

Imagens aéreas na análise de risco de estabilidade de taludes costeiros: estudo exploratório através da ferramenta Google Earth

ISABEL CRISTINA PACHECO LEAL
Outubro de 2023



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Imagens aéreas na análise de risco de estabilidade de taludes costeiros: estudo exploratório através da ferramenta Google Earth

Isabel Cristina Pacheco Leal



2023

(página propositadamente em branco)



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Imagens aéreas na análise de risco de estabilidade de taludes costeiros: estudo exploratório através da ferramenta Google Earth

Satellite images in coastal slope stability risk analysis: an exploratory study using the Google Earth tool

Isabel Cristina Pacheco Leal

1210621

*Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente**, realizada sob a orientação do Doutor António Agostinho Martins Mendonça, Professor Adjunto Convidado no Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.*

(página propositadamente em branco)

Agradecimentos

Um agradecimento à minha família por me proporcionar a melhor educação. Um especial agradecimento ao meu Irmão, o meu maior apoio, por ajudar-me nos momentos mais complicados desta etapa; sempre me incentivar a não desistir e ter mantido sempre a paciência.

Ao meu orientador, Doutor António Mendonça (DEG|ISEP) pela proposta do tema, pelo auxílio no desenvolvimento deste trabalho e a transmissão do seu conhecimento.

A todos os professores do curso de mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente do ISEP que permitiram a consolidação de todos os ensinamentos.

A todos os colegas de curso que me acompanharam nesta jornada, por todo o carinho, paciência para me ajudar e por possibilitarem que estes dois anos fossem mais bem passados.

Aos meus amigos, por me ouvirem sempre que precisei e, assim, tornarem esta fase mais leve.

(página propositadamente em branco)

Júri

Presidente

Doutor Helder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé

Professor Coordenador com Agregação, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutora Maria José Coxito Afonso

Professora Adjunta, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor José Augusto Alves Teixeira

Professor Auxiliar, Departamento de Geografia, Faculdade de Letras da Universidade do Porto

Doutor António Agostinho Mendonça

Professor Adjunto Convidado, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

*A dissertação de **mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente (MEGG)** foi apresentada e defendida em prova pública, por **Isabel Cristina Pacheco Leal**, em 23 de Outubro de 2023 mediante o júri nomeado, em que foi atribuída, por unanimidade, a classificação final de **12 (doze) valores**, cuja fundamentação se encontra em acta. Todas as correções pontuais determinadas pelo júri, e só essas, foram efectuadas.*

Dedico ao meu Irmão, pelo amor e carinho que sempre me transmitiu e por sempre me apoiar e incentivar até ao final desta caminhada...

(página propositadamente em branco)

Palavras-chave

Talude, Estabilidade, Google Earth, Risco Geotécnico, Matriz

Resumo

Este trabalho tem como enfoque a análise de estabilidade de taludes com recurso a imagem aérea de satélite obtida através da ferramenta Google Earth. Para a análise foi criada e implementada uma matriz subdividida em três tabelas com características que influenciam a estabilidade taludes. A primeira tabela diz respeito a tópicos analisados na imagem de satélite, na segunda consiste numa análise secundária com recurso a ferramenta google Earth e à investigação de informação referente ao local e a terceira tabela conta com uma análise de campo com características observacionais e geomecânicas. A matriz é quantificada com valores compreendidos entre 1 e 3, sendo 1 o de menor risco. A matriz foi aplicada a três casos distintos que apresentavam um recuo evidente da linha de crista observada nas imagens de satélite, são eles: São Pedro de Moel, Paimogo e Assentiz. Estes três locais distinguem-se por apresentarem condições geológico-geotécnicas e geometrias dos próprios taludes distintas. Inicialmente tem-se como procedimento a observação das imagens de satélite dos respetivos locais, de períodos distintos, de forma a identificar a crista dos taludes em cada imagem. Posteriormente, as linhas de cristas são sobrepostas e comparadas com intuito de se observar o recuo da crista representado pelas linhas. Os locais de recuo foram individualizados em números de taludes e estudados singularmente com a aplicação da matriz. Esta metodologia apresenta algumas limitações e dificuldade de obtenção de certos parâmetros que podem ser colmatadas com futuras melhorias, no entanto, salienta-se a vantagem desta metodologia ter uma aplicação remota e poder ser utilizada como ferramenta de identificação expedita e preliminar na deteção de zonas com risco de instabilidade, para posterior análise mais detalhada e rigorosa.

(página propositadamente em branco)

Keywords

Slope, Stability, Google Earth, Geotechnical Risk, Matrix

Abstract

This work focuses on the slope stability analysis using aerial satellite images obtained through the Google Earth tool. A matrix was created and implemented for the analysis, subdivided into three tables with characteristics that influence slope stability. The first table refers to topics analyzed in the satellite image, the second consists of a secondary analysis using the Google Earth tool and investigating information regarding the site, and the third table includes a field analysis with observational and geomechanical characteristics. The matrix is quantified with values between 1 and 3, with 1 being the lowest risk. The matrix was applied to three cases showing a clear retreat of the ridgeline observed in the satellite images: São Pedro de Moel, Paimogo and Assentiz. These three sites are distinguished by their different geological-geotechnical conditions and slope geometries. Initially, the procedure was to look at satellite images of the respective sites from different periods to identify the crest of the slopes in each image. Subsequently, the ridge lines were superimposed and compared to observe the ridge retreat represented by the lines. The retreat locations were individualized in the number of slopes and studied singularly with the matrix application. This methodology has some limitations, and it is difficult to obtain specific parameters, which can be overcome with future improvements. However, the advantage of this methodology is that it can be applied remotely and used as a practical and preliminary identification tool for detecting areas at risk of instability for later more detailed and rigorous analysis.

(página propositadamente em branco)

Índice

1. Introdução	3
2. Estabilidade de taludes	9
2.1. Tipos de taludes	9
2.2. Tipos de movimentos de massa	9
2.3. Condicionantes da estabilidade de taludes	13
2.4. Tipos de rotura em taludes rochosos.....	16
2.5. Tipos de rotura em taludes de solos	18
2.6. Bases da análise da estabilidade de taludes	18
2.6.1. Taludes rochosos.....	19
2.6.2. Taludes em solo.....	22
2.7. Outras abordagens da avaliação da estabilidade de taludes.....	22
2.7.1. Risco: definições gerais	22
2.7.2. Mapa de Risco	25
3. Proposta de uma metodologia.....	29
3.1. Introdução.....	29
3.2. Deteção remota e as imagens de satélite	29
3.2.1. Programas e Satélites de observação terrestres.....	30
3.3. Fotogrametria	33
3.4. Proposta de definição de matriz de risco de estabilidade	34
3.4.1. Fluxograma do método	35
3.4.2. Proposta de Matriz.....	37
4. Caso de estudo	45
4.1. Praia de São Pedro de Moel	47
4.1.1. Enquadramento geral.....	47
4.1.2. Enquadramento geológico e geomorfológico.....	47
4.2. Praia de Paimogo.....	49
4.2.1. Enquadramento geral.....	49
4.2.2. Enquadramento geológico e geomorfológico.....	49
4.3. Praia de Assentiz	52
4.3.1. Enquadramento geral.....	52
4.3.2. Enquadramento geológico e geomorfológico.....	52
4.4. Aplicação	54
4.4.1. Generalidades	54
4.4.2. São Pedro de Moel	58
4.4.3. Paimogo.....	64
4.4.4. Assentiz	70
5. Resultados	75
5.1. São pedro de Moel	76
5.2. Paimogo.....	79
5.3. Assentiz	82
6. Considerações finais.....	87
Bibliografia	89
Webgrafia	91
Anexos	93

(página propositadamente em branco)

Índice de figuras

Figura 1 - Queda em blocos (Bezerra, 2019).....	10
Figura 2 - Balanceamento/tombamento (Bezerra, 2019).....	10
Figura 3 - Deslizamento Rotacional e Transacional (Bezerra, 2019).....	11
Figura 4 - Escoadas (Bezerra, 2019).....	12
Figura 5 - Expansão lateral (Bezerra, 2019).....	12
Figura 6 - Rotura planar (Rodrigues, 2013).....	16
Figura 7 - Rotura por cunha (Rodrigues, 2013).....	17
Figura 8 – ‘Toppling’ (Rodrigues, 2013).....	17
Figura 9 - Rotura Circular (Rodrigues, 2013).....	18
Figura 10 - Representação esquemática das propriedades geológico/geotécnicas das descontinuidades (Dias, 2018).....	20
Figura 11 - Fluxograma do processo.....	36
Figura 12 - Imagem 3D de São Pedro de Moel (Geoportal visualizador 3D).....	45
Figura 13 - Imagem 3D de Paimogo (Geoportal visualizador 3D).....	45
Figura 14 - Imagem 3D de Assentiz (Geoportal visualizador 3D).....	46
Figura 15 - Comparação geológica dos 3 caso (Geoportal visualizador 3D).....	46
Figura 16 - Carta Geológica 1:50 000 da Marinha Grande (Geoportal LNEG).....	48
Figura 17 - Carta Geológica 1:50 000 da Lourinhã (Geoportal LNEG).....	49
Figura 18 - Litologia da Lourinhã (Epifânio, 2013).....	51
Figura 19 - Litologia de Sintra (Fonseca, 2009).....	53
Figura 20 - Alteração da face do talude de Paimogo.....	55
Figura 21 - Intervenção talude 2 de São Pedro de Moel.....	56
Figura 22 - Possível diáclase em São Pedro de Moel.....	57
Figura 23 - Imagem de satélite 1 de São Pedro de Moel - Talude 1/2/3.....	58
Figura 24 - Imagem de satélite 2 de São Pedro de Moel - Talude 4.....	59
Figura 25 - Imagem de satélite 3 de São Pedro de Moel - Talude 5/6.....	59
Figura 26 - Planos definidos de estratificação.....	61
Figura 27 - Intervenções em São Pedro de Moel.....	62
Figura 28 - Talude 3 e seu preenchimento.....	62
Figura 29 - Talude 4.....	63
Figura 30 - Talude 5.....	63
Figura 31 - Imagem de satélite 1 de Paimogo - Talude 1/2/3.....	64
Figura 32 - Imagem de satélite 2 de Paimogo - Talude 3/4/5.....	65
Figura 33 - Imagem de satélite 3 do Caniçal - Talude 6.....	65
Figura 34 - Imagem de satélite 4 do Caniçal - Talude 6.....	66
Figura 35 - Visão completa da praia de Paimogo e Caniçal.....	67
Figura 36 - Degradação do Forte e cimento projetado.....	68
Figura 37 - Alteração do talude, camada mais resistente e blocos.....	68
Figura 38 – Filão.....	69
Figura 39 - Imagem de satélite 1 de Assentiz - Talude 1.....	70
Figura 40 - Talude analisado.....	71
Figura 41 - Talude oposto.....	72
Figura 42 - Alteração parte final do talude.....	72

