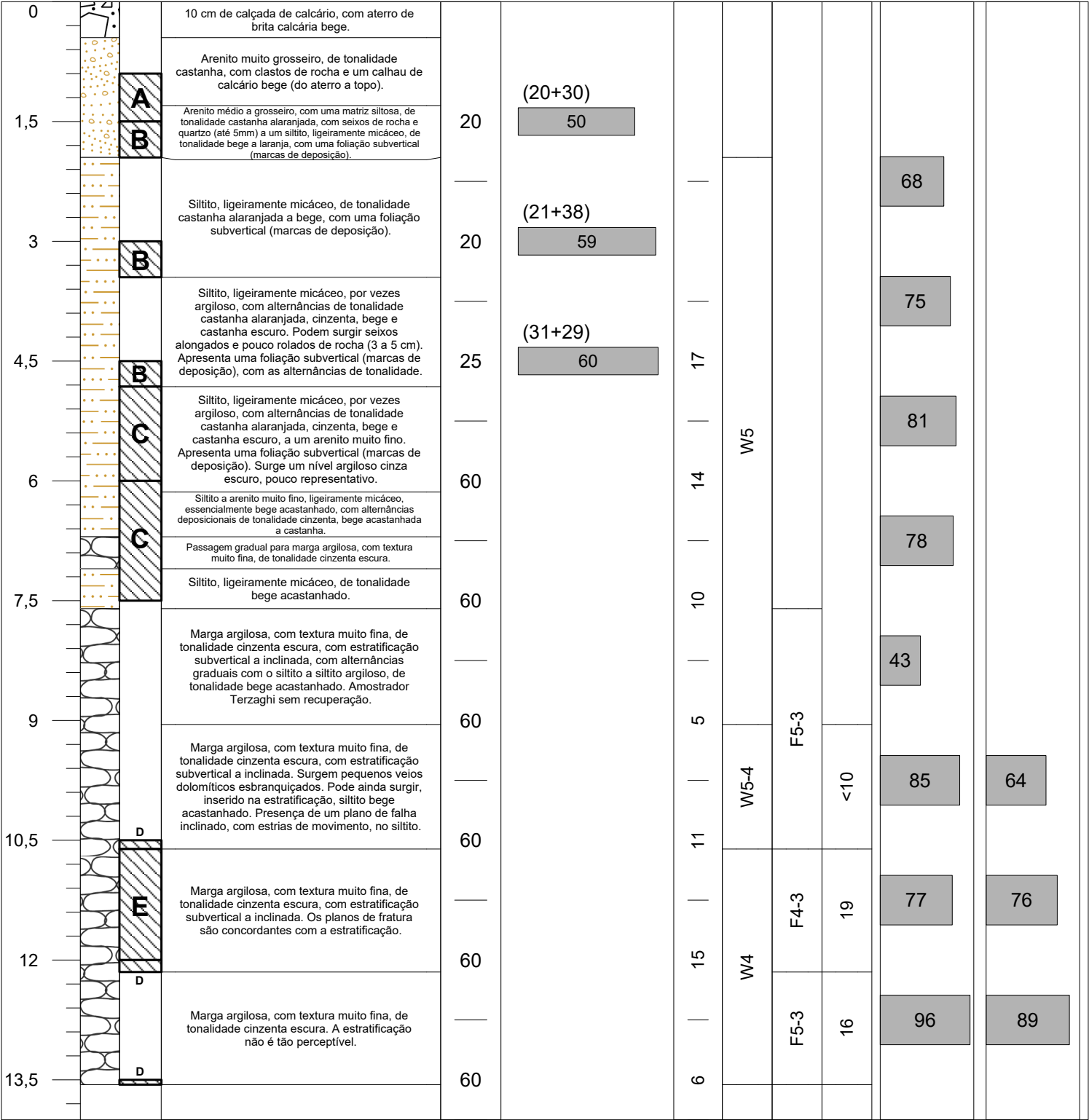
Vegetação	Alguma vegetação rasteira a topo e no material de escorrência
Humidade	Alguma
Drenagem	Nenhuma
Ocupação	Miradouro e muro a topo

Projeção estereográfica:



Anexo III - Boletins de sondagens mecânicas

Prof (m)	Litologia	Amostragem	Descrição litológica	1ª fase (SPT)	2ª e 3ª Fase (SPT)	Penetração (cm)	Alteração	Fracturação	Número de Schmidt	IR (%)	RQD (%)
					0 20 40 60					0 25 50 75 100	0 25 50 75 100



Método de furação: Furação com caroteiro tipo T2-76, com tubo de revestimento 77/84 mm de diâmetro para garantir estabilidade do furo e permitir a execução de ensaios SPT, recorrendo à utilização de água como fluido de circulação.			Profundidade (m): 34.59 m	
			Inclinação: Vertical	
			Cota (m): 32.514	
Profundidade do nível da água (m): ---	Data do ensaio: 18.03.2025 e 19.03.2025		Coordenadas (ETRS89/PT-TM06): M: -108237.507 P: -58723.520	
Equipa: Dmytro Kifyuk	Verificou: Renato Rolo e Jorge Oliveira		Folha:1/3	Escala: 1/100

Prof (m)	Litologia	Amostragem	Descrição litológica	1ª fase (SPT)	2ª e 3ª Fase (SPT)	Penetração (cm)	Alteração	Fracturação	Número de Schmidt	IR (%)	RQD (%)
					0 20 40 60					0 25 50 75 100	0 25 50 75 100
13,5											
15		D	Marga argilosa, com textura muito fina, de tonalidade cinzenta escura, com estratificação subvertical a inclinada.	60		9	W4	F4-3	13	98	97
16,5			Marga argilosa, com textura muito fina, de tonalidade cinzenta escura, com estratificação subvertical a inclinada. Surgem veios dolomíticos cristalinos brancos.	60		11			17	86	81
18				60		4	W4-3		16	97	87
19,5			Marga argilosa, com textura muito fina, de tonalidade cinzenta escura, com estratificação subvertical a inclinada.	60		4			22	89	61
21				60		4	W4		16	85	74
22,5				60		4		F5-3	10 a 17	97	68
24			Marga argilosa, com textura muito fina, de tonalidade cinzenta escura, com estratificação subvertical a inclinada. É visível por vezes, estratos com tom mais preto.	60		4	W4-3		15 a 20	89	60
25,5			Marga argilosa, com textura muito fina, de tonalidade cinzenta escura, com estratificação subvertical a inclinada. Fraturação surgem inclinada.	60		4	W4		13	100	63
27				60		4,5			15	87	70
28,5			Marga argilosa, com textura muito fina, de tonalidade cinzenta escura, com estratificação subvertical a inclinada. Bastante argilizada.	60		9	W5			93	
30				60		10			<10	90	26
31,5			Marga argilosa, com textura muito fina, de tonalidade cinzenta escura, com estratificação subvertical a inclinada. Bastante argilizada e fraturada. Os planos de fratura são concordantes com a estratificação.	60		8	W4-5	F5-4		74	
33				60		10				60	7
34,5				60		9			<10	100	49

Método de furação:
Furação com caroteiro tipo T2-76, com tubo de revestimento 77/84 mm de diâmetro para garantir estabilidade do furo e permitir a execução de ensaios SPT, recorrendo à utilização de água como fluido de circulação.

Profundidade (m): 34.59 m

Inclinação: Vertical

Cota (m): 32.514

Profundidade do nível da água (m): ---

Data do ensaio: 18.03.2025 e 19.03.2025

Coordenadas (ETRS89/PT-TM06):
M: -108237.507 P: -58723.520

Equipa: Dmytro Kifyuk

Verificou: Renato Rolo e Jorge Oliveira

Folha: 2/3

Escala:1/100

Caixa de sondagem S1



Método de furação:
Furação com caroteiro tipo T2-76, com tubo de revestimento 77/84 mm de diâmetro para garantir estabilidade do furo e permitir a execução de ensaios SPT, recorrendo à utilização de água como fluido de circulação.

Profundidade (m): 34.59 m

Inclinação: Vertical

Cota (m): 32.514

Profundidade do nível da água (m): ---

Data do ensaio: 18.03.2025 e 19.03.2025

Coordenadas (ETRS89/PT-TM06):
M: -108237.507 P: -58723.520

Equipa: Dmytro Kifyuk

Verificou: Renato Rolo e Jorge Oliveira

Folha: 3/3

Escala: 1/100

Prof (m)	Litologia	Amostragem	Descrição litológica	1ª fase (SPT)	2ª e 3ª Fase (SPT)	Penetração (cm)	Alteração	Fracturação	Número de Schmidt	IR (%)
				0 20 40 60					0 25 50 75 100	

[illegible]

Método de furação:
Furação com caroteiro tipo T2-76, com tubo de revestimento 77/84 mm de diâmetro para garantir estabilidade do furo e permitir a execução de ensaios SPT, recorrendo à utilização de água como fluido de circulação.

Profundidade (m): 22.63 m

Inclinação: Vertical

Cota (m): 24.313

Profundidade do nível da água (m): ---

Data do ensaio: 19.02.2025 a 20.02.2025

Coordenadas (ETRS89/PT-TM06):
M: -107120.607 P: -57103.718

Equipa: Dmytro Kifyuk

Verificou: Renato Rolo e Jorge Oliveira

Folha:1/2

Escala:1/100

Caixa de sondagem S8



Caixa nº1



Caixa nº2



Caixa nº3



Caixa nº4

Método de furação:
Furação com caroteiro tipo T2-76, com tubo de revestimento 77/84 mm de diâmetro para garantir estabilidade do furo e permitir a execução de ensaios SPT, recorrendo à utilização de água como fluido de circulação.

Profundidade do nível da água (m): ---

Data do ensaio: 19.02.2025 a 20.02.2025

Equipa: Dmytro Kifyuk

Verificou: Renato Rolo e Jorge Oliveira

Profundidade (m): 22.63 m

Inclinação: Vertical

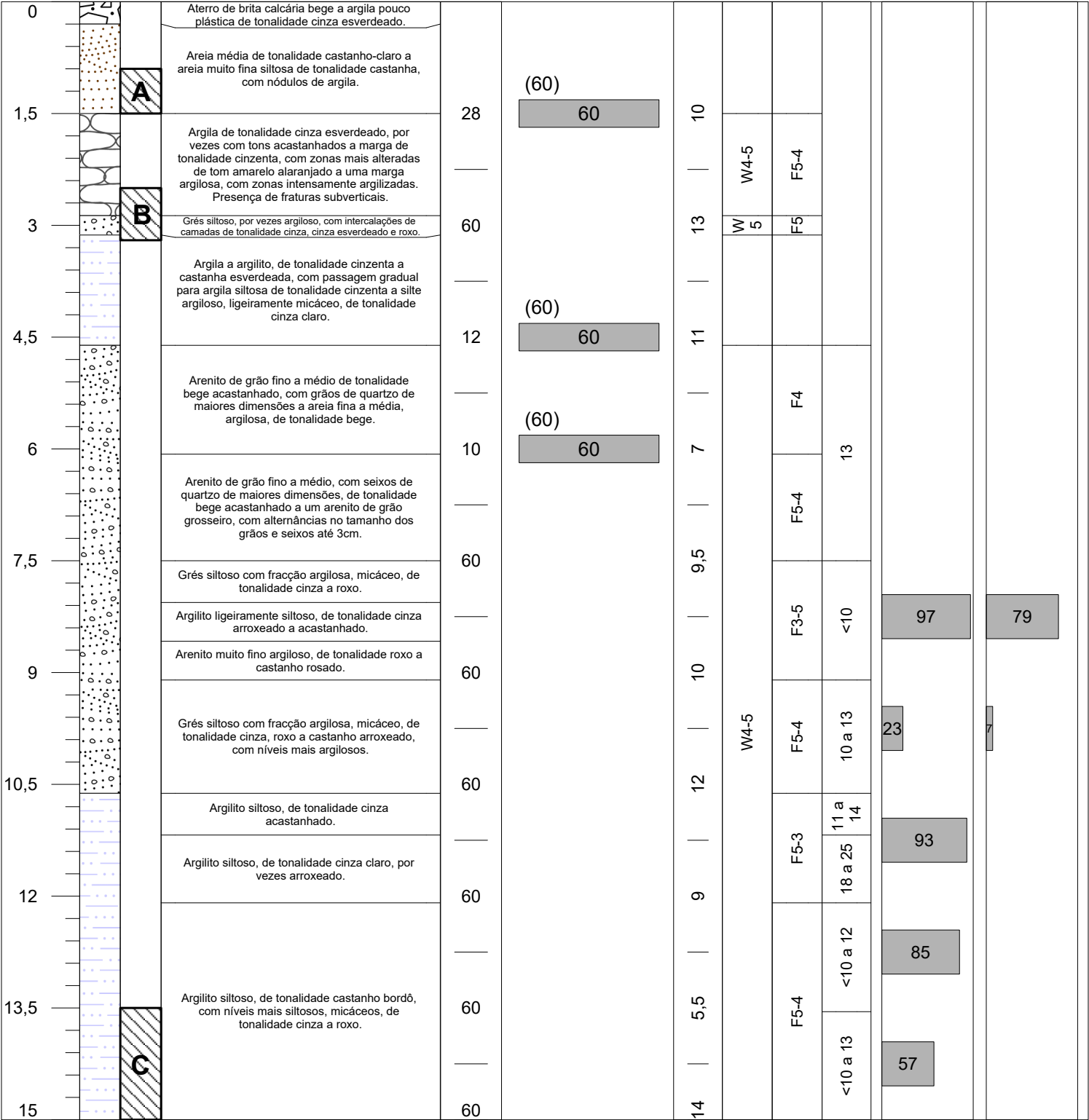
Cota (m): 24.313

Coordenadas (ETRS89/PT-TM06):
M: -107120.607 P: -57103.718

Folha: 2/2

Escala: 1/100

 SINERGEIO SOLUÇÕES APLICADAS EM GEOLOGIA, HIDROGEOLOGIA E AMBIENTE, LDA.				DIAGRAMA DE SONDAGEM À ROTAÇÃO E ENSAIOS SPT					SONDAGEM: S9		
				Obra:					Local: Amanhã/Vigia, Santa Cruz		
									Cliente:		
Prof (m)	Litologia	Amostragem	Descrição litológica	1ª fase (SPT)	2ª e 3ª Fase (SPT)	Penetração (cm)	Alteração	Fracturação	Número de Schmidt	IR (%)	RQD



Método de furação: Furação com caroteiro tipo T2-76, com tubo de revestimento 77/84 mm de diâmetro para garantir estabilidade do furo e permitir a execução de ensaios SPT, recorrendo à utilização de água como fluido de circulação.			Profundidade (m): 24.04 m	
			Inclinação: Vertical	
			Cota (m): 29.639	
Profundidade do nível da água (m): ---	Data do ensaio: 17.02.2025 a 18.02.2025		Coordenadas (ETRS89/PT-TM06): M: -107054.045 P: -56868.804	
Equipa: Dmytro Kifyuk	Verificou: Renato Rolo e Jorge Oliveira		Folha:1/3	Escala:1/100

 SINERGEIO SOLUÇÕES APLICADAS EM GEOLOGIA, HIDROGEOLOGIA E AMBIENTE, LDA.			DIAGRAMA DE SONDAGEM À ROTAÇÃO E ENSAIOS SPT					SONDAGEM: S9						
					Obra:					Local: Amanhã/Vigia, Santa Cruz				
										Cliente:				
Prof (m)	Litologia	Amostragem	Descrição litológica	1ª fase (SPT)	2ª e 3ª Fase (SPT)	Penetração (cm)	Alteração	Fracturação	Número de Schmidt	IR (%)	RQD (%)			
					0 20 40 60					0 25 50 75 100	0 25 50 75 100			
15			Grés siltoso com fracção argilosa, de tonalidade castanho a cinza arroxeadado a um arenito fino a médio de tonalidade castanho rosado, com intercalações argilosas castanhas, a um arenito muito fino, com fracção argilosa, de tonalidade cinza claro.	60		13		F5-4	10 a 15	57	8			
6,5			Arenito fino a médio grosseiro, de tonalidade cinza claro, por vezes amarelado. São evidentes alternâncias de granulométricas. Por vezes sruge mais argilizado.	60		9	W4-5	F5-3	10 a 21	70	32			
18			Arenito médio, de tonalidade cinzenta, com matriz ligeiramente argilosa esbranquiçada.	60		5		F5-4	<10 a 12	55				
9,5			Amostrador Terzaghi sem recuperação, inferido como arenito.	60										
21			Arenito fino a grosseiro, de tonalidade cinzenta, com matriz ligeiramente argilosa esbranquiçada, pontualmente com seixos de maior dimensão (2cm).	60		10	W4-5	F5-3	17 a 25	80	43			
22,5			Arenito fino a médio, de tonalidade cinza claro, com seixos de calcário cinzento (2cm) a arenito médio a grosseiro, de tonalidade cinzenta escuro, com matriz argilosa e seixos de quartzo de maiores dimensões (3cm), pouco rolados.	60		8				76				
			Sem recuperação na manobra, inferido como arenito.											
24			Arenito médio a grosseiro, de tonalidade cinzenta.	60		4								
Método de furação: Furação com caroteiro tipo T2-76, com tubo de revestimento 77/84 mm de diâmetro para garantir estabilidade do furo e permitir a execução de ensaios SPT, recorrendo à utilização de água como fluido de circulação.												Profundidade (m): 24.04 m		
												Inclinação: Vertical		
												Cota (m): 29.639		
Profundidade do nível da água (m): ---				Data do ensaio: 17.02.2025 a 18.02.2025				Coordenadas (ETRS89/PT-TM06): M: -107054.045 P: -56868.804						
Equipa: Dmytro Kifyuk				Verificou: Renato Rolo e Jorge Oliveira				Folha:2/3		Escala:1/100				

Caixa de sondagem S9



Caixa nº1



Caixa nº2



Caixa nº3



Caixa nº4



Caixa nº5



Caixa nº6

Método de furação:
Furação com caroteiro tipo T2-76, com tubo de revestimento 77/84 mm de diâmetro para garantir estabilidade do furo e permitir a execução de ensaios SPT, recorrendo à utilização de água como fluido de circulação.