(página propositadamente em branco)

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Tipos de rotura em taludes rochosos.....	16
Tabela 2 - Características de identificação dos taludes e a sua importância.....	21
Tabela 3 - Missão Sentinel.	32
Tabela 4 - Tabela A da análise preliminar em satélite.	39
Tabela 5 - Tabela B da análise secundária em gabinete.	40
Tabela 6 - Tabela C - Ficha técnica.	42
Tabela 7 - Dados imagem de satélite 1 de São Pedro de Moel.....	60
Tabela 8 - Dados imagem de satélite 2 de São Pedro de Moel.....	60
Tabela 9 - Dados imagem de satélite 3 de São Pedro de Moel.....	60
Tabela 10 - Dados imagem de satélite 1 da Praia de Paimogo.	66
Tabela 11 - Dados imagem de satélite 2 da Praia de Paimogo.	66
Tabela 12 - Dados imagem de satélite 3 e 4 da Praia de Paimogo.	67
Tabela 13 - Dados imagem de satélite 1 da Praia de Assentiz.	70
Tabela 14 - Resultados da Tabela A e B para São Pedro de Moel.....	77
Tabela 15 - Resultados da Tabela C para São Pedro de Moel.	78
Tabela 16 - Resultados da Tabela A e B para Paimogo.	80
Tabela 17 - Resultados da Tabela C para Paimogo.	81
Tabela 18 - Resultados da Tabela A e B para Assentiz.	83
Tabela 19 - Resultados da Tabela C para Assentiz.	84

(página propositadamente em branco)

Capítulo I

Introdução

(página propositadamente em branco)

1. Introdução

O presente trabalho foi realizado no âmbito da unidade curricular de 'Dissertação/Projeto/Estágio', no decorrer do 2º ano do curso de mestrado de Engenharia Geotécnica e Geoambiente do Instituto Superior de Engenharia do Porto, com vista a conclusão do mestrado.

Este trabalho tem como objetivo a implementação de um procedimento de criação de uma matriz de risco aplicada a encostas que permita, de uma forma expedita, a identificação de locais de alerta.

O risco pode ser definido como “qualquer processo mais ou menos violento ou catastrófico que possa afetar pessoas ou bens” tendo em consideração as condições socioeconómicas do local envolvido ou seja os custos e perdas que podem estar associados a um fenómeno (Vallejo et al., 2002).

Todos os dias somos deparados com notícias e histórias de desastres que acontecem repentinamente trazendo consequências para as populações, indivíduos ou ecossistemas e causando, muitas vezes, grandes danos materiais. Este é um assunto que cada vez mais é abordado tanto pela mídia como por todas as plataformas comunicacionais que temos disponíveis nos dias de hoje, estando estas informações à disposição em poucos segundos, a qualquer pessoa.

Cada vez mais existe a necessidade e consciência que é fundamental prevenir certos desastres naturais de forma a impedir que haja consequências de maior. De entre os vários desastres naturais é de destacar aqueles relacionados com a instabilidade de taludes. A instabilidade de taludes pode resultar na queda de blocos e de materiais do próprio talude, podendo compreender um grande risco para a população. Atualmente existe cada vez mais ferramentas para o cálculo e determinação do risco no entanto grande parte passa por deteção e análise no local. Uma vez que a generalização desse tipo de análise não é viável para áreas alargadas com potencial de instabilidade, a metodologia proposta criada no âmbito deste projeto pretende colmatar esse problema, uma vez que permite a identificação de locais com possibilidade de instabilização através de uma análise remota desenvolvida numa primeira fase para posteriormente, caso seja indiciado um determinado cenário de alerta, se realizar uma análise de campo complementar mais detalhada.

Esta dissertação é subdividida em 6 Capítulos aos quais se anexam um conjunto de elementos de detalhe dos trabalhos elaborados.

Os primeiros 2 Capítulos compreendem a introdução e ao estado da arte denominado como estabilidade de taludes onde se inclui o risco como uma metodologia de análise de estabilidade. No primeiro são tratados os tipos de taludes definidos e quais os movimentos de massa que podem ocorrer em taludes naturais. Além disso, são ainda apresentados os tipos de rotura em taludes

rochosos e fatores que condicionam esses movimentos. É feito ainda a apresentação das metodologias numéricas de avaliação de estabilidade de taludes. No subcapítulo do risco são abordados assuntos gerais relacionados com as principais definições do risco e conceitos associados, sendo ainda apresentado um breve resumo relativamente aos diferentes mapas de risco.

Posteriormente é apresentada a proposta de metodologia, onde inicialmente são expostas algumas bases relativamente à deteção remota e às metodologias de imagem aéreas de forma a enquadrar as diferentes opções de obtenção de imagens áreas e quais as vantagens de cada uma. É abordado em especial o tema das imagens obtidas por satélite uma vez que estas correspondem à base da metodologia proposta. No seguimento deste Capítulo é explicitada a metodologia adotada e o faseamento da obtenção da matriz criada representadas pelo fluxograma do processo.

Por fim, a matriz criada é aplicada aos diferentes casos enquadrados, apresentando-se os resultados e expondo uma síntese de matriz criada para cada caso. Em forma de conclusão são interpretados os resultados obtidos e são comparados os diferentes casos abordados. São ainda referidas as limitações da metodologia proposta bem como possíveis melhorias que podem ser implementadas futuramente.

Neste documento são apresentados 3 Anexos. O primeiro ilustra um conjunto de imagens de satélite dos 3 locais analisados no âmbito do procedimento do trabalho desenvolvido. No segundo Anexo encontram-se todas as matrizes criadas e os respetivos valores de risco. Por fim, no último Anexo são incluídas imagens relevantes tiradas pela autora dos locais de análise que evidenciam factos importantes.

A matriz criada no âmbito deste trabalho compreende 3 Tabelas, correspondente ao faseamento do estudo. Para a primeira, designada por tabela A, é feita uma análise com recurso a imagem de satélite obtida mediante à ferramenta Google Earth. A segunda (Tabela B) consiste numa análise de gabinete através de informações determinadas através de pesquisas em notícias, bibliografia, ou outras fontes conhecidas como seja o caso de relatos verbais. A terceira (Tabela C), e última, compreende uma análise complementar de detalhe desenvolvida em campo para avaliação das características observacionais e geológico-geomecânicas relevantes para o problema previamente indiciado.

O aspeto mais diferencial deste estudo corresponde à análise relativa aos tópicos das Tabelas A e B remotamente com recurso a imagem de satélite. A imagem de satélite permite uma observação temporal do mesmo local em períodos distintos. Com estas imagens é feita uma comparação das linhas de crista para a seleção dos taludes alvo de estudo. Além disso são ainda recolhidas outras

informações aproximadas como a altura, inclinação, quantidade de blocos deslocados, relevo e topografia.

Cada tabela permitirá a obtenção de um valor índice compreendido entre 1 e 3 quantificador expedito do risco associado, assim como o valor global calculado pela ponderação das 3 tabelas. Os 3 limites são de risco nulo ou baixo (verde), mediano (amarelo) ou elevado (vermelho). Os limites numéricos definidos para o verde são de 1,2, inclusive, para a tabelas A e 1,4, inclusive, para as Tabelas B e C e valor global. Valores entre 1,2 até 2,5, inclusive, foram convencionados para o limite amarelo no caso da tabela A assim como valores entre 1,4 até 2,5 para as restantes tabelas e risco global. Os valores superiores a 2,5 até 3 corresponderão ao limite vermelho.

Portugal tem uma grande lista de taludes que se encontram potencialmente instáveis. Dentro deles, os localizados na orla costeira, por consequência da ação hidrodinâmica das ondas nestes taludes, modificação da dinâmica dos sedimentos, ação das obras costeiras, etc, quando associadas às condicionantes de ocupação territorial, geométricas e geológico-geotécnicas constituem estruturas relevantes que justificam a sua investigação e análise contínua. Essa importância fundamentou a seleção desse particular tipo de taludes para aplicação prática da metodologia geral proposta.

Para aplicação prática foram particularmente escolhidos locais onde com recurso ao google earth, eram, em períodos temporais distintos, facilmente detetadas alterações nesses taludes ao nível do recuo da crista. Por esse facto os locais selecionados foram as zonas de São Pedro de Moel, Paimogo e Assentiz. Estes locais distinguem-se pela sua morfologia e geologia uma vez que estamos perante taludes de diferentes alturas e inclinações e geologias distintas (i.e., rochas sedimentares e ígneas).

Salienta-se que a metodologia poderá ser melhorada uma vez que existem algumas limitações ao procedimento e que são apresentadas nas considerações finais. Apesar disso, fica evidente o potencial da metodologia como ferramenta de identificação expedita e preliminar na deteção de zonas com risco de instabilidade cuja análise mais detalhada poderá ser avaliada em fases posteriores com recurso a metodologias e recursos mais rigorosos e fiáveis.

(página propositadamente em branco)

Capítulo II

Estabilidade de taludes

(página propositadamente em branco)

2. Estabilidade de taludes

2.1. Tipos de taludes

Como é apresentado em Cruz (2017), um talude é definido como qualquer superfície inclinada que limita um maciço de terra, rocha ou de solo e rocha. Normalmente pode-se categorizar em dois tipos de taludes, os naturais e os artificiais. Os naturais, contrariamente aos segundos, são taludes não intervencionados pelo homem e que por isso são resultado de condições geológicas ou geomorfológicas específicas. Devido esse facto, normalmente, estes taludes são pouco homogêneos e com presença de variações geológicas, das quais as descontinuidades e as alterações do maciço são as preponderantes. Um dos exemplos mais frequentemente observado de taludes naturais são as encostas e no caso dos taludes artificiais destacam-se os aterros e os cortes (Cruz, 2017). Os taludes naturais também podem ser constituídos por solo residual e/ou sedimentar e rocha mais ou menos alterada.

2.2. Tipos de movimentos de massa

Segundo Soares (2013) um movimento de massa é um movimento de descida rápido de massa ou de vertente, constituído por massa de rocha ou solo devido à ação da gravidade com progressão do material de montante para jusante em direção ao exterior.

A classificação de um movimento de massa é complexa pois é dependente de vários fatores de entre os quais a variedade de materiais e processos existentes. Para se realizar esta classificação é necessário analisar parâmetros como velocidade e mecanismo do movimento, características dos materiais, modo de deformação, geometria do movimento e quantidade de água envolvida (Santos, 2020).

O conhecimento das causas destes movimentos é de extrema importância, uma vez que, a partir deste conhecimento é possível realizar-se o controle de taludes, naturais ou artificiais. Existem dois tipos de causas dos movimentos: as externas e as internas. No primeiro caso os mecanismos externos à massa envolvida são capazes de superar sua resistência de corte causando assim a sua rotura. Relativamente ao segundo caso, as causas internas, é o próprio mecanismo que leva à rotura, provocado pela redução da sua resistência ao corte, de forma que as forças externas impostas sobre a massa, por consequência, tornem-se superiores (Bell, 2007).

Os tipos de movimentos de massa podem-se dividir em 5 grupos principais: queda de blocos, Balançamento/tombamento, Deslizamento, Escoamento e Expansão lateral, podendo ainda ser

considerado um sexto grupo como os movimentos complexos, envolvendo combinações de dois ou mais tipos. Estes grupos são então definidos como:

Queda em blocos (“fall”) – corresponde ao desprendimento de uma massa de qualquer tamanho de uma encosta, com descida em queda livre ou em rolamento (Bezerra, 2019), podendo ainda ser definido como o deslocamento de solo ou rocha ao longo de uma superfície sem movimentos tangenciais. Dependendo do tempo de material presente, este movimento pode ser classificado como desabamento rochoso, desabamento de detritos ou desabamento de terra. São caracterizados como movimento de grande velocidade e são consequências de planos de fraqueza como planos de descontinuidades, diáclases, falhas, etc. Este tipo de movimentos é frequentemente encontrado em locais com forte erosão marinha por conta do escavamento natural da base do talude (Soares, 2013).

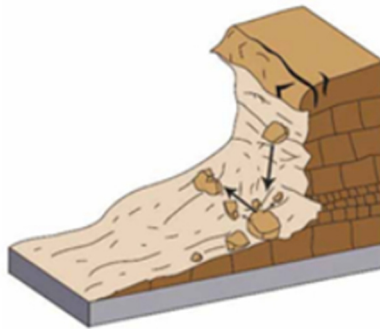


Figura 1 - Queda em blocos (Bezerra, 2019).

Balanceamento/tombamento (“topple”) – é traduzido pelo movimento de rotação em queda-livre de um bloco em torno de um eixo fixo, por a ação da gravidade e de forças exercidas por unidades próximas a este bloco ou fluidos presentes em diaclases e fraturas (Soares, 2013).



Figura 2 - Balanceamento/tombamento (Bezerra, 2019).

Deslizamento (“slide”) – Consiste num movimento corte de solo ou rocha ao longo de planos de rutura ou de zonas relativamente estreitas, alvo de intensa deformação tangencial. Existem dois tipos, o deslizamento planar ou transaccional e o rotacional (Soares, 2013a). No primeiro caso a massa movimenta-se para fora em sentido descendente numa superfície mais ou menos planar ou com poucas ondulações. No segundo caso o escorregamento sucede ao longo de uma superfície de rutura com curvatura côncava e o movimento é mais ou menos rotacional em torno de um eixo que é paralelo à encosta. Estes dois tipos de movimentos têm predominâncias diferentes, uma vez que o deslizamento planar ocorre frequentemente ao longo de descontinuidades geológicas e em contato entre o solo e a rocha, enquanto o rotacional normalmente desenvolve-se em materiais homogéneos. Ambos os deslizamentos são em geral bastante comuns na maioria das encostas costeiras (Bezerra, 2019).

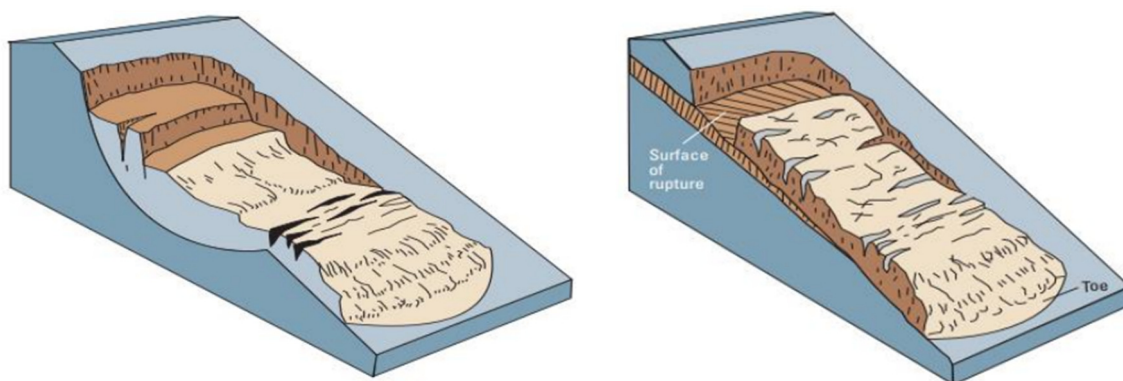


Figura 3 - Deslizamento Rotacional e Transaccional (Bezerra, 2019).

Escoada (“flow”) – Corresponde a um movimento espacialmente contínuo em direção à parte superior de um corpo em movimento, em que a velocidade vai aumentando ao longo do tempo e as superfícies de corte geralmente não são evidentes ou são mal preservadas. Este tipo de movimento é comum em encostas compostas por materiais argilosos pouco resistentes originando fluxos de lama que contribuem para o recuo dos taludes. As tensões da massa afetada e a distribuição das velocidades têm semelhanças com o comportamento de um líquido viscoso (Soares, 2013a) e (Bezerra, 2019).

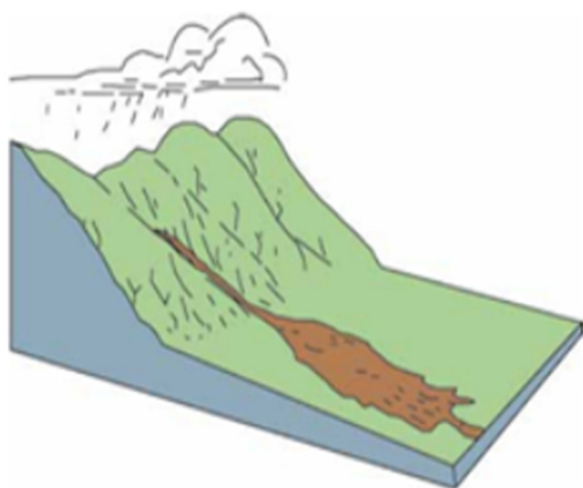


Figura 4 - Escoadas (Bezerra, 2019).

Expansão lateral (“lateral spread”) – Este tipo de movimento ocorre quando a rotura é acompanhada de subsidência de materiais mais fracos em encostas, geralmente, muito suaves ou planas e a camada resistente de solo ou rocha movimenta-se sobre uma camada pouco resistente. Este tem um fenómeno característico de apresentar movimentação muito lenta (Bezerra, 2019).