Profundidade do nível da água (m): ---

Data do ensaio: 17.02.2025 a 18.02.2025

Equipa: Dmytro Kifyuk

Verificou: Renato Rolo e Jorge Oliveira

Profundidade (m): 24.04 m

Inclinação: Vertical

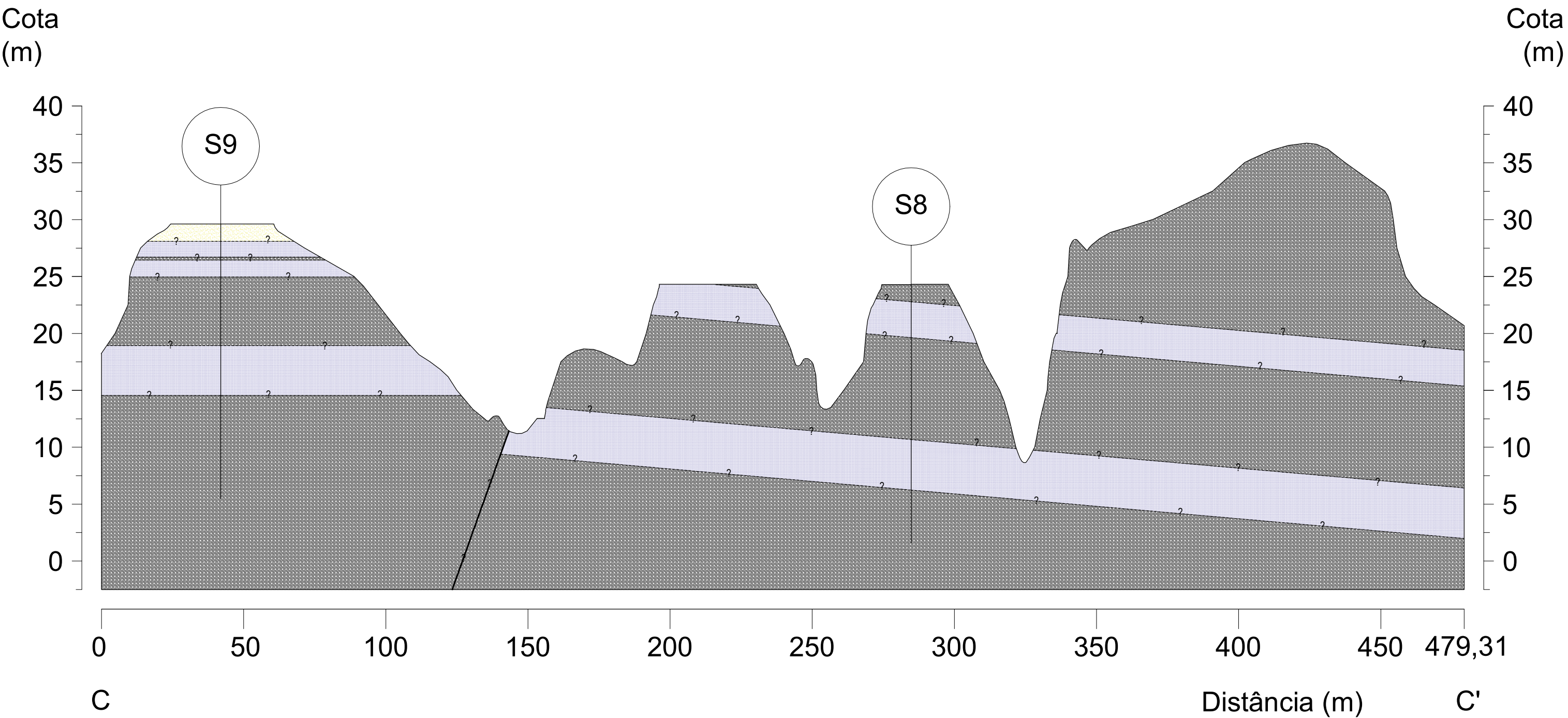
Cota (m): 29.639

Coordenadas (ETRS89/PT-TM06):
M: -107054.045 P: -56868.804

Folha: 3/3

Escala: 1/100

Anexo IV - Perfil geológico-geotécnico (Amanhã/Vigia)



ZONAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

- Areia** Areia média a areia muito fina siltosa, com nódulos de argila: $N_{SPT} \geq 60$
- Grés/Arenito** Grés siltoso com fração argilosa a arenitos muito finos e finos a grosseiros, com matriz argilosa. Podem surgir intercalações argilosas: $N_{SPT} \geq 60$
- Argila** Argilitos com intercalações de grés fino a grosseiro, com níveis argilosos e fração grosseira de quartzo, a argilitos com fração muito grosseira e também siltosa: $N_{SPT} \geq 60$

LEGENDA

- Limite geológico - geotécnico interpretativo
- Falha provável
- ▽ Nível piezométrico detetado
- ▼ Nível piezométrico estabilizado
- S... Sondagem à rotação com a realização de ensaios SPT

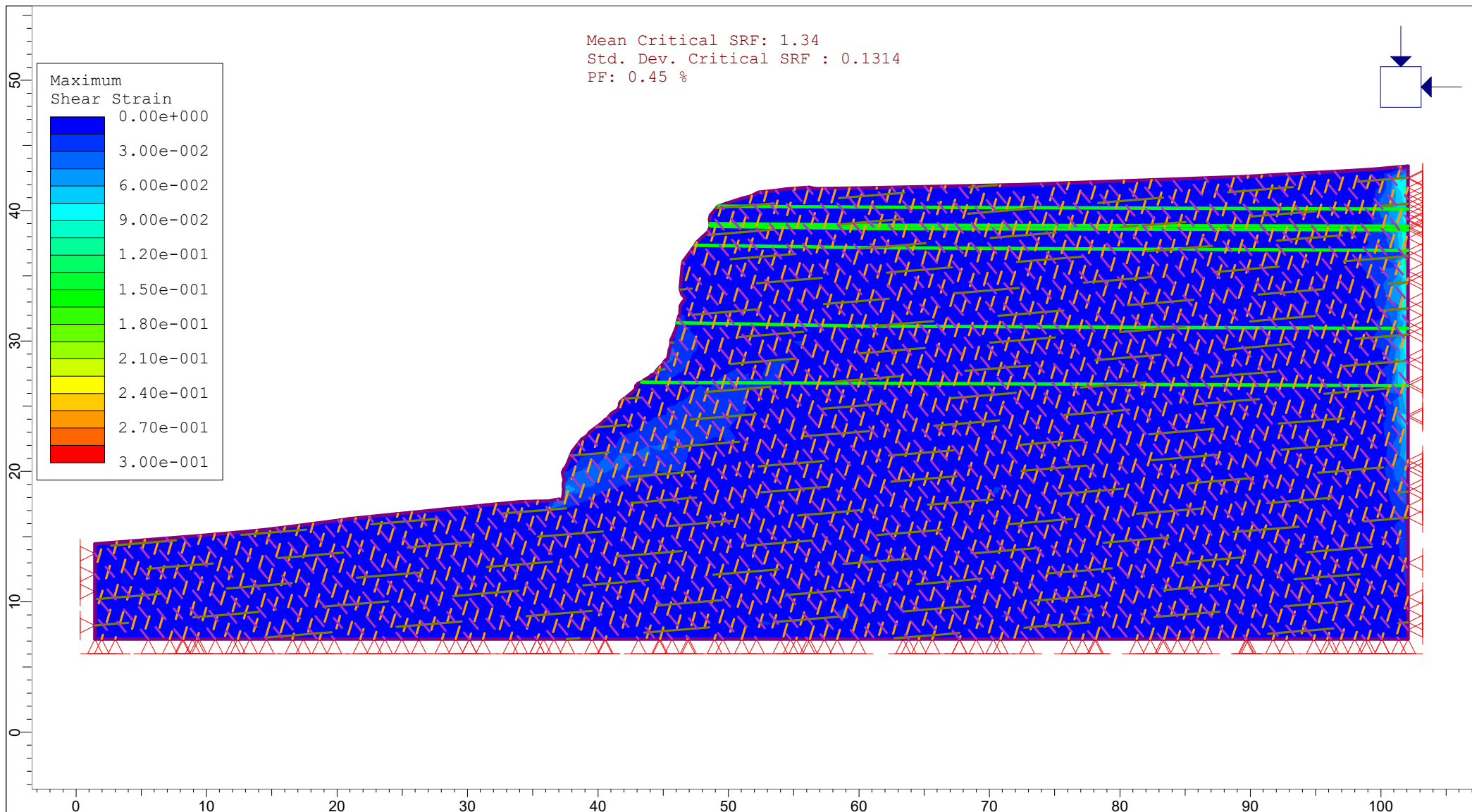


CLIENTE:

PERFIS GEOLÓGICOS - GEOTECNICOS INTERPRETATIVOS

Desenho: 1 Folha: A3 Data: 12/05/2025 Elaborado por: Renato Rolo

Anexo V - Resultados da modelação probabilística de rotura



INTERPRET 8.024

Project			
Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhr/Vigia			
Analysis Description			
Drawn By	Renato Rolo	Scale	1:408
Date	21/08/2025, 09:36:58	Company	
		File Name	Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez

Phase2 Analysis Information

Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhã/Vigia

Project Summary

File Name: Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez
Last saved with Phase2 version: 8.024
Project Title: Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhã/Vigia
Author: Renato Rolo
Company:

General Settings

Single stage model
Analysis Type: Plane Strain
Solver Type: Gaussian Elimination
Units: Metric, stress as kPa

Analysis Options

Maximum Number of Iterations: 50
Tolerance: 0.001
Number of Load Steps: Automatic
Convergence Type: Absolute Energy
Tensile Failure: Reduces Shear Strength
Joint tension reduces joint stiffness by a factor of 0.01

Strength Reduction Settings

Initial Estimate of SRF: 1
Step Size: Automatic
Tolerance (SRF): 0.01
Limit SSR Search Area: No
Apply SSR to Mohr-Coulomb Tensile Strength: Yes
Convergence Parameters: Automatic

Groundwater Analysis

Method: Piezometric Lines
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3

Probability Analysis

Analysis Type: Point Estimate Method
Number of Statistical Variables Used: 9
Number of Component Files: 512

Statistical Variables

Number of Statistical Variables Used: 9

--

	Project				
	Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhr/Vigia				
	Analysis Description				
	Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company	
INTERPRET 8.024	Date	21/08/2025, 09:36:58		File Name	Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez

Variable Type	Material/Joint Name	Property Type	Mean	Standard Deviation
Material Property	Areia	Young's Modulus	20000	10000
Material Property	Areia	Friction Angle (peak)	14.4	0.6
Material Property	Areia	Cohesion (peak)	39	19
Material Property	Argila	Young's Modulus	50000	20000
Material Property	Argila	Friction Angle (peak)	17.5	2.5
Material Property	Argila	Cohesion (peak)	75	15
Material Property	Grés/Arenito	Young's Modulus	51400	15800
Material Property	Grés/Arenito	Friction Angle (peak)	31.5	3.5
Material Property	Grés/Arenito	Cohesion (peak)	62.5	12.5

Statistical Component Files

Number of Component Files: 512

File #	Areia, Young's Modulus	Areia, Friction Angle (peak)	Areia, Cohesion (peak)	Argila, Young's Modulus	Argila, Friction Angle (peak)	Argila, Cohesion (peak)	Grés/Arenito, Young's Modulus	Grés/Arenito, Friction Angle (peak)	Grés/Arenito, Cohesion (peak)
1	30000	15	58	70000	20	90	67200	35	75
2	10000	15	58	70000	20	90	67200	35	75
3	30000	13.8	58	70000	20	90	67200	35	75
4	10000	13.8	58	70000	20	90	67200	35	75
5	30000	15	20	70000	20	90	67200	35	75
6	10000	15	20	70000	20	90	67200	35	75
7	30000	13.8	20	70000	20	90	67200	35	75
8	10000	13.8	20	70000	20	90	67200	35	75
9	30000	15	58	30000	20	90	67200	35	75
10	10000	15	58	30000	20	90	67200	35	75
11	30000	13.8	58	30000	20	90	67200	35	75
12	10000	13.8	58	30000	20	90	67200	35	75
13	30000	15	20	30000	20	90	67200	35	75
14	10000	15	20	30000	20	90	67200	35	75
15	30000	13.8	20	30000	20	90	67200	35	75
16	10000	13.8	20	30000	20	90	67200	35	75
17	30000	15	58	70000	15	90	67200	35	75
18	10000	15	58	70000	15	90	67200	35	75
19	30000	13.8	58	70000	15	90	67200	35	75
20	10000	13.8	58	70000	15	90	67200	35	75
21	30000	15	20	70000	15	90	67200	35	75
22	10000	15	20	70000	15	90	67200	35	75
23	30000	13.8	20	70000	15	90	67200	35	75
24	10000	13.8	20	70000	15	90	67200	35	75
25	30000	15	58	30000	15	90	67200	35	75
26	10000	15	58	30000	15	90	67200	35	75
27	30000	13.8	58	30000	15	90	67200	35	75
28	10000	13.8	58	30000	15	90	67200	35	75
29	30000	15	20	30000	15	90	67200	35	75
30	10000	15	20	30000	15	90	67200	35	75
31	30000	13.8	20	30000	15	90	67200	35	75
32	10000	13.8	20	30000	15	90	67200	35	75
33	30000	15	58	70000	20	60	67200	35	75
34	10000	15	58	70000	20	60	67200	35	75
35	30000	13.8	58	70000	20	60	67200	35	75
36	10000	13.8	58	70000	20	60	67200	35	75
37	30000	15	20	70000	20	60	67200	35	75
38	10000	15	20	70000	20	60	67200	35	75
39	30000	13.8	20	70000	20	60	67200	35	75
40	10000	13.8	20	70000	20	60	67200	35	75
41	30000	15	58	30000	20	60	67200	35	75
42	10000	15	58	30000	20	60	67200	35	75
43	30000	13.8	58	30000	20	60	67200	35	75
44	10000	13.8	58	30000	20	60	67200	35	75
45	30000	15	20	30000	20	60	67200	35	75
46	10000	15	20	30000	20	60	67200	35	75
47	30000	13.8	20	30000	20	60	67200	35	75

 INTERPRET 8.024	<i>Project</i> Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhr/Vigia		
	<i>Analysis Description</i>		
	<i>Drawn By</i> Renato Rolo	<i>Scale</i>	<i>Company</i>
	<i>Date</i> 21/08/2025, 09:36:58	<i>File Name</i> Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez	

48	10000	13.8	20	30000	20	60	67200	35	75
49	30000	15	58	70000	15	60	67200	35	75
50	10000	15	58	70000	15	60	67200	35	75
51	30000	13.8	58	70000	15	60	67200	35	75
52	10000	13.8	58	70000	15	60	67200	35	75
53	30000	15	20	70000	15	60	67200	35	75
54	10000	15	20	70000	15	60	67200	35	75
55	30000	13.8	20	70000	15	60	67200	35	75
56	10000	13.8	20	70000	15	60	67200	35	75
57	30000	15	58	30000	15	60	67200	35	75
58	10000	15	58	30000	15	60	67200	35	75
59	30000	13.8	58	30000	15	60	67200	35	75
60	10000	13.8	58	30000	15	60	67200	35	75
61	30000	15	20	30000	15	60	67200	35	75
62	10000	15	20	30000	15	60	67200	35	75
63	30000	13.8	20	30000	15	60	67200	35	75
64	10000	13.8	20	30000	15	60	67200	35	75
65	30000	15	58	70000	20	90	35600	35	75
66	10000	15	58	70000	20	90	35600	35	75
67	30000	13.8	58	70000	20	90	35600	35	75
68	10000	13.8	58	70000	20	90	35600	35	75
69	30000	15	20	70000	20	90	35600	35	75
70	10000	15	20	70000	20	90	35600	35	75
71	30000	13.8	20	70000	20	90	35600	35	75
72	10000	13.8	20	70000	20	90	35600	35	75
73	30000	15	58	30000	20	90	35600	35	75
74	10000	15	58	30000	20	90	35600	35	75
75	30000	13.8	58	30000	20	90	35600	35	75
76	10000	13.8	58	30000	20	90	35600	35	75
77	30000	15	20	30000	20	90	35600	35	75
78	10000	15	20	30000	20	90	35600	35	75
79	30000	13.8	20	30000	20	90	35600	35	75
80	10000	13.8	20	30000	20	90	35600	35	75
81	30000	15	58	70000	15	90	35600	35	75
82	10000	15	58	70000	15	90	35600	35	75
83	30000	13.8	58	70000	15	90	35600	35	75
84	10000	13.8	58	70000	15	90	35600	35	75
85	30000	15	20	70000	15	90	35600	35	75
86	10000	15	20	70000	15	90	35600	35	75
87	30000	13.8	20	70000	15	90	35600	35	75
88	10000	13.8	20	70000	15	90	35600	35	75
89	30000	15	58	30000	15	90	35600	35	75
90	10000	15	58	30000	15	90	35600	35	75
91	30000	13.8	58	30000	15	90	35600	35	75
92	10000	13.8	58	30000	15	90	35600	35	75
93	30000	15	20	30000	15	90	35600	35	75
94	10000	15	20	30000	15	90	35600	35	75
95	30000	13.8	20	30000	15	90	35600	35	75
96	10000	13.8	20	30000	15	90	35600	35	75
97	30000	15	58	70000	20	60	35600	35	75
98	10000	15	58	70000	20	60	35600	35	75
99	30000	13.8	58	70000	20	60	35600	35	75
100	10000	13.8	58	70000	20	60	35600	35	75
101	30000	15	20	70000	20	60	35600	35	75
102	10000	15	20	70000	20	60	35600	35	75
103	30000	13.8	20	70000	20	60	35600	35	75
104	10000	13.8	20	70000	20	60	35600	35	75
105	30000	15	58	30000	20	60	35600	35	75
106	10000	15	58	30000	20	60	35600	35	75
107	30000	13.8	58	30000	20	60	35600	35	75
108	10000	13.8	58	30000	20	60	35600	35	75
109	30000	15	20	30000	20	60	35600	35	75
110	10000	15	20	30000	20	60	35600	35	75
111	30000	13.8	20	30000	20	60	35600	35	75
112	10000	13.8	20	30000	20	60	35600	35	75
113	30000	15	58	70000	15	60	35600	35	75
114	10000	15	58	70000	15	60	35600	35	75

	Project				
	Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhr/Vigia				
	Analysis Description				
	Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company	
INTERPRET 8.024	Date	21/08/2025, 09:36:58		File Name	Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez

115	30000	13.8	58	70000	15	60	35600	35	75
116	10000	13.8	58	70000	15	60	35600	35	75
117	30000	15	20	70000	15	60	35600	35	75
118	10000	15	20	70000	15	60	35600	35	75
119	30000	13.8	20	70000	15	60	35600	35	75
120	10000	13.8	20	70000	15	60	35600	35	75
121	30000	15	58	30000	15	60	35600	35	75
122	10000	15	58	30000	15	60	35600	35	75
123	30000	13.8	58	30000	15	60	35600	35	75
124	10000	13.8	58	30000	15	60	35600	35	75
125	30000	15	20	30000	15	60	35600	35	75
126	10000	15	20	30000	15	60	35600	35	75
127	30000	13.8	20	30000	15	60	35600	35	75
128	10000	13.8	20	30000	15	60	35600	35	75
129	30000	15	58	70000	20	90	67200	28	75
130	10000	15	58	70000	20	90	67200	28	75
131	30000	13.8	58	70000	20	90	67200	28	75
132	10000	13.8	58	70000	20	90	67200	28	75
133	30000	15	20	70000	20	90	67200	28	75
134	10000	15	20	70000	20	90	67200	28	75
135	30000	13.8	20	70000	20	90	67200	28	75
136	10000	13.8	20	70000	20	90	67200	28	75
137	30000	15	58	30000	20	90	67200	28	75
138	10000	15	58	30000	20	90	67200	28	75
139	30000	13.8	58	30000	20	90	67200	28	75
140	10000	13.8	58	30000	20	90	67200	28	75
141	30000	15	20	30000	20	90	67200	28	75
142	10000	15	20	30000	20	90	67200	28	75
143	30000	13.8	20	30000	20	90	67200	28	75
144	10000	13.8	20	30000	20	90	67200	28	75
145	30000	15	58	70000	15	90	67200	28	75
146	10000	15	58	70000	15	90	67200	28	75
147	30000	13.8	58	70000	15	90	67200	28	75
148	10000	13.8	58	70000	15	90	67200	28	75
149	30000	15	20	70000	15	90	67200	28	75
150	10000	15	20	70000	15	90	67200	28	75
151	30000	13.8	20	70000	15	90	67200	28	75
152	10000	13.8	20	70000	15	90	67200	28	75
153	30000	15	58	30000	15	90	67200	28	75
154	10000	15	58	30000	15	90	67200	28	75
155	30000	13.8	58	30000	15	90	67200	28	75
156	10000	13.8	58	30000	15	90	67200	28	75
157	30000	15	20	30000	15	90	67200	28	75
158	10000	15	20	30000	15	90	67200	28	75
159	30000	13.8	20	30000	15	90	67200	28	75
160	10000	13.8	20	30000	15	90	67200	28	75
161	30000	15	58	70000	20	60	67200	28	75
162	10000	15	58	70000	20	60	67200	28	75
163	30000	13.8	58	70000	20	60	67200	28	75
164	10000	13.8	58	70000	20	60	67200	28	75
165	30000	15	20	70000	20	60	67200	28	75
166	10000	15	20	70000	20	60	67200	28	75
167	30000	13.8	20	70000	20	60	67200	28	75
168	10000	13.8	20	70000	20	60	67200	28	75
169	30000	15	58	30000	20	60	67200	28	75
170	10000	15	58	30000	20	60	67200	28	75
171	30000	13.8	58	30000	20	60	67200	28	75
172	10000	13.8	58	30000	20	60	67200	28	75
173	30000	15	20	30000	20	60	67200	28	75
174	10000	15	20	30000	20	60	67200	28	75
175	30000	13.8	20	30000	20	60	67200	28	75
176	10000	13.8	20	30000	20	60	67200	28	75
177	30000	15	58	70000	15	60	67200	28	75
178	10000	15	58	70000	15	60	67200	28	75
179	30000	13.8	58	70000	15	60	67200	28	75
180	10000	13.8	58	70000	15	60	67200	28	75
181	30000	15	20	70000	15	60	67200	28	75

 INTERPRET 8.024	<i>Project</i> Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhr/Vigia				
	<i>Analysis Description</i>				
	<i>Drawn By</i>	Renato Rolo	<i>Scale</i>	<i>Company</i>	
	<i>Date</i>	21/08/2025, 09:36:58		<i>File Name</i>	Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez

182	10000	15	20	70000	15	60	67200	28	75
183	30000	13.8	20	70000	15	60	67200	28	75
184	10000	13.8	20	70000	15	60	67200	28	75
185	30000	15	58	30000	15	60	67200	28	75
186	10000	15	58	30000	15	60	67200	28	75
187	30000	13.8	58	30000	15	60	67200	28	75
188	10000	13.8	58	30000	15	60	67200	28	75
189	30000	15	20	30000	15	60	67200	28	75
190	10000	15	20	30000	15	60	67200	28	75
191	30000	13.8	20	30000	15	60	67200	28	75
192	10000	13.8	20	30000	15	60	67200	28	75
193	30000	15	58	70000	20	90	35600	28	75
194	10000	15	58	70000	20	90	35600	28	75
195	30000	13.8	58	70000	20	90	35600	28	75
196	10000	13.8	58	70000	20	90	35600	28	75
197	30000	15	20	70000	20	90	35600	28	75
198	10000	15	20	70000	20	90	35600	28	75
199	30000	13.8	20	70000	20	90	35600	28	75
200	10000	13.8	20	70000	20	90	35600	28	75
201	30000	15	58	30000	20	90	35600	28	75
202	10000	15	58	30000	20	90	35600	28	75
203	30000	13.8	58	30000	20	90	35600	28	75
204	10000	13.8	58	30000	20	90	35600	28	75
205	30000	15	20	30000	20	90	35600	28	75
206	10000	15	20	30000	20	90	35600	28	75
207	30000	13.8	20	30000	20	90	35600	28	75
208	10000	13.8	20	30000	20	90	35600	28	75
209	30000	15	58	70000	15	90	35600	28	75
210	10000	15	58	70000	15	90	35600	28	75
211	30000	13.8	58	70000	15	90	35600	28	75
212	10000	13.8	58	70000	15	90	35600	28	75
213	30000	15	20	70000	15	90	35600	28	75
214	10000	15	20	70000	15	90	35600	28	75
215	30000	13.8	20	70000	15	90	35600	28	75
216	10000	13.8	20	70000	15	90	35600	28	75
217	30000	15	58	30000	15	90	35600	28	75
218	10000	15	58	30000	15	90	35600	28	75
219	30000	13.8	58	30000	15	90	35600	28	75
220	10000	13.8	58	30000	15	90	35600	28	75
221	30000	15	20	30000	15	90	35600	28	75
222	10000	15	20	30000	15	90	35600	28	75
223	30000	13.8	20	30000	15	90	35600	28	75
224	10000	13.8	20	30000	15	90	35600	28	75
225	30000	15	58	70000	20	60	35600	28	75
226	10000	15	58	70000	20	60	35600	28	75
227	30000	13.8	58	70000	20	60	35600	28	75
228	10000	13.8	58	70000	20	60	35600	28	75
229	30000	15	20	70000	20	60	35600	28	75
230	10000	15	20	70000	20	60	35600	28	75
231	30000	13.8	20	70000	20	60	35600	28	75
232	10000	13.8	20	70000	20	60	35600	28	75
233	30000	15	58	30000	20	60	35600	28	75
234	10000	15	58	30000	20	60	35600	28	75
235	30000	13.8	58	30000	20	60	35600	28	75
236	10000	13.8	58	30000	20	60	35600	28	75
237	30000	15	20	30000	20	60	35600	28	75
238	10000	15	20	30000	20	60	35600	28	75
239	30000	13.8	20	30000	20	60	35600	28	75
240	10000	13.8	20	30000	20	60	35600	28	75
241	30000	15	58	70000	15	60	35600	28	75
242	10000	15	58	70000	15	60	35600	28	75
243	30000	13.8	58	70000	15	60	35600	28	75
244	10000	13.8	58	70000	15	60	35600	28	75
245	30000	15	20	70000	15	60	35600	28	75
246	10000	15	20	70000	15	60	35600	28	75
247	30000	13.8	20	70000	15	60	35600	28	75
248	10000	13.8	20	70000	15	60	35600	28	75

	Project				
	Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhr/Vigia				
	Analysis Description				
	Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company	
Date	21/08/2025, 09:36:58			File Name	Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez

INTERPRET 8.024

249	30000	15	58	30000	15	60	35600	28	75
250	10000	15	58	30000	15	60	35600	28	75
251	30000	13.8	58	30000	15	60	35600	28	75
252	10000	13.8	58	30000	15	60	35600	28	75
253	30000	15	20	30000	15	60	35600	28	75
254	10000	15	20	30000	15	60	35600	28	75
255	30000	13.8	20	30000	15	60	35600	28	75
256	10000	13.8	20	30000	15	60	35600	28	75
257	30000	15	58	70000	20	90	67200	35	50
258	10000	15	58	70000	20	90	67200	35	50
259	30000	13.8	58	70000	20	90	67200	35	50
260	10000	13.8	58	70000	20	90	67200	35	50
261	30000	15	20	70000	20	90	67200	35	50
262	10000	15	20	70000	20	90	67200	35	50
263	30000	13.8	20	70000	20	90	67200	35	50
264	10000	13.8	20	70000	20	90	67200	35	50
265	30000	15	58	30000	20	90	67200	35	50
266	10000	15	58	30000	20	90	67200	35	50
267	30000	13.8	58	30000	20	90	67200	35	50
268	10000	13.8	58	30000	20	90	67200	35	50
269	30000	15	20	30000	20	90	67200	35	50
270	10000	15	20	30000	20	90	67200	35	50
271	30000	13.8	20	30000	20	90	67200	35	50
272	10000	13.8	20	30000	20	90	67200	35	50
273	30000	15	58	70000	15	90	67200	35	50
274	10000	15	58	70000	15	90	67200	35	50
275	30000	13.8	58	70000	15	90	67200	35	50
276	10000	13.8	58	70000	15	90	67200	35	50
277	30000	15	20	70000	15	90	67200	35	50
278	10000	15	20	70000	15	90	67200	35	50
279	30000	13.8	20	70000	15	90	67200	35	50
280	10000	13.8	20	70000	15	90	67200	35	50
281	30000	15	58	30000	15	90	67200	35	50
282	10000	15	58	30000	15	90	67200	35	50
283	30000	13.8	58	30000	15	90	67200	35	50
284	10000	13.8	58	30000	15	90	67200	35	50
285	30000	15	20	30000	15	90	67200	35	50
286	10000	15	20	30000	15	90	67200	35	50
287	30000	13.8	20	30000	15	90	67200	35	50
288	10000	13.8	20	30000	15	90	67200	35	50
289	30000	15	58	70000	20	60	67200	35	50
290	10000	15	58	70000	20	60	67200	35	50
291	30000	13.8	58	70000	20	60	67200	35	50
292	10000	13.8	58	70000	20	60	67200	35	50
293	30000	15	20	70000	20	60	67200	35	50
294	10000	15	20	70000	20	60	67200	35	50
295	30000	13.8	20	70000	20	60	67200	35	50
296	10000	13.8	20	70000	20	60	67200	35	50
297	30000	15	58	30000	20	60	67200	35	50
298	10000	15	58	30000	20	60	67200	35	50
299	30000	13.8	58	30000	20	60	67200	35	50
300	10000	13.8	58	30000	20	60	67200	35	50
301	30000	15	20	30000	20	60	67200	35	50
302	10000	15	20	30000	20	60	67200	35	50
303	30000	13.8	20	30000	20	60	67200	35	50
304	10000	13.8	20	30000	20	60	67200	35	50
305	30000	15	58	70000	15	60	67200	35	50
306	10000	15	58	70000	15	60	67200	35	50
307	30000	13.8	58	70000	15	60	67200	35	50
308	10000	13.8	58	70000	15	60	67200	35	50
309	30000	15	20	70000	15	60	67200	35	50
310	10000	15	20	70000	15	60	67200	35	50
311	30000	13.8	20	70000	15	60	67200	35	50
312	10000	13.8	20	70000	15	60	67200	35	50
313	30000	15	58	30000	15	60	67200	35	50
314	10000	15	58	30000	15	60	67200	35	50
315	30000	13.8	58	30000	15	60	67200	35	50

	Project				
	Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhr/Vigia				
	Analysis Description				
	Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company	
Date	21/08/2025, 09:36:58			File Name	Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez

INTERPRET 8.024

316	10000	13.8	58	30000	15	60	67200	35	50
317	30000	15	20	30000	15	60	67200	35	50
318	10000	15	20	30000	15	60	67200	35	50
319	30000	13.8	20	30000	15	60	67200	35	50
320	10000	13.8	20	30000	15	60	67200	35	50
321	30000	15	58	70000	20	90	35600	35	50
322	10000	15	58	70000	20	90	35600	35	50
323	30000	13.8	58	70000	20	90	35600	35	50
324	10000	13.8	58	70000	20	90	35600	35	50
325	30000	15	20	70000	20	90	35600	35	50
326	10000	15	20	70000	20	90	35600	35	50
327	30000	13.8	20	70000	20	90	35600	35	50
328	10000	13.8	20	70000	20	90	35600	35	50
329	30000	15	58	30000	20	90	35600	35	50
330	10000	15	58	30000	20	90	35600	35	50
331	30000	13.8	58	30000	20	90	35600	35	50
332	10000	13.8	58	30000	20	90	35600	35	50
333	30000	15	20	30000	20	90	35600	35	50
334	10000	15	20	30000	20	90	35600	35	50
335	30000	13.8	20	30000	20	90	35600	35	50
336	10000	13.8	20	30000	20	90	35600	35	50
337	30000	15	58	70000	15	90	35600	35	50
338	10000	15	58	70000	15	90	35600	35	50
339	30000	13.8	58	70000	15	90	35600	35	50
340	10000	13.8	58	70000	15	90	35600	35	50
341	30000	15	20	70000	15	90	35600	35	50
342	10000	15	20	70000	15	90	35600	35	50
343	30000	13.8	20	70000	15	90	35600	35	50
344	10000	13.8	20	70000	15	90	35600	35	50
345	30000	15	58	30000	15	90	35600	35	50
346	10000	15	58	30000	15	90	35600	35	50
347	30000	13.8	58	30000	15	90	35600	35	50
348	10000	13.8	58	30000	15	90	35600	35	50
349	30000	15	20	30000	15	90	35600	35	50
350	10000	15	20	30000	15	90	35600	35	50
351	30000	13.8	20	30000	15	90	35600	35	50
352	10000	13.8	20	30000	15	90	35600	35	50
353	30000	15	58	70000	20	60	35600	35	50
354	10000	15	58	70000	20	60	35600	35	50
355	30000	13.8	58	70000	20	60	35600	35	50
356	10000	13.8	58	70000	20	60	35600	35	50
357	30000	15	20	70000	20	60	35600	35	50
358	10000	15	20	70000	20	60	35600	35	50
359	30000	13.8	20	70000	20	60	35600	35	50
360	10000	13.8	20	70000	20	60	35600	35	50
361	30000	15	58	30000	20	60	35600	35	50
362	10000	15	58	30000	20	60	35600	35	50
363	30000	13.8	58	30000	20	60	35600	35	50
364	10000	13.8	58	30000	20	60	35600	35	50
365	30000	15	20	30000	20	60	35600	35	50
366	10000	15	20	30000	20	60	35600	35	50
367	30000	13.8	20	30000	20	60	35600	35	50
368	10000	13.8	20	30000	20	60	35600	35	50
369	30000	15	58	70000	15	60	35600	35	50
370	10000	15	58	70000	15	60	35600	35	50
371	30000	13.8	58	70000	15	60	35600	35	50
372	10000	13.8	58	70000	15	60	35600	35	50
373	30000	15	20	70000	15	60	35600	35	50
374	10000	15	20	70000	15	60	35600	35	50
375	30000	13.8	20	70000	15	60	35600	35	50
376	10000	13.8	20	70000	15	60	35600	35	50
377	30000	15	58	30000	15	60	35600	35	50
378	10000	15	58	30000	15	60	35600	35	50
379	30000	13.8	58	30000	15	60	35600	35	50
380	10000	13.8	58	30000	15	60	35600	35	50
381	30000	15	20	30000	15	60	35600	35	50
382	10000	15	20	30000	15	60	35600	35	50

	Project				
	Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhr/Vigia				
	Analysis Description				
	Drawn By		Renato Rolo	Scale	Company
INTERPRET 8.024	Date		21/08/2025, 09:36:58		File Name
					Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez