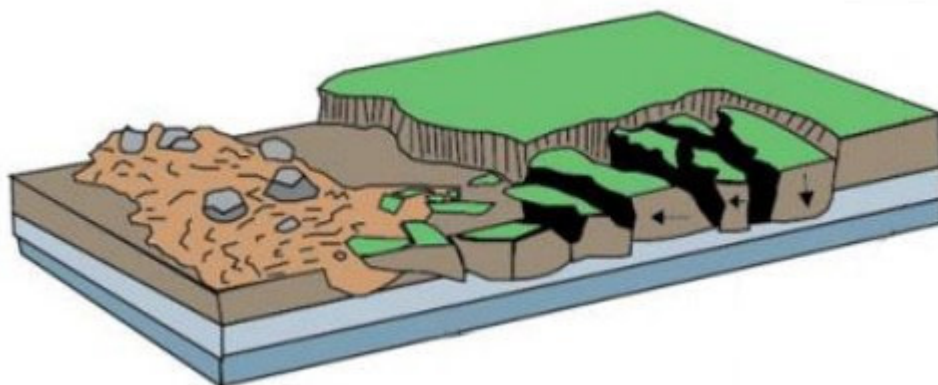


Figura 5 - Expansão lateral (Bezerra, 2019).

Além destes casos pode ainda ocorrer uma combinação de vários tipos de movimentos de massa. Os movimentos de massa ocorrem sempre de forma a estabilizar a face do talude que se tornou instável por qualquer motivo como será visto a diante (Soares, 2013).

2.3. Condicionantes da estabilidade de taludes

Os diferentes tipos de movimentos em vertentes rochosas estão condicionados pelo grau de fracturação do maciço rochoso e pela orientação e distribuição das descontinuidades em relação às vertentes, sendo que a estabilidade das mesmas é definida pelos parâmetros de resistência das descontinuidades e da matriz rochosa. No caso de taludes de solo ou de rocha alterada, essencialmente, a estabilidade é definida pela resistência da massa potencialmente instável.

Contudo existem diversos outros fatores que podem condicionar e/ou desencadear os movimentos de vertentes, por isso é importante saber o que leva a ocorrência destes fatores, uma vez que, são eles que modificam as forças internas e externas que atuam sobre o solo e rochas levando a efeitos potencialmente desastrosos.

Em Araújo (2019) é apresentado que estes fatores podem ser divididos em dois grupos, ativos e passivos, correspondendo respetivamente aos:

- fatores que desencadeiam, normalmente fatores externos que provocam instabilidade no talude, e que por sua vez, influenciam na magnitude e velocidade dos movimentos, sendo que os mais importantes são a precipitação, as movimentações de água nas vertentes, a modificação da geometria, a erosão e os terremotos, pela conta da sua prevalência e alteração observada, não excluindo ainda a ação antrópica que, no que lhe diz respeito, influencia na movimentação de águas e na geometria;
- fatores condicionantes que dependem da natureza, estrutura e forma do terreno, dos quais, a estrutura geológica, as características das descontinuidades, as condições hidrogeológicas e os estados de tensão-deformação do maciço, as propriedades físicas, a resistência dos materiais e as características morfológicas e geométricas do talude.

Seguidamente detalham-se alguns os fatores condicionantes da estabilidade de taludes (Araújo, 2019).

a) Estrutura geológica-estratigráfica-litológica e o relevo

O relevo corresponde a um parâmetro, por vezes, com um papel muito importante na estabilidade dos taludes, uma vez que, quanto maior pendente, maior é a probabilidade de ocorrência de movimentos de vertente.

Relativamente ao conhecimento das estruturas geológicas, stratigráficas e litológicas é um dado fulcral uma vez que o seu conhecimento permite determinar o potencial de movimentos no

material solo/rocha. Ademais, quanto maior existência de planos de descontinuidade, maior a probabilidade de atuarem como superfícies de rotura. A probabilidade do maciço sofrer roturas e/ou movimentos de vertente pode ser extrapolada a partir do conhecimento da composição, da resistência, da deformabilidade, dos graus de alteração e fracturação, da porosidade e da permeabilidade do maciço.

b) Comportamento hidrogeológico

O efeito hidrogeológico do local é influenciado pelas características litológicas e estruturais, do grau de alteração e de meteorização, e ainda, pelas condições climáticas. A existência de água no talude vai reduzir substancialmente a sua estabilidade uma vez que diminuirá a resistência ao corte do maciço e, por outro lado, aumenta as forças que promovem a instabilidade (aumento das forças de corte) por aumento do peso e ocorrência de forças desestabilizadoras em fendas e descontinuidades.

c) Propriedades resistentes e geomecânicas

As propriedades resistentes e geomecânicas controlam a resistência ao corte dos materiais e a sua rotura. Sabe-se que os solos pelas suas características têm uma caracterização menos complexa, ao contrário dos maciços rochosos, nos quais, as propriedades geomecânicas dependem do grau de fracturação que pode ser muito variado e aleatório. Nestes casos a resistência e comportamento do maciço são determinados pelas propriedades da matriz e das descontinuidades.

Quanto aos fatores desencadeantes da estabilidade de taludes destacam-se os seguintes (Araújo, 2019):

a) Precipitações e condições meteorológicas e climáticas

A precipitação e as condições meteorológicas e climáticas assumem um papel relevante, pois corresponde a um evento que depende muito do local em questão e varia por conta da sazonalidade. Este fator varia no seu volume, intensidade e distribuição. A água resultante da precipitação infiltra-se no solo dando origem a pressões que alteram o estado de tensão promovendo a erosão interna e externa e conduzindo a alterações na composição mineralógica. No caso das rochas a água circula pelas fendas, meteorizando o material e provocando o aumento de fissuras no seu interior. Além disso, em episódios de precipitação intensa podem ocorrer

movimentos superficiais, como desprendimentos de blocos rochosos, previamente soltos do maciço.

O aparecimento de deslizamentos profundos, ou de grande magnitude, está relacionado com condições climáticas de grande precipitação e humidade a longo prazo que conduzem a modificações dos níveis freáticos e da quantidade de água presente no maciço em questão.

b) Processos erosivos

Os processos erosivos podem resultar na perda de resistência e modificação do estado de tensões, instabilizando assim o talude, podendo gerar deslizamentos ou desprendimentos no mesmo. Estes processos podem ocorrer em todos os pontos do talude desde o pé até à crista. Um exemplo deste tipo de fator de instabilidade corresponde à erosão das zonas costeiras pelo efeito do vento e das marés cuja incidência resulta no recuo dos taludes.

c) Atividade humana

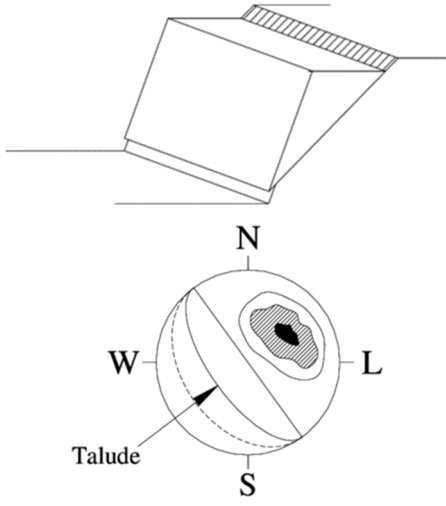
Este tópico corresponde ao fator mais influente da lista pois qualquer intervenção humana pode resultar em possíveis instabilidades dos taludes ou à reativação e/ou aceleramentos de instabilidades já existentes. Intervenções como escavações, a construção de represas e reservatórios, a construção de edifícios, ou estruturas especiais, entre outras, faz com que se modifiquem os estados de tensão-deformação do terreno e, conseqüentemente, as suas propriedades geotécnicas, gerando assim instabilidades. Além disso, essas intervenções podem desencadear a modificação do comportamento hidrogeológico da vertente e variar os níveis freáticos e os fluxos correspondentes, dando assim lugar à acumulação de água em determinadas zonas (Araújo, 2019) que igualmente poderão potenciar instabilidades.

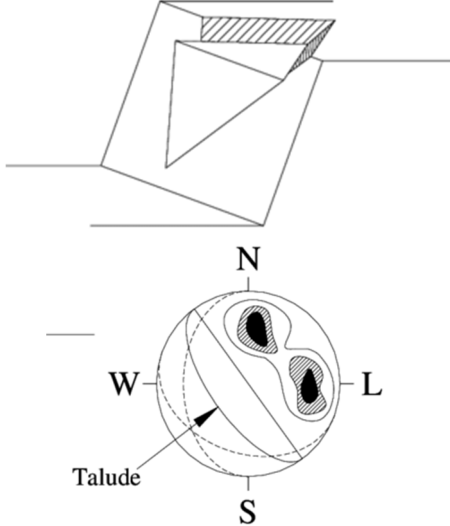
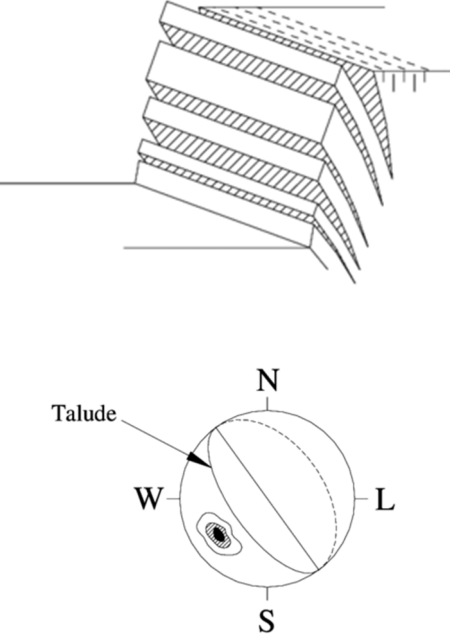
2.4. Tipos de rotura em taludes rochosos

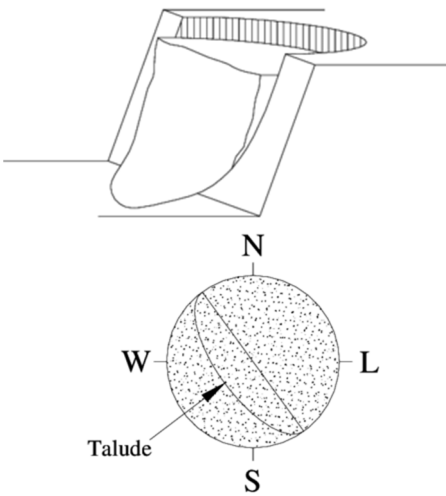
Nos taludes em maciços rochosos, além da geometria, a estabilidade é controlada pelas propriedades resistentes das descontinuidades e/ou da matriz rochosa (Marques, 2013).