383	30000	13.8	20	30000	15	60	35600	35	50
384	10000	13.8	20	30000	15	60	35600	35	50
385	30000	15	58	70000	20	90	67200	28	50
386	10000	15	58	70000	20	90	67200	28	50
387	30000	13.8	58	70000	20	90	67200	28	50
388	10000	13.8	58	70000	20	90	67200	28	50
389	30000	15	20	70000	20	90	67200	28	50
390	10000	15	20	70000	20	90	67200	28	50
391	30000	13.8	20	70000	20	90	67200	28	50
392	10000	13.8	20	70000	20	90	67200	28	50
393	30000	15	58	30000	20	90	67200	28	50
394	10000	15	58	30000	20	90	67200	28	50
395	30000	13.8	58	30000	20	90	67200	28	50
396	10000	13.8	58	30000	20	90	67200	28	50
397	30000	15	20	30000	20	90	67200	28	50
398	10000	15	20	30000	20	90	67200	28	50
399	30000	13.8	20	30000	20	90	67200	28	50
400	10000	13.8	20	30000	20	90	67200	28	50
401	30000	15	58	70000	15	90	67200	28	50
402	10000	15	58	70000	15	90	67200	28	50
403	30000	13.8	58	70000	15	90	67200	28	50
404	10000	13.8	58	70000	15	90	67200	28	50
405	30000	15	20	70000	15	90	67200	28	50
406	10000	15	20	70000	15	90	67200	28	50
407	30000	13.8	20	70000	15	90	67200	28	50
408	10000	13.8	20	70000	15	90	67200	28	50
409	30000	15	58	30000	15	90	67200	28	50
410	10000	15	58	30000	15	90	67200	28	50
411	30000	13.8	58	30000	15	90	67200	28	50
412	10000	13.8	58	30000	15	90	67200	28	50
413	30000	15	20	30000	15	90	67200	28	50
414	10000	15	20	30000	15	90	67200	28	50
415	30000	13.8	20	30000	15	90	67200	28	50
416	10000	13.8	20	30000	15	90	67200	28	50
417	30000	15	58	70000	20	60	67200	28	50
418	10000	15	58	70000	20	60	67200	28	50
419	30000	13.8	58	70000	20	60	67200	28	50
420	10000	13.8	58	70000	20	60	67200	28	50
421	30000	15	20	70000	20	60	67200	28	50
422	10000	15	20	70000	20	60	67200	28	50
423	30000	13.8	20	70000	20	60	67200	28	50
424	10000	13.8	20	70000	20	60	67200	28	50
425	30000	15	58	30000	20	60	67200	28	50
426	10000	15	58	30000	20	60	67200	28	50
427	30000	13.8	58	30000	20	60	67200	28	50
428	10000	13.8	58	30000	20	60	67200	28	50
429	30000	15	20	30000	20	60	67200	28	50
430	10000	15	20	30000	20	60	67200	28	50
431	30000	13.8	20	30000	20	60	67200	28	50
432	10000	13.8	20	30000	20	60	67200	28	50
433	30000	15	58	70000	15	60	67200	28	50
434	10000	15	58	70000	15	60	67200	28	50
435	30000	13.8	58	70000	15	60	67200	28	50
436	10000	13.8	58	70000	15	60	67200	28	50
437	30000	15	20	70000	15	60	67200	28	50
438	10000	15	20	70000	15	60	67200	28	50
439	30000	13.8	20	70000	15	60	67200	28	50
440	10000	13.8	20	70000	15	60	67200	28	50
441	30000	15	58	30000	15	60	67200	28	50
442	10000	15	58	30000	15	60	67200	28	50
443	30000	13.8	58	30000	15	60	67200	28	50
444	10000	13.8	58	30000	15	60	67200	28	50
445	30000	15	20	30000	15	60	67200	28	50
446	10000	15	20	30000	15	60	67200	28	50
447	30000	13.8	20	30000	15	60	67200	28	50
448	10000	13.8	20	30000	15	60	67200	28	50
449	30000	15	58	70000	20	90	35600	28	50

	Project			
	Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhr/Vigia			
	Analysis Description			
	Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company
INTERPRET 8.024	Date	21/08/2025, 09:36:58	File Name	Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez

450	10000	15	58	70000	20	90	35600	28	50
451	30000	13.8	58	70000	20	90	35600	28	50
452	10000	13.8	58	70000	20	90	35600	28	50
453	30000	15	20	70000	20	90	35600	28	50
454	10000	15	20	70000	20	90	35600	28	50
455	30000	13.8	20	70000	20	90	35600	28	50
456	10000	13.8	20	70000	20	90	35600	28	50
457	30000	15	58	30000	20	90	35600	28	50
458	10000	15	58	30000	20	90	35600	28	50
459	30000	13.8	58	30000	20	90	35600	28	50
460	10000	13.8	58	30000	20	90	35600	28	50
461	30000	15	20	30000	20	90	35600	28	50
462	10000	15	20	30000	20	90	35600	28	50
463	30000	13.8	20	30000	20	90	35600	28	50
464	10000	13.8	20	30000	20	90	35600	28	50
465	30000	15	58	70000	15	90	35600	28	50
466	10000	15	58	70000	15	90	35600	28	50
467	30000	13.8	58	70000	15	90	35600	28	50
468	10000	13.8	58	70000	15	90	35600	28	50
469	30000	15	20	70000	15	90	35600	28	50
470	10000	15	20	70000	15	90	35600	28	50
471	30000	13.8	20	70000	15	90	35600	28	50
472	10000	13.8	20	70000	15	90	35600	28	50
473	30000	15	58	30000	15	90	35600	28	50
474	10000	15	58	30000	15	90	35600	28	50
475	30000	13.8	58	30000	15	90	35600	28	50
476	10000	13.8	58	30000	15	90	35600	28	50
477	30000	15	20	30000	15	90	35600	28	50
478	10000	15	20	30000	15	90	35600	28	50
479	30000	13.8	20	30000	15	90	35600	28	50
480	10000	13.8	20	30000	15	90	35600	28	50
481	30000	15	58	70000	20	60	35600	28	50
482	10000	15	58	70000	20	60	35600	28	50
483	30000	13.8	58	70000	20	60	35600	28	50
484	10000	13.8	58	70000	20	60	35600	28	50
485	30000	15	20	70000	20	60	35600	28	50
486	10000	15	20	70000	20	60	35600	28	50
487	30000	13.8	20	70000	20	60	35600	28	50
488	10000	13.8	20	70000	20	60	35600	28	50
489	30000	15	58	30000	20	60	35600	28	50
490	10000	15	58	30000	20	60	35600	28	50
491	30000	13.8	58	30000	20	60	35600	28	50
492	10000	13.8	58	30000	20	60	35600	28	50
493	30000	15	20	30000	20	60	35600	28	50
494	10000	15	20	30000	20	60	35600	28	50
495	30000	13.8	20	30000	20	60	35600	28	50
496	10000	13.8	20	30000	20	60	35600	28	50
497	30000	15	58	70000	15	60	35600	28	50
498	10000	15	58	70000	15	60	35600	28	50
499	30000	13.8	58	70000	15	60	35600	28	50
500	10000	13.8	58	70000	15	60	35600	28	50
501	30000	15	20	70000	15	60	35600	28	50
502	10000	15	20	70000	15	60	35600	28	50
503	30000	13.8	20	70000	15	60	35600	28	50
504	10000	13.8	20	70000	15	60	35600	28	50
505	30000	15	58	30000	15	60	35600	28	50
506	10000	15	58	30000	15	60	35600	28	50
507	30000	13.8	58	30000	15	60	35600	28	50
508	10000	13.8	58	30000	15	60	35600	28	50
509	30000	15	20	30000	15	60	35600	28	50
510	10000	15	20	30000	15	60	35600	28	50
511	30000	13.8	20	30000	15	60	35600	28	50
512	10000	13.8	20	30000	15	60	35600	28	50

Field Stress

	Project			
	Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhr/Vigia			
	Analysis Description			
	Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company
	Date	21/08/2025, 09:36:58	File Name	Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez

Field stress: constant
Sigma one: 10 kPa (compression positive)
Sigma three: 10 kPa (compression positive)
Sigma Z: 10 kPa (compression positive)
Angle from the horizontal to sigma 1: 0 degrees (counter-clockwise)

Mesh

Mesh type: graded
Element type: 3 noded triangles
Number of elements: 18906
Number of nodes: 10614

Mesh Quality

14 of 14062 Elements (0.1 % of elements) are poor quality elements
0 of 14062 Elements (0.0 % of elements) are poor quality elements because of the side length ratio
14 of 14062 Elements (0.1 % of elements) are poor quality elements because of the minimum interior angle
5 of 14062 Elements (0.0 % of elements) are poor quality elements because of the maximum interior angle
0 of 14062 Elements (0.0 % of elements) are poor quality elements because they are inverted
Note: Elements can be of poor quality for more than one reason

Poor quality elements defined as:

Side length ratio (maximum / minimum) > 30.00
Minimum interior angle < 2.0 degrees
Maximum interior angle > 175.0 degrees

Excavation Areas

Original Un-deformed Areas

External Boundary Area: 2428.865 m2
External Boundary Perimeter: 260.796 m

Stage 1

Values not available until this stage is viewed in a window

Material Properties

Material: Areia

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	17.5 kN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	20000 kPa
Young's modulus (resid)	7000 kPa
Poisson's ratio	0.3
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	0 kPa
Residual tensile strength	0 kPa
Peak friction angle	14.4 degrees
Peak cohesion	39 kPa
Material type	Plastic
Dilation Angle	0 degrees
Residual Friction Angle	14.4 degrees
Residual Cohesion	39 kPa
Piezo to use	None
Ru value	0

Material: Argila

--

 INTERPRET 8.024	<i>Project</i> Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhr/Vigia			
	<i>Analysis Description</i>			
	<i>Drawn By</i>	Renato Rolo	<i>Scale</i>	<i>Company</i>
	<i>Date</i>	21/08/2025, 09:36:58		<i>File Name</i> Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	21.3 kN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	50000 kPa
Young's modulus (resid)	21000 kPa
Poisson's ratio	0.3
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	0 kPa
Residual tensile strength	0 kPa
Peak friction angle	17.5 degrees
Peak cohesion	75 kPa
Material type	Plastic
Dilation Angle	0 degrees
Residual Friction Angle	17.5 degrees
Residual Cohesion	75 kPa
Piezo to use	None
Ru value	0

Material: Grés/Arenito

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	21.8 kN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	51400 kPa
Young's modulus (resid)	24920 kPa
Poisson's ratio	0.3
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	0 kPa
Residual tensile strength	0 kPa
Peak friction angle	31.5 degrees
Peak cohesion	62.5 kPa
Material type	Plastic
Dilation Angle	0 degrees
Residual Friction Angle	31.5 degrees
Residual Cohesion	62.5 kPa
Piezo to use	None
Ru value	0

Strength Reduction Factor Statistics

Probability of Failure: 0.45 %
Critical SRF mean value: 1.34
Critical SRF std. dev. value: 0.1314

File #	Critical SRF
1	1.6
2	1.6
3	1.6
4	1.6
5	1.6
6	1.6
7	1.6
8	1.6
9	1.6
10	1.6
11	1.6
12	1.6
13	1.6
14	1.6
15	1.6
16	1.6
17	1.57
18	1.57

 INTERPRET 8.024	<i>Project</i> Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhr/Vigia		
	<i>Analysis Description</i>		
	<i>Drawn By</i> Renato Rolo	<i>Scale</i>	<i>Company</i>
	<i>Date</i> 21/08/2025, 09:36:58	<i>File Name</i> Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez	

	19	1.57
	20	1.57
	21	1.57
	22	1.57
	23	1.57
	24	1.57
	25	1.57
	26	1.57
	27	1.57
	28	1.57
	29	1.57
	30	1.57
	31	1.57
	32	1.57
	33	1.46
	34	1.46
	35	1.46
	36	1.46
	37	1.46
	38	1.46
	39	1.46
	40	1.46
	41	1.46
	42	1.46
	43	1.46
	44	1.46
	45	1.46
	46	1.46
	47	1.46
	48	1.46
	49	1.33
	50	1.33
	51	1.33
	52	1.33
	53	1.33
	54	1.33
	55	1.33
	56	1.33
	57	1.33
	58	1.33
	59	1.33
	60	1.33
	61	1.33
	62	1.33
	63	1.33
	64	1.33
	65	1.6
	66	1.6
	67	1.6
	68	1.6
	69	1.6
	70	1.6
	71	1.6
	72	1.6
	73	1.6
	74	1.6
	75	1.6
	76	1.6
	77	1.6
	78	1.6
	79	1.6
	80	1.6
	81	1.57
	82	1.57
	83	1.57
	84	1.57
	85	1.57

	Project			Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhr/Vigia
	Analysis Description			
	Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company
	Date	21/08/2025, 09:36:58		File Name Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez

	86	1.57
	87	1.57
	88	1.57
	89	1.57
	90	1.57
	91	1.57
	92	1.57
	93	1.57
	94	1.57
	95	1.57
	96	1.57
	97	1.46
	98	1.46
	99	1.46
	100	1.46
	101	1.46
	102	1.46
	103	1.46
	104	1.46
	105	1.46
	106	1.46
	107	1.46
	108	1.46
	109	1.46
	110	1.46
	111	1.46
	112	1.46
	113	1.33
	114	1.33
	115	1.33
	116	1.33
	117	1.33
	118	1.33
	119	1.33
	120	1.33
	121	1.33
	122	1.33
	123	1.33
	124	1.33
	125	1.33
	126	1.33
	127	1.33
	128	1.33
	129	1.45
	130	1.45
	131	1.45
	132	1.45
	133	1.45
	134	1.45
	135	1.45
	136	1.45
	137	1.45
	138	1.45
	139	1.45
	140	1.45
	141	1.45
	142	1.45
	143	1.45
	144	1.45
	145	1.42
	146	1.42
	147	1.42
	148	1.42
	149	1.42
	150	1.42
	151	1.42
	152	1.42

 INTERPRET 8.024	<i>Project</i> Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhr/Vigia			
	<i>Analysis Description</i>			
	<i>Drawn By</i>	Renato Rolo	<i>Scale</i>	<i>Company</i>
	<i>Date</i>	21/08/2025, 09:36:58		<i>File Name</i> Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez

	153	1.42
	154	1.42
	155	1.42
	156	1.42
	157	1.42
	158	1.42
	159	1.42
	160	1.42
	161	1.37
	162	1.37
	163	1.37
	164	1.37
	165	1.37
	166	1.37
	167	1.37
	168	1.37
	169	1.37
	170	1.37
	171	1.37
	172	1.37
	173	1.37
	174	1.37
	175	1.37
	176	1.37
	177	1.32
	178	1.32
	179	1.32
	180	1.32
	181	1.32
	182	1.32
	183	1.32
	184	1.32
	185	1.32
	186	1.32
	187	1.32
	188	1.32
	189	1.32
	190	1.32
	191	1.32
	192	1.32
	193	1.45
	194	1.45
	195	1.45
	196	1.45
	197	1.45
	198	1.45
	199	1.45
	200	1.45
	201	1.45
	202	1.45
	203	1.45
	204	1.45
	205	1.45
	206	1.45
	207	1.45
	208	1.45
	209	1.42
	210	1.42
	211	1.42
	212	1.42
	213	1.42
	214	1.42
	215	1.42
	216	1.42
	217	1.42
	218	1.42
	219	1.42

	<i>Project</i>		
	Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhr/Vigia		
	<i>Analysis Description</i>		
	<i>Drawn By</i>	<i>Scale</i>	<i>Company</i>
<i>Date</i>		<i>File Name</i>	
21/08/2025, 09:36:58		Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez	

	220	1.42
	221	1.42
	222	1.42
	223	1.42
	224	1.42
	225	1.37
	226	1.37
	227	1.37
	228	1.37
	229	1.37
	230	1.37
	231	1.37
	232	1.37
	233	1.37
	234	1.37
	235	1.37
	236	1.37
	237	1.37
	238	1.37
	239	1.37
	240	1.37
	241	1.32
	242	1.32
	243	1.32
	244	1.32
	245	1.32
	246	1.32
	247	1.32
	248	1.32
	249	1.32
	250	1.32
	251	1.32
	252	1.32
	253	1.32
	254	1.32
	255	1.32
	256	1.32
	257	1.37
	258	1.37
	259	1.37
	260	1.37
	261	1.37
	262	1.37
	263	1.37
	264	1.37
	265	1.37
	266	1.37
	267	1.37
	268	1.37
	269	1.37
	270	1.37
	271	1.37
	272	1.37
	273	1.34
	274	1.34
	275	1.34
	276	1.34
	277	1.34
	278	1.34
	279	1.34
	280	1.34
	281	1.34
	282	1.34
	283	1.34
	284	1.34
	285	1.34
	286	1.34

	<i>Project</i>		
	Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhr/Vigia		
	<i>Analysis Description</i>		
	<i>Drawn By</i>	<i>Scale</i>	<i>Company</i>
<i>Date</i>		<i>File Name</i>	
21/08/2025, 09:36:58		Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez	

	287	1.34
	288	1.34
	289	1.3
	290	1.3
	291	1.3
	292	1.3
	293	1.3
	294	1.3
	295	1.3
	296	1.3
	297	1.3
	298	1.3
	299	1.3
	300	1.3
	301	1.3
	302	1.3
	303	1.3
	304	1.3
	305	1.25
	306	1.25
	307	1.25
	308	1.25
	309	1.25
	310	1.25
	311	1.25
	312	1.25
	313	1.25
	314	1.25
	315	1.25
	316	1.25
	317	1.25
	318	1.25
	319	1.25
	320	1.25
	321	1.37
	322	1.37
	323	1.37
	324	1.37
	325	1.37
	326	1.37
	327	1.37
	328	1.37
	329	1.37
	330	1.37
	331	1.37
	332	1.37
	333	1.37
	334	1.37
	335	1.37
	336	1.37
	337	1.34
	338	1.34
	339	1.34
	340	1.34
	341	1.34
	342	1.34
	343	1.34
	344	1.34
	345	1.34
	346	1.34
	347	1.34
	348	1.34
	349	1.34
	350	1.34
	351	1.34
	352	1.34
	353	1.3

	<i>Project</i>		
	Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhr/Vigia		
	<i>Analysis Description</i>		
	<i>Drawn By</i>	<i>Scale</i>	<i>Company</i>
<i>Date</i>		<i>File Name</i>	
21/08/2025, 09:36:58		Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez	

	354	1.3
	355	1.3
	356	1.3
	357	1.3
	358	1.3
	359	1.3
	360	1.3
	361	1.3
	362	1.3
	363	1.3
	364	1.3
	365	1.3
	366	1.3
	367	1.3
	368	1.3
	369	1.25
	370	1.25
	371	1.25
	372	1.25
	373	1.25
	374	1.25
	375	1.25
	376	1.25
	377	1.25
	378	1.25
	379	1.25
	380	1.25
	381	1.25
	382	1.25
	383	1.25
	384	1.25
	385	1.22
	386	1.22
	387	1.22
	388	1.22
	389	1.22
	390	1.22
	391	1.22
	392	1.22
	393	1.22
	394	1.22
	395	1.22
	396	1.22
	397	1.22
	398	1.22
	399	1.22
	400	1.22
	401	1.2
	402	1.2
	403	1.2
	404	1.2
	405	1.2
	406	1.2
	407	1.2
	408	1.2
	409	1.2
	410	1.2
	411	1.2
	412	1.2
	413	1.2
	414	1.2
	415	1.2
	416	1.2
	417	1.16
	418	1.16
	419	1.16
	420	1.16

 INTERPRET 8.024	<i>Project</i> Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhr/Vigia			
	<i>Analysis Description</i>			
	<i>Drawn By</i>	Renato Rolo	<i>Scale</i>	<i>Company</i>
	<i>Date</i>	21/08/2025, 09:36:58		<i>File Name</i> Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez

421	1.16
422	1.16
423	1.16
424	1.16
425	1.16
426	1.16
427	1.16
428	1.16
429	1.16
430	1.16
431	1.16
432	1.16
433	1.13
434	1.13
435	1.13
436	1.13
437	1.13
438	1.13
439	1.13
440	1.13
441	1.13
442	1.13
443	1.13
444	1.13
445	1.13
446	1.13
447	1.13
448	1.13
449	1.22
450	1.22
451	1.22
452	1.22
453	1.22
454	1.22
455	1.22
456	1.22
457	1.22
458	1.22
459	1.22
460	1.22
461	1.22
462	1.22
463	1.22
464	1.22
465	1.2
466	1.2
467	1.2
468	1.2
469	1.2
470	1.2
471	1.2
472	1.2
473	1.2
474	1.2
475	1.2
476	1.2
477	1.2
478	1.2
479	1.2
480	1.2
481	1.16
482	1.16
483	1.16
484	1.16
485	1.16
486	1.16
487	1.16

 INTERPRET 8.024	<i>Project</i> Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhr/Vigia			
	<i>Analysis Description</i>			
	<i>Drawn By</i>	Renato Rolo	<i>Scale</i>	<i>Company</i>
	<i>Date</i>	21/08/2025, 09:36:58		<i>File Name</i> Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez

488	1.16
489	1.16
490	1.16
491	1.16
492	1.16
493	1.16
494	1.16
495	1.16
496	1.16
497	1.13
498	1.13
499	1.13
500	1.13
501	1.13
502	1.13
503	1.13
504	1.13
505	1.13
506	1.13
507	1.13
508	1.13
509	1.13
510	1.13
511	1.13
512	1.13

Shear Strength Reduction - Material Properties

Strength Reduction Factor: 1
Maximum Total Displacement: 0.240963 m
Converged: yes

Material	Areia
Peak friction angle	14.4 degrees
Peak cohesion	39 kPa
Residual Friction Angle	14.4 degrees
Residual Cohesion	39 kPa

Material	Argila
Peak friction angle	17.5 degrees
Peak cohesion	75 kPa
Residual Friction Angle	17.5 degrees
Residual Cohesion	75 kPa

Material	Grés/Arenito
Peak friction angle	31.5 degrees
Peak cohesion	62.5 kPa
Residual Friction Angle	31.5 degrees
Residual Cohesion	62.5 kPa

Strength Reduction Factor: 1.2
Maximum Total Displacement: 0.368939 m
Converged: yes

Material	Areia
Peak friction angle	12.0771 degrees
Peak cohesion	32.5 kPa
Residual Friction Angle	12.0771 degrees
Residual Cohesion	32.5 kPa

--

 INTERPRET 8.024	<i>Project</i> Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhr/Vigia			
	<i>Analysis Description</i>			
	<i>Drawn By</i>	Renato Rolo	<i>Scale</i>	<i>Company</i>
	<i>Date</i>	21/08/2025, 09:36:58		<i>File Name</i> Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez

Material	Argila
Peak friction angle	14.7216 degrees
Peak cohesion	62.5 kPa
Residual Friction Angle	14.7216 degrees
Residual Cohesion	62.5 kPa

Material	Grés/Arenito
Peak friction angle	27.0519 degrees
Peak cohesion	52.0833 kPa
Residual Friction Angle	27.0519 degrees
Residual Cohesion	52.0833 kPa

Strength Reduction Factor: 1.3
Maximum Total Displacement: 0.446681 m
Converged: yes

Material	Areia
Peak friction angle	11.1724 degrees
Peak cohesion	30 kPa
Residual Friction Angle	11.1724 degrees
Residual Cohesion	30 kPa

Material	Argila
Peak friction angle	13.6331 degrees
Peak cohesion	57.6923 kPa
Residual Friction Angle	13.6331 degrees
Residual Cohesion	57.6923 kPa

Material	Grés/Arenito
Peak friction angle	25.2385 degrees
Peak cohesion	48.0769 kPa
Residual Friction Angle	25.2385 degrees
Residual Cohesion	48.0769 kPa

Strength Reduction Factor: 1.35
Maximum Total Displacement: 0.474348 m
Converged: yes

Material	Areia
Peak friction angle	10.7685 degrees
Peak cohesion	28.8889 kPa
Residual Friction Angle	10.7685 degrees
Residual Cohesion	28.8889 kPa

Material	Argila
Peak friction angle	13.146 degrees
Peak cohesion	55.5556 kPa
Residual Friction Angle	13.146 degrees
Residual Cohesion	55.5556 kPa

Material	Grés/Arenito
Peak friction angle	24.4146 degrees
Peak cohesion	46.2963 kPa
Residual Friction Angle	24.4146 degrees
Residual Cohesion	46.2963 kPa

Critical Strength Reduction Factor: 1.36
Maximum Total Displacement: 0.487382 m
Converged: yes

--



Project			
Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhr/Vigia			
Analysis Description			
Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company
Date	21/08/2025, 09:36:58	File Name	Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez

Material	Areia
Peak friction angle	10.6911 degrees
Peak cohesion	28.6765 kPa
Residual Friction Angle	10.6911 degrees
Residual Cohesion	28.6765 kPa

Material	Argila
Peak friction angle	13.0527 degrees
Peak cohesion	55.1471 kPa
Residual Friction Angle	13.0527 degrees
Residual Cohesion	55.1471 kPa

Material	Grés/Arenito
Peak friction angle	24.2558 degrees
Peak cohesion	45.9559 kPa
Residual Friction Angle	24.2558 degrees
Residual Cohesion	45.9559 kPa

Strength Reduction Factor: 1.37
Maximum Total Displacement: 0.662037 m
Converged: no

Material	Areia
Peak friction angle	10.6149 degrees
Peak cohesion	28.4672 kPa
Residual Friction Angle	10.6149 degrees
Residual Cohesion	28.4672 kPa

Material	Argila
Peak friction angle	12.9607 degrees
Peak cohesion	54.7445 kPa
Residual Friction Angle	12.9607 degrees
Residual Cohesion	54.7445 kPa

Material	Grés/Arenito
Peak friction angle	24.099 degrees
Peak cohesion	45.6204 kPa
Residual Friction Angle	24.099 degrees
Residual Cohesion	45.6204 kPa

Strength Reduction Factor: 1.4
Maximum Total Displacement: 1.69076 m
Converged: no

Material	Areia
Peak friction angle	10.3924 degrees
Peak cohesion	27.8571 kPa
Residual Friction Angle	10.3924 degrees
Residual Cohesion	27.8571 kPa

Material	Argila
Peak friction angle	12.692 degrees
Peak cohesion	53.5714 kPa
Residual Friction Angle	12.692 degrees
Residual Cohesion	53.5714 kPa

Material	Grés/Arenito
Peak friction angle	23.6397 degrees
Peak cohesion	44.6429 kPa
Residual Friction Angle	23.6397 degrees
Residual Cohesion	44.6429 kPa



Project			
Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhr/Vigia			
Analysis Description			
Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company
Date	21/08/2025, 09:36:58		File Name Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez

Strength Reduction Factor: 1.7
Maximum Total Displacement: 37.0926 m
Converged: no

Material	Areia
Peak friction angle	8.58865 degrees
Peak cohesion	22.9412 kPa
Residual Friction Angle	8.58865 degrees
Residual Cohesion	22.9412 kPa

Material	Argila
Peak friction angle	10.5072 degrees
Peak cohesion	44.1176 kPa
Residual Friction Angle	10.5072 degrees
Residual Cohesion	44.1176 kPa

Material	Grés/Arenito
Peak friction angle	19.8228 degrees
Peak cohesion	36.7647 kPa
Residual Friction Angle	19.8228 degrees
Residual Cohesion	36.7647 kPa

Joint Properties

Joint: Joint 1

Color	
Normal stiffness	100000 kPa/m
Shear stiffness	10000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Not Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	No slip allowed

Joint: Joint 2

Color	
Normal stiffness	100000 kPa/m
Shear stiffness	10000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Not Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	No slip allowed

Joint: Joint 3

Color	
Normal stiffness	100000 kPa/m
Shear stiffness	10000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Not Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	No slip allowed

Joint Networks

Joint Network 1

Multiple Joint Sets: Yes

Joint Set 1

	Project Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhr/Vigia		
	Analysis Description		
	Drawn By Renato Rolo	Scale	Company
	Date 21/08/2025, 09:36:58	File Name Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez	

Joint Model	Parallel Deterministic
Joint Property	Joint 1
Orientation: Use Trace Plane	Yes
Trace Plane Dip Direction	90 deg
Dip	85 deg
Dip Direction	287 deg
Spacing	1 m
Initial Location	Random
Infinite Length	No
Joint Ends	All Closed

Joint Set 2

Joint Model	Parallel Deterministic
Joint Property	Joint 2
Orientation: Use Trace Plane	Yes
Trace Plane Dip Direction	90 deg
Dip	78 deg
Dip Direction	271 deg
Spacing	2 m
Initial Location	Random
Infinite Length	No
Joint Ends	All Closed

Joint Set 3

Joint Model	Parallel Deterministic
Joint Property	Joint 3
Orientation: Use Trace Plane	Yes
Trace Plane Dip Direction	90 deg
Dip	75 deg
Dip Direction	251 deg
Spacing	1 m
Initial Location	Random
Infinite Length	No
Joint Ends	All Closed

Displacements

Displacement data is not available until total displacement is viewed in a window

Yielded Elements

Yielded Mesh Elements

Number of yielded mesh elements is not available for Stage 1 until the stage is viewed in a window

List of All Coordinates

External boundary

X	Y
1.42683	10.795
1.42683	7.14278
8.92683	7.14278
17.406	7.14278
26.263	7.14278
35.823	7.14278
44.671	7.14278
53.949	7.14278
63.371	7.14278

 INTERPRET 8.024	<i>Project</i> Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhr/Vigia			
	<i>Analysis Description</i>			
	<i>Drawn By</i>	Renato Rolo	<i>Scale</i>	<i>Company</i>
	<i>Date</i>	21/08/2025, 09:36:58		<i>File Name</i> Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez

X	Y
102.088	36.951
85.84	37.0302
84.5359	37.0827
83.9813	37.0382
83.2394	37.0429
64.1661	37.1358
63.7341	37.138
62.0844	37.1557
61.1176	37.1663
61.043	37.1636
59.8141	37.18
57.1014	37.2091
56.8823	37.2123
55.8629	37.2411
54.8037	37.2427
51.2034	37.2952
50.6467	37.3034
49.6074	37.3185
47.4121	37.3506

Material boundary

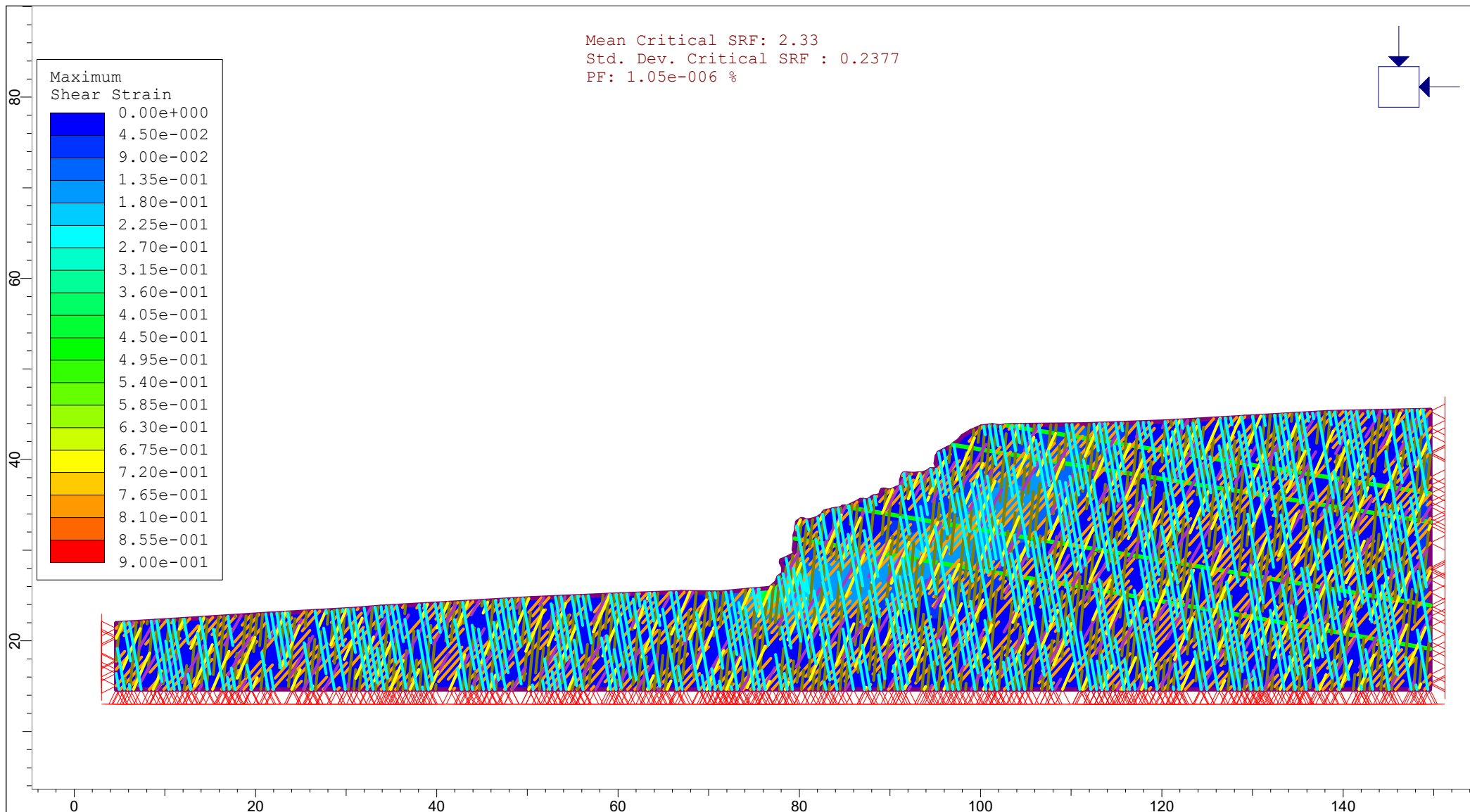
X	Y
49.2595	40.3458
49.4563	40.3355
50.5803	40.3363
53.6353	40.3144
54.6656	40.2991
56.273	40.2954
61.0968	40.2608
70.2568	40.2281
70.3033	40.2041
71.3531	40.2242
99.4456	40.1241
100.13	40.1241
102.088	40.1147

Material boundary

X	Y
102.088	38.8139
82.4241	38.8508
81.7496	38.8606
81.6476	38.8522
61.0968	38.8908
48.5875	39.0075



Project			
Arriba L3-L4 (Sondagem S9) do caso de estudo Amanhr/Vigia			
Analysis Description			
Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company
Date	21/08/2025, 09:36:58		File Name
			Vigia_Amanha_S9_L3_L4_V2.fez



INTERPRET 8.024

Project			
Arriba L9-L10 (Sondagem S8) do caso de estudo Amanha/Vigia			
Analysis Description			
Drawn By	Renato Rolo	Scale	1:587
Date	21/08/2025, 12:17:57		Company
		File Name	
		Vigia_Amanha_S8_L9_L10.fez	

Phase2 Analysis Information

Arriba L9-L10 (Sondagem S8) do caso de estudo Amanha/Vigia

Project Summary

File Name: Vigia_Amanha_S8_L9_L10.fez
Last saved with Phase2 version: 8.024
Project Title: Arriba L9-L10 (Sondagem S8) do caso de estudo Amanha/Vigia
Author: Renato Rolo
Company:

General Settings

Single stage model
Analysis Type: Plane Strain
Solver Type: Gaussian Elimination
Units: Metric, stress as kPa

Analysis Options

Maximum Number of Iterations: 100
Tolerance: 0.001
Number of Load Steps: Automatic
Convergence Type: Absolute Energy
Tensile Failure: Reduces Shear Strength
Joint tension reduces joint stiffness by a factor of 0.01

Strength Reduction Settings

Initial Estimate of SRF: 1
Step Size: Automatic
Tolerance (SRF): 0.01
Limit SSR Search Area: No
Apply SSR to Mohr-Coulomb Tensile Strength: Yes
Convergence Parameters: Automatic

Groundwater Analysis

Method: Piezometric Lines
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3

Probability Analysis

 INTERPET 8.024	<i>Project</i> Arriba L9-L10 (Sondagem S8) do caso de estudo Amanha/Vigia			
	<i>Analysis Description</i>			
	<i>Drawn By</i>	Renato Rolo	<i>Scale</i>	<i>Company</i>
	<i>Date</i>	21/08/2025, 12:17:57		<i>File Name</i> Vigia_Amanha_S8_L9_L10.fez

Analysis Type: Point Estimate Method
Number of Statistical Variables Used: 6
Number of Component Files: 64