A instabilidade em taludes rochosos, está assim intimamente ligada a descontinuidades presentes no maciço estando a sua estabilidade condicionados pelo grau de fracturação e pela orientação das descontinuidades em relação ao próprio talude. A existência de uma grande quantidade de descontinuidades, quando reunidas determinadas condições, podem entrar em rotura, instabilizando dessa forma o talude. Existe 4 tipos principais de roturas de taludes rochosos que são descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Tipos de rotura em taludes rochosos

<p>Rotura planar</p>	<ul style="list-style-type: none">• Estes tipos de roturas ocorrem por conta de descontinuidades (diáclases tectónicas ou falhas) já existentes no talude, ou planos de estratificação. A particularidade é que para a ocorrência desta rotura é necessário que o ângulo do talude seja superior ao da superfície pré-existente, e este por sua vez maior que o ângulo de atrito da descontinuidade (Pereira, 2012).• Além disso a direção de inclinação da superfície de descontinuidade deve estar, aproximadamente, a 20° da direção de inclinação da face do talude (Marques, 2013).	 <p>Figura 6 - Rotura planar (Rodrigues, 2013).</p>
----------------------	---	--

<p>Rotura por cunha</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Consiste em dois planos de descontinuidade que se intersectam formando uma linha que determina o sentido e direção do movimento de deslizamento de um bloco em forma de cunha (Pereira, 2012). Este escorregamento é possível quando o ângulo de inclinação do talude é maior que o ângulo formado pela interseção das descontinuidades que, por sua vez, é maior que o ângulo de atrito das mesmas • Neste caso a direção de inclinação da linha de interseção deve estar, aproximadamente, a 25° da direção de inclinação da face do talude (Marques, 2013). 	 <p>Figura 7 - Rotura por cunha (Rodrigues, 2013).</p>
<p>'Toppling'</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ocorrem normalmente em maciços com pequenas espessuras de estratificação, xistosidade ou ainda em maciços com baixo espaçamento entre fraturas. • Consiste na rotação de colunas ou blocos de rocha sobre uma base fixa. Para que o tombamento ocorra, tem de existir uma família de descontinuidades ou superfícies quase paralelas à face do talude com inclinação contrária à do talude. • 'Toppling' à flexão - A inclinação das descontinuidades tem de ser aproximadamente perpendicular à inclinação a face do talude. Estas descontinuidades devem ter um ângulo superior ao ângulo de atrito e inclinações iguais ou inferiores a 30° relativamente à inclinação do talude. • 'Toppling' de blocos - A inclinação do plano basal tem de ser superior ao ângulo de atrito e a inclinação do plano basal tem de estar, aproximadamente, a 20° da direção de inclinação da face do talude. Além disso, a inclinação das linhas de interseção, têm de exceder o valor da subtração dos 90° pelo ângulo de atrito (Marques, 2013). 	 <p>Figura 8 - 'Toppling' (Rodrigues, 2013).</p>

<p>Rotura Circular</p>	<ul style="list-style-type: none"> Ocorrem em maciços muito alterados ou maciços de rochas brandas, que apresentem um comportamento isotrópico onde, normalmente, as descontinuidades não controlam o comportamento mecânico do maciço (Marques, 2013). 	 <p>Figura 9 - Rotura Circular (Rodrigues, 2013).</p>
------------------------	--	---

2.5. Tipos de rotura em taludes de solos

Nos taludes em solos a estabilidade é controlada essencialmente pelos parâmetros resistentes dos materiais que os constituem e pela sua geometria. Conforme já descrito, o mecanismo de rotura mais frequente em solos é do tipo rotacional ou circular característico de materiais com um grau de homogeneidade superior ao dos maciços rochosos com é o caso dos solos.

2.6. Bases da análise da estabilidade de taludes

Quando falamos de estabilidade de talude é importantíssimo perceber quais são os mecanismos que levam ao movimento. Os movimentos podem distinguir-se no ponto de vistas geológico ou geotécnico. No primeiro caso está relacionado aos processos naturais e é feita uma análise da origem, determinado a sua direção e caracterizado as estruturais do maciço afetado, como vimos anteriormente. No segundo caso é feita uma investigação da segurança do respetivo talude utilizando uma relação com modelos matemáticos e princípios mecânicos para uma avaliação da estabilidade de taludes. Para se realizar uma avaliação da estabilidade de taludes ideal é necessário introduzir as duas vertentes, da geologia e engenharia geotécnica, tendo em conta então os métodos mecânicos, baseados no conhecimento da estrutura geológica, orientação das camadas, composição e história geomorfológica da superfície topográfica (Lopes, 2021).

Segundo o que se encontra apresentado em Dias (2018) os métodos de análise da estabilidade de taludes podem ser subdivididos em:

-
- Métodos analíticos: Na qual a determinação da estabilidade de um talude é definida em conta do fator de segurança e probabilidade de falha/rotura, e ainda por modelos numéricos de tensão-deformação. Como exemplos do primeiro tipo destaca-se o caso da teoria do equilíbrio-limite e dos últimos os métodos numéricos suportados na teoria dos elementos ou diferenças finitas;
 - Métodos experimentais: Que engloba os modelos físicos nas diferentes escalas;
 - Métodos observacionais: Forma-se a partir da análise do histórico de rotura com recurso a de retroanálises, ábacos de projetos, entre outros.

De acordo com o exposto existem várias metodologias e formas de análise estabilidade de taludes, no entanto para cada uma destes é necessário realizar-se anteriormente uma caracterização do talude e a identificação das características que o definem e o individualizam. Normalmente esta caracterização é realizada em campo por análise visual ou com recurso a outras ferramentas. Este procedimento permite uma melhor interpretação dos mecanismos do próprio talude e auxilia na tomada de decisões em caso de intervenção sendo por isso a sua caracterização fulcral para qualquer tipo de trabalho para o talude.

2.6.1. Taludes rochosos

No caso de taludes rochosos é necessário fazer um conjunto de análises cinemáticas para conseguir identificar as características do talude, de quais os tipos de rotura das descontinuidades que o competem, da orientação e geometria do próprio talude. As descontinuidades podem ser classificadas em Falha, Diáclase; Xistosidade; Foliação; Estratificação; Clivagem de fractura.

Com vista à determinação da análise cinemática completa do talude, normalmente, procede-se às três seguintes etapas:

- levantamento topográfico;
- levantamento das descontinuidades;
- projeção estereográfica das descontinuidades.

Dependendo do tipo de descontinuidade, e particularidades destas, pode ser influenciada a permeabilidade, a deformabilidade, e a resistência ao corte do maciço em questão. Normalmente, é chamado de descontinuidade qualquer plano de separação no maciço rochoso como o caso da estratificação, xistosidade, falhas e diáclases e podem ocorrer sistematicamente ou de forma

singular, ou seja, em família ou isoladas respetivamente, sendo o primeiro caso característico por estas apresentarem aspetos idênticas (atitude média e características físicas e mecânicas gerais). Outro diferencial, é que os diferentes tipos de descontinuidades podem ter origens diferentes como o caso superfícies de estratificação ou de laminação que são resultantes de processos sedimentares, das xistosidades ou as diáclases e falhas que provêm de processos tectónico-metamórfica e por fim as estruturas filonianas que surgem de processos diagenéticos (Dias, 2018).

O aparecimento de descontinuidades advém e encontra-se correlacionado com as características do material rochoso e as tensões tectónicas instaladas. Na natureza são frequentemente encontradas descontinuidades do tipo diáclases e falhas. O primeiro grupo distingue-se pela sua maior frequência e surgem quando a tensão instalada é superior à tensão resistente intrínseca do maciço rochoso e quando ocorre alívio das tensões no próprio maciço. Por outro lado, no segundo grupo, as falhas, advém de acidentes tectónicos que aconteceram no maciço e pela qual ocorreu deslocamento relativo entre os blocos. Por norma são as elevadas pressões e temperaturas que levam o material a chegar ao seu limite de resistência, causando assim a rotura do maciço. Existem 3 tipos de falhas dependendo do tipo de forças resultantes e movimento: as normais (tração), as inversas (compressão) e as de deslizamento (movimento tangencial) (Dias, 2018).