Statistical Variables

Number of Statistical Variables Used: 6

Variable Type	Material/Joint Name	Property Type	Mean	Standard Deviation
Material Property	Grés/Arenito	Young's Modulus	51400	15800
Material Property	Grés/Arenito	Friction Angle (peak)	31.5	3.5
Material Property	Grés/Arenito	Cohesion (peak)	62.5	12.5
Material Property	Argila	Young's Modulus	50000	20000
Material Property	Argila	Friction Angle (peak)	17.5	2.5
Material Property	Argila	Cohesion (peak)	75	15

Statistical Component Files

Number of Component Files: 64

File #	Grés/Arenito, Young's Modulus	Grés/Arenito, Friction Angle (peak)	Grés/Arenito, Cohesion (peak)	Argila, Young's Modulus	Argila, Friction Angle (peak)	Argila, Cohesion (peak)
1	67200	35	75	70000	20	90
2	35600	35	75	70000	20	90
3	67200	28	75	70000	20	90
4	35600	28	75	70000	20	90
5	67200	35	50	70000	20	90
6	35600	35	50	70000	20	90
7	67200	28	50	70000	20	90
8	35600	28	50	70000	20	90
9	67200	35	75	30000	20	90
10	35600	35	75	30000	20	90
11	67200	28	75	30000	20	90
12	35600	28	75	30000	20	90
13	67200	35	50	30000	20	90
14	35600	35	50	30000	20	90
15	67200	28	50	30000	20	90
16	35600	28	50	30000	20	90
17	67200	35	75	70000	15	90
18	35600	35	75	70000	15	90
19	67200	28	75	70000	15	90
20	35600	28	75	70000	15	90
21	67200	35	50	70000	15	90
22	35600	35	50	70000	15	90
23	67200	28	50	70000	15	90
24	35600	28	50	70000	15	90
25	67200	35	75	30000	15	90



Project			Arriba L9-L10 (Sondagem S8) do caso de estudo Amanha/Vigia		
Analysis Description					
Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company		
Date	21/08/2025, 12:17:57		File Name	Vigia_Amanha_S8_L9_L10.fez	

26	35600	35	75	30000	15	90
27	67200	28	75	30000	15	90
28	35600	28	75	30000	15	90
29	67200	35	50	30000	15	90
30	35600	35	50	30000	15	90
31	67200	28	50	30000	15	90
32	35600	28	50	30000	15	90
33	67200	35	75	70000	20	60
34	35600	35	75	70000	20	60
35	67200	28	75	70000	20	60
36	35600	28	75	70000	20	60
37	67200	35	50	70000	20	60
38	35600	35	50	70000	20	60
39	67200	28	50	70000	20	60
40	35600	28	50	70000	20	60
41	67200	35	75	30000	20	60
42	35600	35	75	30000	20	60
43	67200	28	75	30000	20	60
44	35600	28	75	30000	20	60
45	67200	35	50	30000	20	60
46	35600	35	50	30000	20	60
47	67200	28	50	30000	20	60
48	35600	28	50	30000	20	60
49	67200	35	75	70000	15	60
50	35600	35	75	70000	15	60
51	67200	28	75	70000	15	60
52	35600	28	75	70000	15	60
53	67200	35	50	70000	15	60
54	35600	35	50	70000	15	60
55	67200	28	50	70000	15	60
56	35600	28	50	70000	15	60
57	67200	35	75	30000	15	60
58	35600	35	75	30000	15	60
59	67200	28	75	30000	15	60
60	35600	28	75	30000	15	60
61	67200	35	50	30000	15	60
62	35600	35	50	30000	15	60
63	67200	28	50	30000	15	60
64	35600	28	50	30000	15	60

Field Stress

Field stress: constant
Sigma one: 10 kPa (compression positive)
Sigma three: 10 kPa (compression positive)
Sigma Z: 10 kPa (compression positive)
Angle from the horizontal to sigma 1: 0 degrees (counter-clockwise)

Mesh

 INTERPRET 8.024	<i>Project</i>		
	Arriba L9-L10 (Sondagem S8) do caso de estudo Amanha/Vigia		
	<i>Analysis Description</i>		
	<i>Drawn By</i>	Renato Rolo	<i>Scale</i>
	<i>Company</i>		
	<i>Date</i>	21/08/2025, 12:17:57	<i>File Name</i>
			Vigia_Amanha_S8_L9_L10.fez

Mesh type: graded
Element type: 3 noded triangles
Number of elements: 24529
Number of nodes: 20808

Mesh Quality

49 of 14176 Elements (0.3 % of elements) are poor quality elements
12 of 14176 Elements (0.1 % of elements) are poor quality elements because of the side length ratio
49 of 14176 Elements (0.3 % of elements) are poor quality elements because of the minimum interior angle
1 of 14176 Elements (0.0 % of elements) are poor quality elements because of the maximum interior angle
0 of 14176 Elements (0.0 % of elements) are poor quality elements because they are inverted
Note: Elements can be of poor quality for more than one reason

Poor quality elements defined as:

Side length ratio (maximum / minimum) > 30.00
Minimum interior angle < 2.0 degrees
Maximum interior angle > 175.0 degrees

Excavation Areas

Original Un-deformed Areas

External Boundary Area: 2663.359 m2
External Boundary Perimeter: 339.486 m

Stage 1

Values not available until this stage is viewed in a window

Material Properties

Material: Argila



 INTERPRET 8.024	Project				
	Arriba L9-L10 (Sondagem S8) do caso de estudo Amanha/Vigia				
	Analysis Description				
	Drawn By Renato Rolo		Scale	Company	
	Date 21/08/2025, 12:17:57		File Name Vigia_Amanha_S8_L9_L10.fez		

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	21.3 kN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	50000 kPa
Young's modulus (resid)	21000 kPa
Poisson's ratio	0.3
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	0 kPa
Residual tensile strength	0 kPa
Peak friction angle	17.5 degrees
Peak cohesion	75 kPa
Material type	Plastic
Dilation Angle	0 degrees
Residual Friction Angle	17.5 degrees
Residual Cohesion	75 kPa
Piezo to use	None
Ru value	0

Material: Grés/Arenito

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	21.8 kN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	51400 kPa
Young's modulus (resid)	24920 kPa
Poisson's ratio	0.3
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	0 kPa
Residual tensile strength	0 kPa
Peak friction angle	31.5 degrees
Peak cohesion	62.5 kPa
Material type	Plastic
Dilation Angle	0 degrees
Residual Friction Angle	31.5 degrees
Residual Cohesion	62.5 kPa
Piezo to use	None
Ru value	0

Strength Reduction Factor Statistics

Probability of Failure: 1.05e-006 %
Critical SRF mean value: 2.33
Critical SRF std. dev. value: 0.2377

File #	Critical SRF
1	2.74
2	2.74
3	2.45

	Project			Arriba L9-L10 (Sondagem S8) do caso de estudo Amanha/Vigia
	Analysis Description			
	Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company
	Date	21/08/2025, 12:17:57	File Name	Vigia_Amanha_S8_L9_L10.fez

	4	2.45
	5	2.36
	6	2.36
	7	2.08
	8	2.08
	9	2.74
	10	2.74
	11	2.45
	12	2.45
	13	2.36
	14	2.36
	15	2.08
	16	2.08
	17	2.69
	18	2.69
	19	2.41
	20	2.41
	21	2.32
	22	2.32
	23	2.05
	24	2.05
	25	2.69
	26	2.69
	27	2.41
	28	2.41
	29	2.32
	30	2.32
	31	2.05
	32	2.05
	33	2.62
	34	2.62
	35	2.35
	36	2.35
	37	2.25
	38	2.25
	39	1.99
	40	1.99
	41	2.62
	42	2.62
	43	2.35
	44	2.35
	45	2.25
	46	2.25
	47	1.99
	48	1.99
	49	2.56
	50	2.56
	51	2.3
	52	2.3
	53	2.2
	54	2.2
	55	1.94

	<i>Project</i>				
	Arriba L9-L10 (Sondagem S8) do caso de estudo Amanha/Vigia				
	<i>Analysis Description</i>				
	<i>Drawn By</i>	Renato Rolo	<i>Scale</i>	<i>Company</i>	
	<i>Date</i>	21/08/2025, 12:17:57		<i>File Name</i>	Vigia_Amanha_S8_L9_L10.fez

56	1.94
57	2.56
58	2.56
59	2.3
60	2.3
61	2.2
62	2.2
63	1.94
64	1.94

Shear Strength Reduction - Material Properties

Strength Reduction Factor: 1
Maximum Total Displacement: 0.292505 m
Converged: yes

Material	Argila
Peak friction angle	17.5 degrees
Peak cohesion	75 kPa
Residual Friction Angle	17.5 degrees
Residual Cohesion	75 kPa

Material	Grés/Arenito
Peak friction angle	31.5 degrees
Peak cohesion	62.5 kPa
Residual Friction Angle	31.5 degrees
Residual Cohesion	62.5 kPa

Strength Reduction Factor: 1.4
Maximum Total Displacement: 0.312072 m
Converged: yes

Material	Argila
Peak friction angle	12.692 degrees
Peak cohesion	53.5714 kPa
Residual Friction Angle	12.692 degrees
Residual Cohesion	53.5714 kPa

Material	Grés/Arenito
Peak friction angle	23.6397 degrees
Peak cohesion	44.6429 kPa
Residual Friction Angle	23.6397 degrees
Residual Cohesion	44.6429 kPa

Strength Reduction Factor: 1.8
Maximum Total Displacement: 0.389245 m
Converged: yes

 INTERPRET 8.024	<i>Project</i> Arriba L9-L10 (Sondagem S8) do caso de estudo Amanha/Vigia			
	<i>Analysis Description</i>			
	<i>Drawn By</i>	Renato Rolo	<i>Scale</i>	<i>Company</i>
	<i>Date</i>	21/08/2025, 12:17:57		<i>File Name</i> Vigia_Amanha_S8_L9_L10.fez

Material	Argila
Peak friction angle	9.93547 degrees
Peak cohesion	41.6667 kPa
Residual Friction Angle	9.93547 degrees
Residual Cohesion	41.6667 kPa

Material	Grés/Arenito
Peak friction angle	18.8009 degrees
Peak cohesion	34.7222 kPa
Residual Friction Angle	18.8009 degrees
Residual Cohesion	34.7222 kPa

Strength Reduction Factor: 2.2

Maximum Total Displacement: 0.543571 m

Converged: yes

Material	Argila
Peak friction angle	8.15596 degrees
Peak cohesion	34.0909 kPa
Residual Friction Angle	8.15596 degrees
Residual Cohesion	34.0909 kPa

Material	Grés/Arenito
Peak friction angle	15.565 degrees
Peak cohesion	28.4091 kPa
Residual Friction Angle	15.565 degrees
Residual Cohesion	28.4091 kPa

Strength Reduction Factor: 2.29

Maximum Total Displacement: 0.663641 m

Converged: yes

Material	Argila
Peak friction angle	7.83948 degrees
Peak cohesion	32.7511 kPa
Residual Friction Angle	7.83948 degrees
Residual Cohesion	32.7511 kPa

Material	Grés/Arenito
Peak friction angle	14.9813 degrees
Peak cohesion	27.2926 kPa
Residual Friction Angle	14.9813 degrees
Residual Cohesion	27.2926 kPa

Critical Strength Reduction Factor: 2.34

Maximum Total Displacement: 0.91595 m

Converged: yes

 INTERPRET 8.024	<i>Project</i> Arriba L9-L10 (Sondagem S8) do caso de estudo Amanha/Vigia			
	<i>Analysis Description</i>			
	<i>Drawn By</i>	Renato Rolo	<i>Scale</i>	<i>Company</i>
	<i>Date</i>	21/08/2025, 12:17:57		<i>File Name</i> Vigia_Amanha_S8_L9_L10.fez

Material	Argila
Peak friction angle	7.67399 degrees
Peak cohesion	32.0513 kPa
Residual Friction Angle	7.67399 degrees
Residual Cohesion	32.0513 kPa

Material	Grés/Arenito
Peak friction angle	14.6751 degrees
Peak cohesion	26.7094 kPa
Residual Friction Angle	14.6751 degrees
Residual Cohesion	26.7094 kPa

Strength Reduction Factor: 2.35
Maximum Total Displacement: 1.0162 m
Converged: no

Material	Argila
Peak friction angle	7.64172 degrees
Peak cohesion	31.9149 kPa
Residual Friction Angle	7.64172 degrees
Residual Cohesion	31.9149 kPa

Material	Grés/Arenito
Peak friction angle	14.6153 degrees
Peak cohesion	26.5957 kPa
Residual Friction Angle	14.6153 degrees
Residual Cohesion	26.5957 kPa

Strength Reduction Factor: 2.37
Maximum Total Displacement: 1.16493 m
Converged: no

Material	Argila
Peak friction angle	7.57799 degrees
Peak cohesion	31.6456 kPa
Residual Friction Angle	7.57799 degrees
Residual Cohesion	31.6456 kPa

Material	Grés/Arenito
Peak friction angle	14.4972 degrees
Peak cohesion	26.3713 kPa
Residual Friction Angle	14.4972 degrees
Residual Cohesion	26.3713 kPa

Strength Reduction Factor: 2.4
Maximum Total Displacement: 1.38022 m
Converged: no

	Project			Arriba L9-L10 (Sondagem S8) do caso de estudo Amanha/Vigia
	Analysis Description			
	Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company
	Date	21/08/2025, 12:17:57	File Name	Vigia_Amanha_S8_L9_L10.fez

Material	Argila
Peak friction angle	7.48434 degrees
Peak cohesion	31.25 kPa
Residual Friction Angle	7.48434 degrees
Residual Cohesion	31.25 kPa

Material	Grés/Arenito
Peak friction angle	14.3235 degrees
Peak cohesion	26.0417 kPa
Residual Friction Angle	14.3235 degrees
Residual Cohesion	26.0417 kPa

Strength Reduction Factor: 2.6
Maximum Total Displacement: 2.5618 m
Converged: no

Material	Argila
Peak friction angle	6.91443 degrees
Peak cohesion	28.8462 kPa
Residual Friction Angle	6.91443 degrees
Residual Cohesion	28.8462 kPa

Material	Grés/Arenito
Peak friction angle	13.2622 degrees
Peak cohesion	24.0385 kPa
Residual Friction Angle	13.2622 degrees
Residual Cohesion	24.0385 kPa

Joint Properties

Joint: Joint 1

Color	
Normal stiffness	100000 kPa/m
Shear stiffness	10000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Not Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	No slip allowed

Joint: Joint 2

--

	Project			Arriba L9-L10 (Sondagem S8) do caso de estudo Amanha/Vigia
	Analysis Description			
	Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company
	Date	21/08/2025, 12:17:57	File Name	Vigia_Amanha_S8_L9_L10.fez

Color	
Normal stiffness	100000 kPa/m
Shear stiffness	10000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Not Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	No slip allowed

Joint: Joint 3

Color	
Normal stiffness	100000 kPa/m
Shear stiffness	10000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Not Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	No slip allowed

Joint: Joint 4

Color	
Normal stiffness	100000 kPa/m
Shear stiffness	10000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Not Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	No slip allowed

Joint: Joint 5

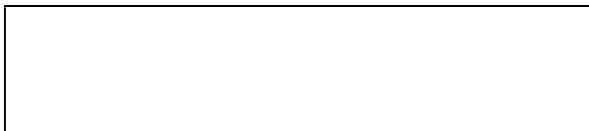
Color	
Normal stiffness	100000 kPa/m
Shear stiffness	10000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Not Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	No slip allowed

Joint Networks

Joint Network 1

Multiple Joint Sets: Yes

Joint Set 1



	Project			Arriba L9-L10 (Sondagem S8) do caso de estudo Amanha/Vigia
	Analysis Description			
	Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company
	Date	21/08/2025, 12:17:57	File Name	Vigia_Amanha_S8_L9_L10.fez

Joint Model	Parallel Deterministic
Joint Property	Joint 1 
Orientation: Use Trace Plane	Yes
Trace Plane Dip Direction	90 deg
Dip	56 deg
Dip Direction	40 deg
Spacing	0.6 m
Initial Location	Random
Infinite Length	No
Joint Ends	All Closed

Joint Set 2

Joint Model	Parallel Deterministic
Joint Property	Joint 2 
Orientation: Use Trace Plane	Yes
Trace Plane Dip Direction	90 deg
Dip	85 deg
Dip Direction	23 deg
Spacing	0.6 m
Initial Location	Random
Infinite Length	No
Joint Ends	All Closed

Joint Set 3

Joint Model	Parallel Deterministic
Joint Property	Joint 3 
Orientation: Use Trace Plane	Yes
Trace Plane Dip Direction	90 deg
Dip	80 deg
Dip Direction	288 deg
Spacing	2 m
Initial Location	Random
Infinite Length	No
Joint Ends	All Closed

Joint Set 4



	Project			Arriba L9-L10 (Sondagem S8) do caso de estudo Amanha/Vigia
	Analysis Description			
	Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company
	Date	21/08/2025, 12:17:57	File Name	Vigia_Amanha_S8_L9_L10.fez

Joint Model	Parallel Deterministic
Joint Property	Joint 4
	
Orientation: Use Trace Plane	Yes
Trace Plane Dip Direction	90 deg
Dip	75 deg
Dip Direction	308 deg
Spacing	2 m
Initial Location	Random
Infinite Length	No
Joint Ends	All Closed

Joint Set 5

Joint Model	Parallel Deterministic
Joint Property	Joint 5
	
Orientation: Use Trace Plane	Yes
Trace Plane Dip Direction	90 deg
Dip	80 deg
Dip Direction	184 deg
Spacing	0.6 m
Initial Location	Random
Infinite Length	No
Joint Ends	All Closed

Displacements

Displacement data is not available until total displacement is viewed in a window

Yielded Elements

Yielded Mesh Elements

Number of yielded mesh elements is not available for Stage 1 until the stage is viewed in a window

List of All Coordinates

External boundary

X	Y
4.62418	14.6247
12.1242	14.6247
142.124	14.6247
149.569	14.6247
149.624	15.21
149.624	19.1051
149.624	23.8952

 INTERPRET 8.024	Project				
	Arriba L9-L10 (Sondagem S8) do caso de estudo Amanha/Vigia				
	Analysis Description				
	Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company	
	Date	21/08/2025, 12:17:57		File Name	Vigia_Amanha_S8_L9_L10.fez

149.624	33.0955
149.624	36.2473
149.624	45.4878
138.292	45.2307
129.158	44.7163
120.674	44.1995
111.474	43.8796
102.809	43.7814
102.724	43.7667
102.17	43.6712
101.278	43.7938
100.06	43.6276
98.9243	43.1402
98.0081	42.5951
97.6018	42.1098
97.0938	41.7795
96.9357	41.6197
96.7417	41.4235
96.3564	41.2816
95.3698	40.7557
95.136	40.367
95.0421	39.5732
95.1891	39.1694
95.189	39.032
95.1002	38.9351
94.4775	38.91
94.3618	38.8366
94.024	38.61
93.5722	38.4546
93.0941	38.4757
92.8532	38.4226
92.1625	38.4206
91.8515	38.4728
91.6156	38.4614
91.5147	38.4488
91.3743	38.2233
91.2301	37.7481
91.2071	37.1321
91.1017	36.9941
90.732	36.875
90.0924	36.5901
89.7944	36.5711
89.5852	36.6253
89.3384	36.6738
89.1235	36.6448
89.0248	36.4598
89.0249	36.3113
88.8212	36.0652
88.5233	35.9598
88.2361	35.9245
88.0618	35.8551
87.5292	35.4957

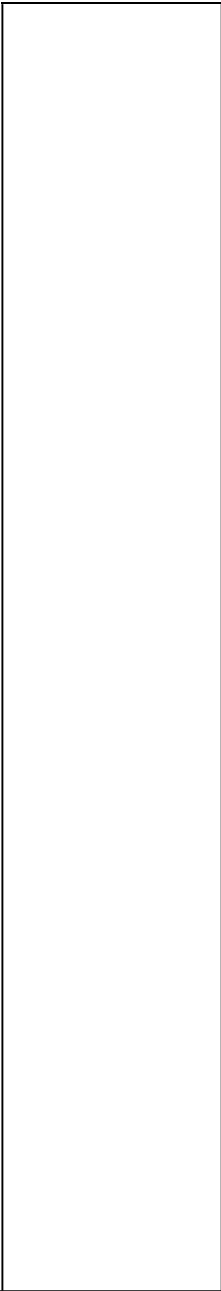
 INTERPRET 8.024	<i>Project</i> Arriba L9-L10 (Sondagem S8) do caso de estudo Amanha/Vigia		
	<i>Analysis Description</i>		
	<i>Drawn By</i> Renato Rolo	<i>Scale</i>	<i>Company</i>
	<i>Date</i> 21/08/2025, 12:17:57	<i>File Name</i> Vigia_Amanha_S8_L9_L10.fez	

87.419	35.4778
87.2497	35.5087
87.0291	35.539
86.7462	35.5344
86.3768	35.3223
85.2484	34.7882
85.0874	34.7773
84.9366	34.8151
84.7819	34.7876
84.6568	34.6592
84.4236	34.5861
84.0927	34.5701
83.5759	34.4749
83.4005	34.3963
83.0258	34.3301
82.7672	34.2472
82.6284	34.1003
82.5695	33.9542
82.1834	33.6583
81.7952	33.4609
81.4792	33.3724
80.9167	33.2649
80.7926	33.2588
80.4728	33.3611
80.2444	33.4211
80.1214	33.3707
79.8606	33.1832
79.7643	33.0895
79.7116	32.6681
79.6568	32.4805
79.6762	32.2218
79.5963	32.0744
79.4876	31.6538
79.4959	31.2763
79.5013	31.0294
79.3807	30.0684
79.5019	29.7553
79.492	29.651
79.4996	29.5501
79.3753	29.4403
79.1486	29.4287
78.4157	29.0411
78.0263	28.8898
77.9819	28.8201
77.9766	28.6733
77.9999	28.6011
78.1783	28.277
78.2308	27.9736
78.1882	27.4102
77.6991	27.0324
77.4677	26.4665
76.7651	25.8486

	<i>Project</i>				
	Arriba L9-L10 (Sondagem S8) do caso de estudo Amanha/Vigia				
	<i>Analysis Description</i>				
	<i>Drawn By</i>	Renato Rolo	<i>Scale</i>	<i>Company</i>	
	<i>Date</i>	21/08/2025, 12:17:57		<i>File Name</i>	Vigia_Amanha_S8_L9_L10.fez

76.4367	25.7826
74.3419	25.6273
71.1598	25.3073
66.9531	25.3725
60.2374	25.1158
50.4625	24.6997
33.8384	23.7416
30.4724	23.4833
30.3316	23.4746
21.4661	22.9734
8.91421	22.1823
4.62418	21.9285

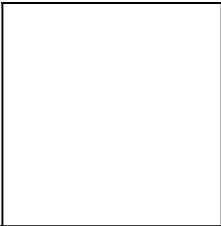
Material boundary



Project				Arriba L9-L10 (Sondagem S8) do caso de estudo Amanha/Vigia			
Analysis Description							
Drawn By		Renato Rolo		Scale		Company	
Date				21/08/2025, 12:17:57			
				File Name			
				Vigia_Amanha_S8_L9_L10.fez			

X	Y
79.4959	31.2763
89.1209	29.6519
89.3883	29.5861
90.0864	29.4766
90.8037	29.368
94.8534	28.6845
95.4515	28.5979
95.7009	28.5415
103.613	27.2062
103.848	27.1862
104.028	27.1362
104.724	27.0187
106.122	26.7868
106.377	26.7397
108.025	26.4617
108.239	26.4458
108.9	26.314
110.125	26.1072
110.281	26.0731
110.87	25.9816
111.463	25.8815
112.055	25.7764
113.265	25.5616
113.765	25.48
114.433	25.3433
115.161	25.2377
115.612	25.1449
115.807	25.11
116.204	25.0396
121.864	24.0347
122.079	24.0115
122.7	23.8861
126.499	23.2116
126.869	23.1576
127.128	23.0999
133.806	21.9141
134.02	21.8911
134.497	21.7913
135.88	21.5458
136.567	21.4211
136.949	21.3559
149.624	19.1051

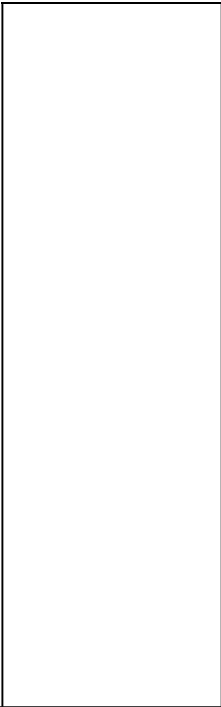
Material boundary



 INTERPRET 8.024	<i>Project</i> Arriba L9-L10 (Sondagem S8) do caso de estudo Amanha/Vigia			
	<i>Analysis Description</i>			
	<i>Drawn By</i>	Renato Rolo	<i>Scale</i>	<i>Company</i>
	<i>Date</i>	21/08/2025, 12:17:57		<i>File Name</i> Vigia_Amanha_S8_L9_L10.fez

X	Y
149.624	23.8952
142.132	25.155
141.993	25.1788
141.847	25.2029
141.54	25.252
140.737	25.3894
129.797	27.2288
129.683	27.2325
128.487	27.449
118.996	29.0449
118.748	29.0978
118.13	29.1904
114.843	29.7431
114.372	29.8143
114.25	29.8428
111.505	30.3044
111.223	30.3522
105.945	31.2457
105.348	31.3536
104.942	31.4156
101.932	31.9253
101.825	31.9227
101.347	32.0242
95.6153	32.9948
95.265	33.0709
94.9028	33.1154
85.4706	34.7124
85.2484	34.7882

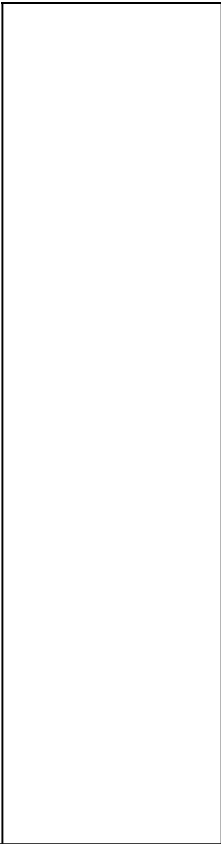
Material boundary



 INTERPRET 8.024	<i>Project</i> Arriba L9-L10 (Sondagem S8) do caso de estudo Amanha/Vigia			
	<i>Analysis Description</i>			
	<i>Drawn By</i>	Renato Rolo	<i>Scale</i>	<i>Company</i>
	<i>Date</i>	21/08/2025, 12:17:57		<i>File Name</i> Vigia_Amanha_S8_L9_L10.fez

X	Y
96.9357	41.6197
99.0632	41.2707
100.249	41.0798
100.844	40.9786
101.439	40.8856
101.702	40.8377
105.591	40.1997
105.86	40.143
106.461	40.0571
110.853	39.3364
111.497	39.2308
133.889	35.6276
135.29	35.4013
135.864	35.3097
141.207	34.45
141.586	34.3731
141.8	34.3545
145.093	33.8247
145.355	33.7631
145.712	33.7251
146.493	33.5993
146.611	33.5685
147.75	33.3971
149.624	33.0955

Material boundary

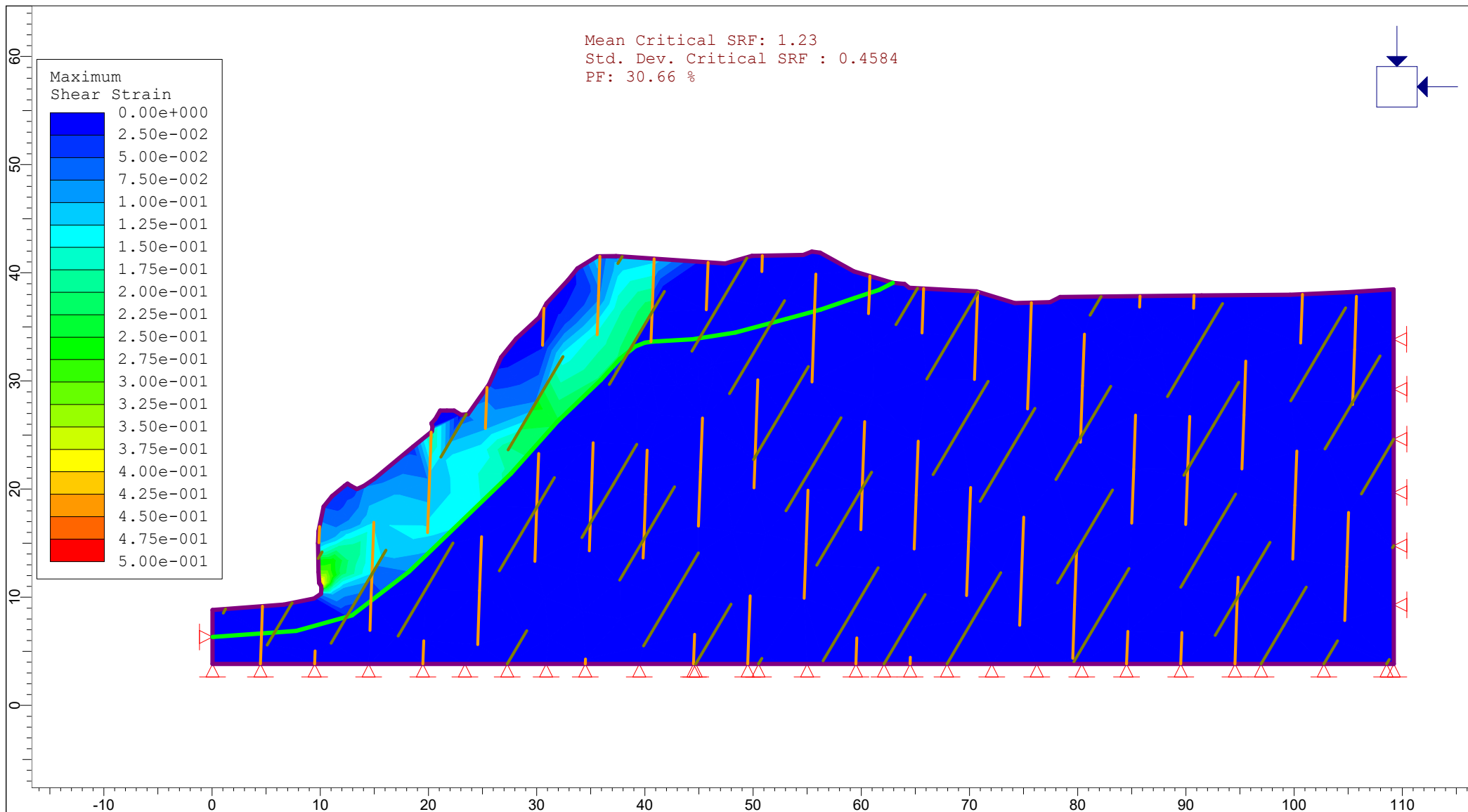


 INTERPRET 8.024	<i>Project</i> Arriba L9-L10 (Sondagem S8) do caso de estudo Amanha/Vigia			
	<i>Analysis Description</i>			
	<i>Drawn By</i>	Renato Rolo	<i>Scale</i>	<i>Company</i>
	<i>Date</i>	21/08/2025, 12:17:57		<i>File Name</i> Vigia_Amanha_S8_L9_L10.fez

X	Y
149.624	36.2473
149.163	36.3229
139.721	37.8402
139.128	37.9371
138.84	37.9818
134.945	38.6077
134.749	38.6259
134.218	38.7246
134.112	38.7416
133.498	38.8289
132.858	38.9432
131.603	39.1447
131.407	39.1846
130.976	39.2455
128.442	39.6528
127.865	39.7416
127.22	39.8641
126.586	39.951
124.078	40.3541
123.698	40.4053
123.451	40.4549
121.912	40.7022
121.586	40.7398
121.318	40.7976
120.93	40.8709
120.492	40.9303
116.415	41.5856
115.973	41.632
115.303	41.7642
112.338	42.2408
111.816	42.3311
111.474	42.3796
110.039	42.6071
109.674	42.6483
109.445	42.7012
104.101	43.5484
103.995	43.5855
103.387	43.6606
102.809	43.7814



Project			
Arriba L9-L10 (Sondagem S8) do caso de estudo Amanha/Vigia			
Analysis Description			
Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company
Date	21/08/2025, 12:17:57	File Name	Vigia_Amanha_S8_L9_L10.fez



Project			Formosa L6-L8 (Sondagem 1) do caso de estudo Formosa		
Analysis Description					
Drawn By	Renato Rolo	Scale	1:491	Company	
Date	21/08/2025, 10:59:31			File Name	Formosa_S1_L6_L8.fez

Phase2 Analysis Information

Formosa L6-L8 (Sondagem 1) do caso de estudo Formosa

Project Summary

File Name: Formosa_S1_L6_L8.fez
Last saved with Phase2 version: 8.024
Project Title: Formosa L6-L8 (Sondagem 1) do caso de estudo Formosa
Author: Renato Rolo
Company:

General Settings

Single stage model
Analysis Type: Plane Strain
Solver Type: Gaussian Elimination
Units: Metric, stress as kPa

Analysis Options

Maximum Number of Iterations: 100
Tolerance: 0.001
Number of Load Steps: Automatic
Convergence Type: Absolute Energy
Tensile Failure: Reduces Shear Strength
Joint tension reduces joint stiffness by a factor of 0.01

Strength Reduction Settings

Initial Estimate of SRF: 1
Step Size: Automatic
Tolerance (SRF): 0.01
Limit SSR Search Area: No
Apply SSR to Mohr-Coulomb Tensile Strength: Yes
Convergence Parameters: Automatic

Groundwater Analysis

Method: Piezometric Lines
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3

Probability Analysis

 INTERPRET 8.024	Project		
	Formosa L6-L8 (Sondagem 1) do caso de estudo Formosa		
	Analysis Description		
	Drawn By	Renato Rolo	Scale
	Company		
Date	21/08/2025, 10:59:31		File Name
		Formosa_S1_L6_L8.fez	

Analysis Type: Point Estimate Method
Number of Statistical Variables Used: 6
Number of Component Files: 64

Statistical Variables

Number of Statistical Variables Used: 6

Variable Type	Material/Joint Name	Property Type	Mean	Standard Deviation
Material Property	Arenito/Siltito	Young's Modulus	40000	20000
Material Property	Arenito/Siltito	Friction Angle (peak)	38.45	8.45
Material Property	Arenito/Siltito	Cohesion (peak)	31	19
Material Property	MargasC	Young's Modulus	244500	144500
Material Property	MargasC	Friction Angle (peak)	32.65	2.85
Material Property	MargasC	Cohesion (peak)	104	48

Statistical Component Files

Number of Component Files: 64

File #	Arenito/Siltito, Young's Modulus	Arenito/Siltito, Friction Angle (peak)	Arenito/Siltito, Cohesion (peak)	MargasC, Young's Modulus	MargasC, Friction Angle (peak)	MargasC, Cohesion (peak)
1	60000	46.9	50	389000	35.5	152
2	20000	46.9	50	389000	35.5	152
3	60000	30	50	389000	35.5	152
4	20000	30	50	389000	35.5	152
5	60000	46.9	12	389000	35.5	152
6	20000	46.9	12	389000	35.5	152
7	60000	30	12	389000	35.5	152
8	20000	30	12	389000	35.5	152
9	60000	46.9	50	100000	35.5	152
10	20000	46.9	50	100000	35.5	152
11	60000	30	50	100000	35.5	152
12	20000	30	50	100000	35.5	152
13	60000	46.9	12	100000	35.5	152
14	20000	46.9	12	100000	35.5	152
15	60000	30	12	100000	35.5	152
16	20000	30	12	100000	35.5	152
17	60000	46.9	50	389000	29.8	152
18	20000	46.9	50	389000	29.8	152
19	60000	30	50	389000	29.8	152
20	20000	30	50	389000	29.8	152
21	60000	46.9	12	389000	29.8	152
22	20000	46.9	12	389000	29.8	152
23	60000	30	12	389000	29.8	152
24	20000	30	12	389000	29.8	152
25	60000	46.9	50	100000	29.8	152
26	20000	46.9	50	100000	29.8	152