As restantes características das descontinuidades são a atitude, persistência, rugosidade, resistência das paredes, preenchimento e abertura. É especialmente importante a sua identificação uma vez que as características geométricas das descontinuidades permitem definir a geometria de compartimentação e a dimensão do bloco unitário característico do maciço rochoso e as

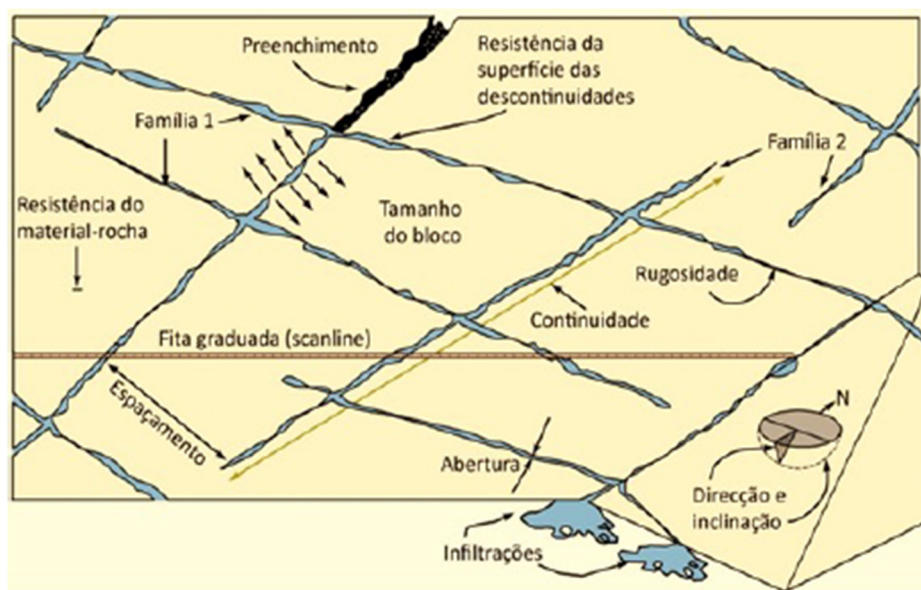


Figura 10 - Representação esquemática das propriedades geológico/geotécnicas das descontinuidades (Dias, 2018).

características físicas possibilitam uma identificação de certas propriedades mecânicas do maciço como é o caso da deformabilidade, resistência ao corte, e percolação entre as descontinuidades.

Normalmente, são identificados esses parâmetros com recurso à técnica de amostragem linear (“scanline sampling technique”), que nada mais é do que uma fita graduada que é colocada na extensão observada da face exposta do maciço que serve como referência para o levantamento das características das descontinuidades que intersectam a fita graduada.

Estas características em geral são definidas em função da classificação ISRM (1981) que apresenta várias classes para as diferentes características:

- **Persistência das descontinuidades (continuidade):** Muito pouco contínuas (< 1m); pouco contínuas (1 – 3m); medianamente contínuas (3 – 10m); contínuas (10 – 20m) e muito contínuas (> 20m).
- **Espaçamento das descontinuidades (espaçamento):** F1 (> 200 cm); F2 (60 – 200 cm); F3 (20 – 60 cm); F4 (6 – 20 cm) e F5 (<6 cm).
- **Rugosidade:** Três tipos de superfície de descontinuidade (denteada, ondulada ou plana) subdivididas em três subclasses (rugosa, lisa e estriada).
- **Abertura:** Fechada (<0,5mm); aberta (0,5-10mm) e muito aberta (>10mm).

As diferentes características têm diferentes intuitos, no sentido de aprofundamento do conhecimento do talude em questão, e encontram-se explicitadas na tabela seguinte (Dias, 2018):

Tabela 2 - Características de identificação dos taludes e a sua importância.

Atitude das descontinuidades	A atitude compreende a direção e a inclinação. A direção é definida entre a horizontal do plano de descontinuidade e o Norte e a inclinação é definida pelo ângulo entre a linha de maior declive do plano de descontinuidade e a horizontal. De forma expedita é frequentemente determinado através de uma bússola de geólogo com inclinómetro
Persistência das descontinuidades	Permite compreender o estado de fratura do maciço rochoso e é definido em função da distância, na perpendicular, entre duas descontinuidades da mesma família. Este fator condiciona tamanho dos blocos unitários influenciando o comportamento global do maciço, podendo induzir uma diminuição da resistência do maciço, aumento da condutividade hidráulica e deformabilidade do mesmo, provocando uma maior instabilidade do maciço.
Espaçamento das descontinuidades	Este parâmetro é obtido através da medição do seu traço no plano de observação. A continuidade caracteriza a extensão em área de uma descontinuidade num certo volume de rocha. Especialmente importante identificar as famílias de maior

	continuidade, uma vez que, estas iram condicionar os principais planos de rutura de um maciço rochoso
Rugosidade	Determinado como a irregularidade das paredes das descontinuidades. O atrito gerado por esta irregularidade aumenta a resistência ao corte ao longo de toda a superfície da descontinuidade, por tanto, quanto maior for a rugosidade das paredes das descontinuidades maior será a sua resistência ao corte.
Resistência das paredes das descontinuidades	Este tópico influencia a resistência ao corte e deformabilidade e torna-se particularmente importante em situações em que as paredes das descontinuidades estejam em contacto direto. A sua determinação é com recurso a esclerómetro portátil, como, por exemplo, um martelo de Schmidt do tipo L.
Preenchimento das descontinuidades	O preenchimento corresponde ao material que ocupa o espaço existente entre as paredes de uma dada descontinuidade, e pode variar desde materiais brandos a mais resistentes. Deve ser identificadas parâmetros como a mineralogia e tamanho do grão do material de enchimento, indicação do teor de água constituinte e identificação da permeabilidade desse material. O conhecimento das propriedades físicas e mecânicas do material de preenchimento também é importante visto que, estas também influenciam a resistência global do maciço.
Abertura	Consiste no espaçamento entre as paredes da descontinuidade, e como referido, este espaço pode-se encontrar preenchido por material, por vezes esmagado, resultante da erosão do próprio maciço

2.6.2. Taludes em solo

No caso de taludes em rocha as análises de estabilidade suportam-se em métodos analíticos cujos dados de base (características mecânicas e de deformabilidade dos materiais) são obtidos mediante a caracterização geométrica e geológico do local complementadas pela realização de ensaios de caracterização in situ e/ou laboratoriais.

2.7. Outras abordagens da avaliação da estabilidade de taludes

Em alternativas às abordagens referidas existem outras possibilidades de avaliar o potencial de instabilidade de taludes. Uma abordagem alternativa frequentemente usada para esse fim está associada à avaliação do risco associado à ocorrência.

2.7.1. Risco: definições gerais

Na generalidade o termo “risco” é usualmente utilizado de forma a indicar “qualquer processo mais ou menos violento ou catastrófico que possa afetar pessoas ou bens”. No entanto a ideia de risco

engloba condições socio-económicas definindo-se mais concretamente pelas “perdas potenciais devido a um fenómeno natural, de entre estas perdas está incluído, as vidas humanas, perdas económicas diretas e indiretas, danos em edifícios e estruturas, entre outras” (Vallejo et al., 2002).

Em Cândido (2010) são apresentados os cinco aspetos principais para a avaliação do risco, sendo eles os seguintes:

- probabilidade de ocorrência;
- frequência de ocorrência;
- consequências da ocorrência e respetivos impactos;
- importância relativa face a outros riscos;
- vulnerabilidade do sistema ao risco.

Varnes em 1987 adotou o conceito de risco onde conjuga 3 parâmetros importantes (elementos expostos, perigosidade e vulnerabilidade) face a um determinado processo com potencial destrutivo e “exprime a possibilidade de ocorrência de um fenómeno de consequências graves e a respetiva quantificação em termos de custos”. Sendo estes fenómenos naturais ou induzidos pela atividade antrópica (Soares, 2013a) atualmente este modelo é o mais aceite e avalia-se pela expressão seguinte:

$$R = P \times V \times E \quad (1)$$

em que:

V – Vulnerabilidade;

P – Perigosidade;

E – Exposição dos elementos de risco.

Na qual, o produto P*V corresponde ao grau de perdas esperadas durante um período de tempo, por consequência de um processo, e é denominado como risco específico.

Se formos a considerar o risco geológico a definição é ligeiramente diferente, pois este é avaliado em função da perigosidade de determinado processo de causa e os efeitos deste sobre os elementos expostos ao perigo (edifícios, infraestruturas, pessoas, bens, etc). Esta causa pode ser mensurada consoante certos parâmetros determinantes, como a vulnerabilidade, as perdas, os custos e a exposição, entre outros, num determinado instante. Pode ser avaliado de forma determinística ou probabilística conforme expresso na seguinte expressão (Vallejo et al., 2002):

$$R = P \times V \times C \quad (2)$$

sendo:

P – Perigosidade do processo considerado;

V – Vulnerabilidade dos elementos expostos a ação do processo;

C – Custo ou valor do mesmo.

Para esta equação sabe-se que P é uma probabilidade. Caso qualquer um dos valores seja nulo o risco também será nulo. Para reduzir-se o risco basta reduzir a perigosidade e/ou a vulnerabilidade. Ou seja, atuando sobre os fatores que controlam os processos no caso ou sobre os elementos expostos ao risco.

A perigosidade está associada ao processo geológico, o risco de perdas e a vulnerabilidade aos danos. No entanto, de uma forma mais precisa, é definida como a probabilidade de ocorrer um fenómeno de determinada intensidade num dado espaço de tempo numa área específica. A perigosidade pode ser sintetizada na expressão abaixo:

$$T = \frac{1}{P(\alpha)} \quad (3)$$

em que:

T = período de retorno entre eventos semelhantes;

P(α) = Probabilidade anual de ser excedido.

Posto isto, pode-se dizer que a perigosidade pode ser caracterizada em função da localização, do tempo, da intensidade e/ou magnitude a que um processo ocorreu no passado. Assim como a frequência a que este evento ocorre e onde poderá ocorrer no futuro (Vallejo et al., 2002).

A vulnerabilidade corresponde ao “grau de dano ou perda potencial de um elemento ou conjunto de elementos como consequência da ocorrência de um fenómeno de determinada intensidade” sendo por isso dependente da intensidade do evento e das características do elemento em questão.

A vulnerabilidade pode ainda subdividir-se em vulnerabilidade social, que está relacionada com a densidade populacional, das condições das estruturas envolventes, dos sistemas de aviso e alerta e dos planos de emergência e evacuação, tornando-se, por isso, mais vulnerável numa região com alta densidade populacional, infraestruturas precárias e sistemas e planos fracos (Vallejo et al., 2002).

Os elementos expostos correspondem a tudo o que pode ter consequências, direta ou indiretamente, do processo geológico de um dado local, como é o caso de pessoas, bens,

propriedades, infraestruturas, serviços e atividades económicas acarretando, conseqüentemente, por norma, custos (Vallejo et al., 2002).

Por fim, a suscetibilidade representa a ocorrência no espaço de um perigo, para uma dada área, que se encontra suscetível ou exposta a um determinado fenómeno. Este parâmetro, por si só, é determinado através dos fatores que influenciam a ocorrência dos processos, como as condições do terreno, não entrando em consideração o tempo de retorno e a probabilidade de ocorrência (Soares, 2013).

A medida que a população aumenta, a análise risco torna-se mais importante, dado que existe maior risco geográfico, por conta da maior população, podendo aumentar as perdas. Além disso, a modificação da natureza por ação humana muitas vezes aumenta a frequência e a gravidade dos riscos geológicos naturais que por sua vez aumentam as ameaças à ocupação humana.

Os riscos geológicos variam na sua natureza e podem ser responsáveis pela devastação de grandes áreas da terra. De forma a evitá-los é necessário criar um planeamento que envolva intimamente a geologia e o controle, ou redução, dos efeitos de processos/riscos geológicos e criar medidas para a sua mitigação, sistemas de alerta e planos de evacuação para as áreas que estão sujeitas a um maior risco geográfico de forma a diminuir a vulnerabilidade. A partir da vulnerabilidade e da probabilidade de ocorrências associadas a um local é possível alcançar uma melhor tomada de decisões para o determinado caso (Bell, 2007).

2.7.2. Mapa de Risco

Qualquer agente espacial do risco pode ser mapeado, desde que haja informações suficientes sobre a sua distribuição. Normalmente a sua aplicação é mais vantajosa para a caracterização de grandes áreas.

Os mapas de risco foram criados com o propósito de representar os resultados da avaliação de risco, onde se encontra compreendido uma estimativa da dimensão dos danos prováveis decorrentes de um possível desastre natural. Representando o perigo e danos que podem ser expressos, por exemplo, em formas perda de vidas ou ferimentos, em perdas ou danos de recursos e prejuízos económicos como o caso de perda de propriedade e estabelecimentos de serviços. As perdas potenciais e o perigo modificado são diretamente proporcionais, sendo então associadas à avaliação do risco da área analisada, uma vez que quanto maiores perdas e perigo maior será o risco.

A análise do risco tem em conta a qualificação e quantificação do risco assim como a definição dos diferentes graus de risco (Tominaga et al., 2009).

Os mapas de risco são criados com intuito de minimização e mitigação de danos, sendo especialmente importantes na realização de um adequado planeamento do uso e ocupação do solo, permitindo assim a redução das consequências de um desastre. Normalmente, este tipo de mapas apresenta uma “probabilidade espacial e temporal de ocorrência de um processo ou fenómeno com potencial de causar danos.”

Tominaga et al. (2009) apresentam uma outra proposta de mapas de risco que se encontra dividida em duas etapas principais:

- Uma delas diz respeito à elaboração de um mapa de suscetibilidade pelo cruzamento dos mapas temáticos do meio físico com o mapa de uso e ocupação do solo como indutor dos processos geológicos;
- A outra prevê o cruzamento do mapa de suscetibilidade com o mapa de uso e ocupação do solo, numa vertente de consequências (danos) potenciais associadas.

Para a avaliação da perigosidade de taludes, e a consequente elaboração dos mapas de risco, é necessário um conjunto de informações catalogadas de acontecimentos passados, como tipo de movimentos de massas e de fenómenos de erosão. Serão ainda necessários conhecimentos do meio físico do local como, o tipo de terrenos, inclinação, clima, etc. Estes mapas são classificados por análise quantitativamente como exemplo: baixo, médio ou alto perigo.

É na sequência deste tipo de abordagem que no Capítulo seguinte se apresenta uma proposta de avaliação da estabilidade de taludes usando numa primeira fase imagens aéreas e, numa segunda, se recorre a elementos complementares de caracterização do talude recolhidos no campo.

Capítulo III

Proposta de uma metodologia

(página propositadamente em branco)

3. Proposta de uma metodologia

3.1. Introdução

Neste Capítulo apresenta-se uma proposta de avaliação do risco associado a instabilidades de taludes costeiros tendo por base uma avaliação suportada no tratamento de imagens de satélite. Numa fase posterior o método pressupõe o desenvolvimento de trabalhos complementares sobre as zonas onde tenham sido detetados indícios de risco de instabilidade.

3.2. Detecção remota e as imagens de satélite

A detecção remota é definida como “o conjunto de técnicas que permitem obter informação sobre um determinado objeto, através da utilização de um instrumento de medição que não está em contacto direto com o próprio objeto”. Esta técnica é frequentemente utilizada para a observação da terra através de princípios físicos da radiação eletromagnética que é refletida ou emitida por um objeto alvo e registadas por um sensor remoto. O registo, análise e interpretação destas medições da radiação eletromagnética possibilita a obtenção da monitorização pretendida.

A radiação eletromagnética é uma forma de energia que se transmite em duas componentes, o campo elétrico e o campo magnético. A principal fonte de energia desta radiação é o sol, uma vez que os sensores aproveitam esta energia para adquirir as informações dos objetos na superfície da Terra.

Através deste tipo de conhecimento foi criado o ramo da detecção remota correspondente à observação da terra, com várias diferenciações por contra dos vários tipos sensores remotos. Estes sensores distinguem-se pelo local onde se encontram instalados (a bordo de aviões ou em órbita representando os satélites) e são classificados consoante as características de aquisição e registo da radiação eletromagnética, podendo ainda apresentar diferentes tipos de resolução.

Os sensores que se encontram instalados em satélites artificiais dividem-se em 3 tipos dependendo do tipo de órbita que percorrem. A altitude alta, encontrando-se a mais de 35 780 km de altitude, a intermédia com cerca de 20 200 km de altitude e por fim a altitude baixa, entre 180 e 2 000 km.

Nas órbitas de alta altitude encontra-se os satélites denominados como geoestacionários, dado este nome por permanecerem na mesma posição relativamente à terra. Estes satélites obtêm informações sempre no mesmo local. São exemplos deles os satélites com sensores meteorológicos. Na órbita intermédia estão presentes os satélites de baixa excentricidade que completam uma volta completa num período de 12 horas como é o caso dos que suportam o sistema global de posicionamento (GPS). Por sua vez na órbita mais baixa encontram-se os satélites que transportam sensores para fins científicos e que variam a sua inclinação consoante o fim

planeado. São ainda síncronas com o sol, cruzando o equador de norte para sul sempre à mesma hora. Por se encontrarem a uma menor altitude, estes necessitam de ter uma maior velocidade de forma a compensar a maior força gravítica a que estão sujeitos (Lira et al., 2016).

A imagem de satélite é criada através do armazenamento sob a forma de arranjo de células, com diferentes intensidades, nos diferentes sensores. Cada pixel representa então a média dos valores da radiação registada em toda a superfície do terreno (Lira et al., 2016).

3.2.1. Programas e Satélites de observação terrestres

Apresenta-se seguidamente, de uma forma muito sintética, alguns dos mais relevantes sistemas de satélites de observação da terra.

Landsat

A NASA desenvolveu um projeto, denominado como constelação EOS, que consiste num conjunto de satélites coordenados, com órbitas polares de baixa inclinação, para observação de longo-termo da superfície terrestre, da biosfera, da crosta terrestre, da atmosfera e dos oceanos. Deste projeto destaca-se os satélites Landsat que são de vasto conhecimento (Lira et al., 2016).

O programa Landsat surgiu no ano de 1967 e consistiu na construção de satélites para observação da superfície da Terra (Falcão, 2019). Corresponde ao primeiro, e mais longo, programa de observação terrestre relacionado com a observação dos recursos naturais. A partir de 2009 tem disponibilização gratuita de todas as imagens. Até a data foram lançadas 9 gerações de Landsat: Landsat 1 lançado em 1972, Landsat 2 em 1975, Landsat 3 em 1978, Landsat 4 em 1982, Landsat 5 em 1984, Landsat 6 em 1993 (perdido aquando do seu lançamento), Landsat 7 em 1999, Landsat 8 em 2013 e o Landsat 9 em 2021 (Lira et al., 2016).

O satélite landsat 8 foi concebido com o objetivo de disponibilizar à comunidade dados para análise de fenómenos evolutivos na superfície terrestre de forma consistente. Cobrie quase na totalidade a superfície da Terra numa base sazonal, com resolução espacial, espectral e temporal que possibilita a caracterização das causas e das consequências das mudanças registadas (Lira et al., 2016b). Tem uma órbita circular em volta da terra a uma altitude de 705 km, inclinada a 98,2 graus e circunda a mesma a cada 99 minutos, com um ciclo de repetição de 16 dias (Falcão, 2019). A sua evolução permitiu o envio de imagens com mais detalhes, cores mais reais e pormenores mais definidos que os satélites de gerações anteriores.