Project				Formosa L6-L8 (Sondagem 1) do caso de estudo Formosa							
Analysis Description											
Drawn By		Renato Rolo		Scale		Company					
Date				21/08/2025, 10:59:31				File Name		Formosa_S1_L6_L8.fez	

27	60000	30	50	100000	29.8	152
28	20000	30	50	100000	29.8	152
29	60000	46.9	12	100000	29.8	152
30	20000	46.9	12	100000	29.8	152
31	60000	30	12	100000	29.8	152
32	20000	30	12	100000	29.8	152
33	60000	46.9	50	389000	35.5	56
34	20000	46.9	50	389000	35.5	56
35	60000	30	50	389000	35.5	56
36	20000	30	50	389000	35.5	56
37	60000	46.9	12	389000	35.5	56
38	20000	46.9	12	389000	35.5	56
39	60000	30	12	389000	35.5	56
40	20000	30	12	389000	35.5	56
41	60000	46.9	50	100000	35.5	56
42	20000	46.9	50	100000	35.5	56
43	60000	30	50	100000	35.5	56
44	20000	30	50	100000	35.5	56
45	60000	46.9	12	100000	35.5	56
46	20000	46.9	12	100000	35.5	56
47	60000	30	12	100000	35.5	56
48	20000	30	12	100000	35.5	56
49	60000	46.9	50	389000	29.8	56
50	20000	46.9	50	389000	29.8	56
51	60000	30	50	389000	29.8	56
52	20000	30	50	389000	29.8	56
53	60000	46.9	12	389000	29.8	56
54	20000	46.9	12	389000	29.8	56
55	60000	30	12	389000	29.8	56
56	20000	30	12	389000	29.8	56
57	60000	46.9	50	100000	29.8	56
58	20000	46.9	50	100000	29.8	56
59	60000	30	50	100000	29.8	56
60	20000	30	50	100000	29.8	56
61	60000	46.9	12	100000	29.8	56
62	20000	46.9	12	100000	29.8	56
63	60000	30	12	100000	29.8	56
64	20000	30	12	100000	29.8	56

Field Stress

Field stress: constant
Sigma one: 10 kPa (compression positive)
Sigma three: 10 kPa (compression positive)
Sigma Z: 10 kPa (compression positive)
Angle from the horizontal to sigma 1: 0 degrees (counter-clockwise)

Mesh

Mesh type: graded

	Project			Formosa L6-L8 (Sondagem 1) do caso de estudo Formosa
	Analysis Description			
	Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company
	Date	21/08/2025, 10:59:31		File Name Formosa_S1_L6_L8.fez

Element type: 3 noded triangles

Number of elements: 837

Number of nodes: 481

Mesh Quality

7 of 674 Elements (1.0 % of elements) are poor quality elements

3 of 674 Elements (0.4 % of elements) are poor quality elements because of the side length ratio

7 of 674 Elements (1.0 % of elements) are poor quality elements because of the minimum interior angle

0 of 674 Elements (0.0 % of elements) are poor quality elements because of the maximum interior angle

0 of 674 Elements (0.0 % of elements) are poor quality elements because they are inverted

Note: Elements can be of poor quality for more than one reason

Poor quality elements defined as:

Side length ratio (maximum / minimum) > 30.00

Minimum interior angle < 2.0 degrees

Maximum interior angle > 175.0 degrees

Excavation Areas

Original Un-deformed Areas

External Boundary Area: 3289.511 m2

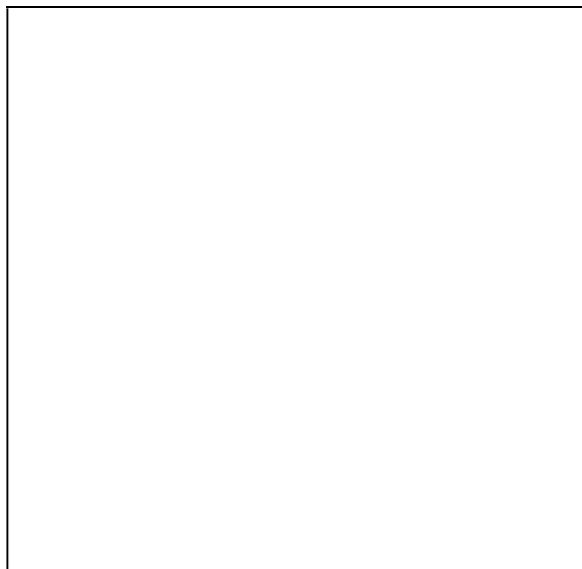
External Boundary Perimeter: 278.908 m

Stage 1

Values not available until this stage is viewed in a window

Material Properties

Material: Arenito/Siltito



 INTERPRET 8.024	Project				
	Formosa L6-L8 (Sondagem 1) do caso de estudo Formosa				
	Analysis Description				
	Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company	
	Date	21/08/2025, 10:59:31		File Name	Formosa_S1_L6_L8.fez

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	18.93 kN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	40000 kPa
Young's modulus (resid)	14000 kPa
Poisson's ratio	0.3
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	0 kPa
Residual tensile strength	0 kPa
Peak friction angle	38.45 degrees
Peak cohesion	31 kPa
Material type	Plastic
Dilation Angle	0 degrees
Residual Friction Angle	38.45 degrees
Residual Cohesion	31 kPa
Piezo to use	None
Ru value	0

Material: MargasC

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	19.45 kN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	244500 kPa
Young's modulus (resid)	70000 kPa
Poisson's ratio	0.3
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	0 kPa
Residual tensile strength	0 kPa
Peak friction angle	32.65 degrees
Peak cohesion	104 kPa
Material type	Plastic
Dilation Angle	0 degrees
Residual Friction Angle	24.85 degrees
Residual Cohesion	106.4 kPa
Piezo to use	None
Ru value	0

Strength Reduction Factor Statistics

Probability of Failure: 30.66 %
Critical SRF mean value: 1.23
Critical SRF std. dev. value: 0.4584

File #	Critical SRF
1	1.89
2	1.89
3	1.4

	Project			Formosa L6-L8 (Sondagem 1) do caso de estudo Formosa
	Analysis Description			
	Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company
	Date	21/08/2025, 10:59:31	File Name	Formosa_S1_L6_L8.fez

4	1.39
5	0.95
6	0.96
7	0.71
8	0.71
9	1.89
10	1.89
11	1.41
12	1.4
13	0.93
14	0.94
15	0.7
16	0.7
17	1.89
18	1.89
19	1.4
20	1.4
21	0.94
22	0.96
23	0.71
24	0.71
25	1.89
26	1.89
27	1.4
28	1.4
29	0.93
30	0.94
31	0.7
32	0.7
33	1.89
34	1.89
35	1.39
36	1.4
37	0.93
38	0.94
39	0.71
40	0.71
41	1.89
42	1.89
43	1.4
44	1.4
45	0.92
46	0.94
47	0.7
48	0.7
49	1.89
50	1.89
51	1.39
52	1.4
53	0.91
54	0.92
55	0.7

	Project			Formosa L6-L8 (Sondagem 1) do caso de estudo Formosa	
	Analysis Description				
	Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company	
	Date	21/08/2025, 10:59:31		File Name	Formosa_S1_L6_L8.fez

56	0.7
57	1.89
58	1.89
59	1.39
60	1.39
61	0.93
62	0.93
63	0.7
64	0.7

Shear Strength Reduction - Material Properties

Strength Reduction Factor: 1
Maximum Total Displacement: 0.112729 m
Converged: yes

Material	Arenito/Siltito
Peak friction angle	38.45 degrees
Peak cohesion	31 kPa
Residual Friction Angle	38.45 degrees
Residual Cohesion	31 kPa

Material	MargasC
Peak friction angle	32.65 degrees
Peak cohesion	104 kPa
Residual Friction Angle	24.85 degrees
Residual Cohesion	106.4 kPa

Strength Reduction Factor: 1.25
Maximum Total Displacement: 0.358367 m
Converged: yes

Material	Arenito/Siltito
Peak friction angle	32.4241 degrees
Peak cohesion	24.8 kPa
Residual Friction Angle	32.4241 degrees
Residual Cohesion	24.8 kPa

Material	MargasC
Peak friction angle	27.1399 degrees
Peak cohesion	83.2 kPa
Residual Friction Angle	20.3296 degrees
Residual Cohesion	85.12 kPa

Strength Reduction Factor: 1.26
Maximum Total Displacement: 0.382457 m
Converged: yes

	Project			
	Formosa L6-L8 (Sondagem 1) do caso de estudo Formosa			
	Analysis Description			
	Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company
Date	21/08/2025, 10:59:31		File Name	Formosa_S1_L6_L8.fez

INTERPRET 8.024

Material	Arenito/Siltito
Peak friction angle	32.2178 degrees
Peak cohesion	24.6032 kPa
Residual Friction Angle	32.2178 degrees
Residual Cohesion	24.6032 kPa

Material	MargasC
Peak friction angle	26.955 degrees
Peak cohesion	82.5397 kPa
Residual Friction Angle	20.1814 degrees
Residual Cohesion	84.4444 kPa

Strength Reduction Factor: 1.31
Maximum Total Displacement: 0.728345 m
Converged: yes

Material	Arenito/Siltito
Peak friction angle	31.2207 degrees
Peak cohesion	23.6641 kPa
Residual Friction Angle	31.2207 degrees
Residual Cohesion	23.6641 kPa

Material	MargasC
Peak friction angle	26.0645 degrees
Peak cohesion	79.3893 kPa
Residual Friction Angle	19.47 degrees
Residual Cohesion	81.2214 kPa

Strength Reduction Factor: 1.34
Maximum Total Displacement: 1.4739 m
Converged: yes

Material	Arenito/Siltito
Peak friction angle	30.6487 degrees
Peak cohesion	23.1343 kPa
Residual Friction Angle	30.6487 degrees
Residual Cohesion	23.1343 kPa

Material	MargasC
Peak friction angle	25.556 degrees
Peak cohesion	77.6119 kPa
Residual Friction Angle	19.0659 degrees
Residual Cohesion	79.403 kPa

Strength Reduction Factor: 1.35
Maximum Total Displacement: 1.69925 m
Converged: yes

 INTERPRET & Q24	Project			
	Formosa L6-L8 (Sondagem 1) do caso de estudo Formosa			
	Analysis Description			
	Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company
Date	21/08/2025, 10:59:31		File Name	Formosa_S1_L6_L8.fez

Material	Arenito/Siltito
Peak friction angle	30.4622 degrees
Peak cohesion	22.963 kPa
Residual Friction Angle	30.4622 degrees
Residual Cohesion	22.963 kPa

Material	MargasC
Peak friction angle	25.3906 degrees
Peak cohesion	77.037 kPa
Residual Friction Angle	18.9348 degrees
Residual Cohesion	78.8148 kPa

Critical Strength Reduction Factor: 1.36
Maximum Total Displacement: 2.08528 m
Converged: yes

Material	Arenito/Siltito
Peak friction angle	30.2778 degrees
Peak cohesion	22.7941 kPa
Residual Friction Angle	30.2778 degrees
Residual Cohesion	22.7941 kPa

Material	MargasC
Peak friction angle	25.2272 degrees
Peak cohesion	76.4706 kPa
Residual Friction Angle	18.8054 degrees
Residual Cohesion	78.2353 kPa

Strength Reduction Factor: 1.37
Maximum Total Displacement: 1.79454 m
Converged: no

Material	Arenito/Siltito
Peak friction angle	30.0953 degrees
Peak cohesion	22.6277 kPa
Residual Friction Angle	30.0953 degrees
Residual Cohesion	22.6277 kPa

Material	MargasC
Peak friction angle	25.0658 degrees
Peak cohesion	75.9124 kPa
Residual Friction Angle	18.6777 degrees
Residual Cohesion	77.6642 kPa

Strength Reduction Factor: 1.5
Maximum Total Displacement: 2.99493 m
Converged: no

	Project			Formosa L6-L8 (Sondagem 1) do caso de estudo Formosa
	Analysis Description			
	Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company
	Date	21/08/2025, 10:59:31	File Name	Formosa_S1_L6_L8.fez

Material	Arenito/Siltito
Peak friction angle	27.8941 degrees
Peak cohesion	20.6667 kPa
Residual Friction Angle	27.8941 degrees
Residual Cohesion	20.6667 kPa

Material	MargasC
Peak friction angle	23.1308 degrees
Peak cohesion	69.3333 kPa
Residual Friction Angle	17.158 degrees
Residual Cohesion	70.9333 kPa

Strength Reduction Factor: 1.75
Maximum Total Displacement: 9.17813 m
Converged: no

Material	Arenito/Siltito
Peak friction angle	24.4048 degrees
Peak cohesion	17.7143 kPa
Residual Friction Angle	24.4048 degrees
Residual Cohesion	17.7143 kPa

Material	MargasC
Peak friction angle	20.11 degrees
Peak cohesion	59.4286 kPa
Residual Friction Angle	14.8231 degrees
Residual Cohesion	60.8 kPa

Joint Properties

Joint: Joint 1

Color	
Normal stiffness	100000 kPa/m
Shear stiffness	10000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Not Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	No slip allowed

Joint: Joint 2

--

 INTERPRET 8.024	<i>Project</i> Formosa L6-L8 (Sondagem 1) do caso de estudo Formosa			
	<i>Analysis Description</i>			
	<i>Drawn By</i>	Renato Rolo	<i>Scale</i>	<i>Company</i>
	<i>Date</i>	21/08/2025, 10:59:31		<i>File Name</i> Formosa_S1_L6_L8.fez

Color	
Normal stiffness	100000 kPa/m
Shear stiffness	10000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Not Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	No slip allowed

Joint Networks

Joint Network 1

Multiple Joint Sets: Yes

Joint Set 1

Joint Model	Parallel Deterministic
Joint Property	Joint 1 
Orientation: Use Trace Plane	Yes
Trace Plane Dip Direction	90 deg
Dip	88 deg
Dip Direction	345 deg
Spacing	5 m
Initial Location	Random
Infinite Length	No
Joint Ends	All Closed

Joint Set 2

Joint Model	Parallel Deterministic
Joint Property	Joint 2 
Orientation: Use Trace Plane	Yes
Trace Plane Dip Direction	90 deg
Dip	66 deg
Dip Direction	319 deg
Spacing	5 m
Initial Location	Random
Infinite Length	No
Joint Ends	All Closed

Displacements

Displacement data is not available until total displacement is viewed in a window

Yielded Elements

 INTERPRET & Q24	<i>Project</i> Formosa L6-L8 (Sondagem 1) do caso de estudo Formosa			
	<i>Analysis Description</i>			
	<i>Drawn By</i>	Renato Rolo	<i>Scale</i>	<i>Company</i>
	<i>Date</i>	21/08/2025, 10:59:31		<i>File Name</i> Formosa_S1_L6_L8.fez

Yielded Mesh Elements

Number of yielded mesh elements is not available for Stage 1 until the stage is viewed in a window

List of All Coordinates

External boundary

X	Y
0.0452599	6.31845
0.0452599	3.81845
109.201	3.81845
109.196	38.467
104.851	38.1826
99.6145	37.9551
91.4538	37.899
78.3744	37.7636
77.4469	37.2855
74.178	37.1884
70.6367	38.2678
64.4291	38.6106
63.9952	38.9513
62.9035	39.0724
59.3167	40.1284
56.201	41.8408
55.4214	41.959
54.6336	41.6477
49.8955	41.5652
47.4206	40.8468
37.34	41.5328
35.579	41.5167
33.7573	40.4013
32.8985	39.3422
30.9014	37.1761
30.2318	35.8609
28.1146	33.8982
26.7175	32.1904
25.5849	29.658
23.6593	26.9301
23.0146	26.8686
22.3606	27.2532
21.7055	27.2507
21.0701	27.2601
20.6268	26.4666
20.2728	26.067
20.3677	25.7573
20.3104	25.3175
18.5547	23.9161
15.0107	20.9645
14.0267	20.2819
13.384	19.9963



Project			
Formosa L6-L8 (Sondagem 1) do caso de estudo Formosa			
Analysis Description			
Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company
Date	21/08/2025, 10:59:31		File Name
			Formosa_S1_L6_L8.fez

12.8557	20.2781
12.5221	20.4962
12.2572	20.3143
11.0854	19.3285
10.3057	18.3826
9.83809	16.0995
9.77988	14.9942
9.82354	12.3182
9.89649	11.3113
10.0856	11.0204
10.1028	10.7237
10.0539	10.3046
9.42405	9.87997
6.62386	9.32246
0.0452599	8.81845

Material boundary

X	Y
0.0452599	6.31845
7.77892	6.88257
12.9366	8.32123
18.2176	12.3632
27.6259	21.4265
31.8849	26.2101
35.9243	30.072
37.6806	32.0468
39.0935	33.1701
39.9917	33.5327
40.7981	33.643
41.097	33.6599
41.1858	33.6601
44.3835	33.854
48.3618	34.4701
53.0966	35.7302
56.2344	36.5983
59.4002	37.6624
61.6696	38.4185
62.9035	39.0724

 INTERPRET 8.024	Project Formosa L6-L8 (Sondagem 1) do caso de estudo Formosa			
	Analysis Description			
	Drawn By	Renato Rolo	Scale	Company
	Date	21/08/2025, 10:59:31		File Name

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Eu, **RENATO RODRIGUES ROLO**, N.º CC: 15519308,

Declaro ter conduzido e desenvolvido este trabalho académico com integridade e ética. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à elaboração da dissertação/projeto/estágio.

Declaro ainda que não recorri a ferramentas de inteligência artificial (IA) — texto, imagem, vídeo ou outro formato — apenas para fins académicos de pesquisa avançada de tópico específico e ainda fiz devida citação deste recurso sem colocar em causa os direitos de autor ou uso indevido de informações ou falsificação de conteúdos.

Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

ISEP, Porto, 22 de setembro de 2025

RENATO RODRIGUES ROLO