Este satélite compreende dois instrumentos: o Operational Land Imager (OLI) e o Thermal Infrared Sensor (TIRS).

O OLI é um sensor tipo “vassoura” com um telescópio de quatro espelhos e quantização de 12 bits que permite a recolha de dados em bandas espectrais visíveis, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, bem como uma banda pancromática. Este sensor é adaptado para a deteção de nuvens cirros e para observações da zona costeira.

O TIRS recolhe dados para duas bandas espectrais mais estreitas na região térmica anteriormente coberta por uma banda espectral larga nos Landsats 4–7. Os dados TIRS de 100 m são registados nos dados OLI para criar produtos de dados de 12 bits com correção radiométrica, geométrica e de terreno (Chris Neigh, s.d.).

Como referido os sensores TIRS registam a uma resolução de 100 metros de imagens térmicas, em contrapartida o Sensor OLI produz imagens com 30 m de resolução espacial em bandas específicas e uma imagem pancromática com resolução de 15 metros (Lira et al., 2016). Estes sistemas permitem, regularmente, a aquisição de 725 cenas por dia (Chris Neigh, s.d.).

O Landsat 9 tem um design muito semelhante ao do Landsat 8 e fornece mais imagens do que qualquer satélite de geração anterior. Este satélite encontra-se na mesma órbita que o Landsat 8 e recolhe dados na mesma taxa que este. O Landsat 9 substitui o Landsat 7, ocupando o seu lugar em órbita, além disso, este satélite combina-se com o Landsat 8 para recolha de dados a cada 8 dias. O Landsat 9 tem uma capacidade de imagem maior, com cerca de 1.400 cenas por dia aumentado a base do arquivo terrestre global da landsat. (Chris Neigh, s.d.).

Sentinel

A União Europeia, através da Agência Espacial Europeia (ESA) desenvolveu um programa que tem como principal objetivo a obtenção e disponibilização de informação, serviços e conhecimento de qualidade e em tempo útil sobre questões ambientais e de segurança a nível global, utilizando dados de satélite recolhidos in situ, no ar, no mar e em terra. Esse programa é denominado como Programa Copernicus. A ESA já lançou para o espaço mais de 70 satélites de observação terrestre.

A missão Sentinel encontra-se inserida no programa Copernicus e foi projetada para incluir 6 gerações de satélites/ sensores Sentinel (Lira et al., 2016) que se encontram representadas na Tabela 3. A Copernicus Sentinel-6 é a próxima missão e prolonga o legado das medições da altura da superfície do mar até ao ano de 2030.

Tabela 3 - Missão Sentinel.

Sentinel-1	Operando em quatro modos de imagem com diferentes resoluções (até 5 m) e cobertura (até 400 km) fornecendo ainda a capacidade de polarização dupla. Quando aplicado com o instrumento C-SAR (instrumento radar de abertura sintética de banda C, que permite a obtenção de dados meteorológicos em diferentes condições de luminosidade) tem a vantagem de operar em comprimentos de onda que não são impedidas pela cobertura de nuvens ou falta de iluminação e pode adquirir dados sobre um local durante o dia ou a noite sob todas as condições climáticas. Foi projetada para gerar imagens de todas as massas terrestres globais, zonas costeiras e rotas marítimas em alta resolução e cobrindo o oceano global com vinhetas e é constituída por dois satélites que compreendem a mesma órbita. (Agência Espacial Europeia, s.d.).
Sentinel-2	Compreende dois satélites em órbita polar com fases de 180° entre si e são sincronizadas com o sol. Recolhem imagens a uma ampla largura de faixa (290 km) e elevado tempo de revisita (10 dias no equador com um satélite e 5 dias com 2 satélites em condições sem nuvens.) Tem como objetivo a monitorização da variabilidade nas condições da superfície terrestre e apoiará o monitoramento das mudanças na superfície da Terra. (Agência Espacial Europeia, s.d.)
Sentinel-3	Tem como principal objetivo a medição topográfica da superfície do mar, a temperatura da superfície do mar e da terra e a cor da superfície do oceano e da terra para apoiar sistemas de previsão oceânica, monitoramento ambiental e monitoramento climático (Agência Espacial Europeia, s.d.).
Sentinel-4	<p>Utilizado para a monitorização dos principais gases residuais e aerossóis da qualidade do ar na Europa para dar suporte ao Serviço de Monitorização da Atmosfera Copernicus (CAMS). Consiste num instrumento espectrômetro de imagem de luz Ultravioleta-Visível-Infravermelho Próximo (UVN) embarcado no satélite Meteosat Third Generation Sounder (MTG-S).</p> <p>As missões precursoras Sentinel-4, -5 e -5P foram criadas como elementos complementares de uma constelação que atende às necessidades específicas do CAMS e fornecerem informações sobre as variáveis atmosféricas em apoio às políticas europeias e em benefício dos cidadãos europeus. Estas recolhem informações sobre o ozono e os raios UV de superfície, a qualidade do ar e as aplicações climáticas (Agência Espacial Europeia, s.d.).</p>
Sentinel-5	Está indicado para a análise da qualidade do ar na interação composição-clima, recolhendo dados principalmente de O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , HCHO, CHOCHO e aerossóis. Além disso, fornece parâmetros de qualidade para CO, CH ₄ e O ₃ estratosférico com uma cobertura global diária. O sistema consiste num espectrômetro de alta resolução operando na faixa ultravioleta a infravermelha de ondas curtas com 7 bandas espectrais diferentes (Agência Espacial Europeia, s.d.).

Sentinel-5P	Tem o objetivo em realizar medições atmosféricas com alta resolução espaço-temporal, para serem utilizadas para a análise da qualidade do ar, do ozônio e radiação UV, e monitoramento e previsão climática (Agência Espacial Europeia, s.d.).
--------------------	--

3.3. Fotogrametria

A fotogrametria é outra metodologia de obtenção de imagens aéreas a menor altitude que pode ser útil em situações de obtenção de informação de maior detalhe. Esta metodologia é definida como “a arte, ciência e tecnologia de se obter uma informação fidedigna de objetos ou meio físico por meio de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas ou padrões de radiação eletromagnética”. A fotogrametria baseia-se no cálculo de coordenadas 3D de qualquer objeto ou terreno a partir de qualquer ponto do objeto que esteja repetido em pelo menos duas fotos, denominadas como um par estereoscópico.

Esta técnica tem sido cada vez mais utilizada para o mapeamento no ramo da geologia de engenharia e consiste no uso de aeronaves para obtenção das imagens. Atualmente tem vindo a generalizar-se o uso de aeronaves remotamente controladas, conhecidas coloquialmente por drones.

O uso destes drones para obtenção de imagens aéreas permite mapear todas as discontinuidades visíveis, independentemente da posição, atitude ou elevação em relação ao solo, posto isto, este mapeamento é determinado através da análise de características como a orientação das discontinuidades, continuidade, espaçamento e rugosidade podendo ainda ser observado e analisado possíveis dobras presentes.

Este tipo de ferramenta tem sido cada vez mais usado e mostra-se bastante útil em diversas aplicações nas áreas da topografia, cartografia, geomorfologia e modelação de superfícies 3D. Na área da geotecnia está geralmente relacionada com a caracterização de discontinuidades, análises de estabilidade ou cinemáticas de taludes rochosos e deslizamentos e ainda com a utilização de informações geométricas da superfície do objeto ou terreno de maciço rochosos. É de destacar como principais vantagens o seu baixo custo, a possibilidade de otimização de tempo, precisão e a aplicabilidade a trabalhos de campo em pequenas áreas. Além disso garante uma grande objetividade dos dados e um baixo erro de amostragem. Apesar destas vantagens, este método também tem algumas desvantagens. São elas a reduzida autonomia de voo, sobretudo no caso do recurso a drone, difícil análise quando existe a presença de vegetação e a ocorrência de diferentes intensidades de luz nos pares estereográficos de fotos (Cardoso Takano, 2022).

3.4. Proposta de definição de matriz de risco de estabilidade

O desenvolvimento do trabalho deste relatório consistiu na criação de uma matriz de risco que permita fazer um controlo preliminar de uma maneira remota de taludes suportado em imagens aéreas. Numa fase posterior, caso seja indiciado um potencial de risco, será ainda feita uma recolha de dados no local que serão introduzindo na matriz completando e detalhando de uma forma “mais fina” o estudo. Esta análise permite que no final se associe um valor numérico ao risco para cada ponto da matriz e um outro valor global. Este valor permite a classificação e é importante na tomada de decisões para o determinado local em função da quantificação avaliada. Todos os pontos que contemplam esta matriz serão abordados nos próximos tópicos.

O estudo preliminar, com base remota, a dados disponibilizados pela ferramenta Google Earth. A escolha desta ferramenta recai sobre a quantidade de informações a partir desta, a facilidade de utilização e principalmente por ser uma plataforma de gratuita e de acesso global facilitada, tornando assim a proposta, adequada para estudos futuros com grande facilidade e padronizada. Outra vantagem da ferramenta resulta de utilizar imagens aéreas e dados diversos recorrendo a várias fontes (satélites, aeronaves e GIS 3D) o que permite uma cobertura tridimensional da superfície terrestre bastante alargada. Pelas mesmas razões apresenta algumas desvantagens que estão, sobretudo, associadas à qualidade das imagens nalguns locais e instantes temporais.

Os estudos complementares consistem na recolha de dados de caracterização local do talude.

Apesar da metodologia poder ser facilmente generalizada a todo o tipo de taludes optou-se por focar-se a sua aplicação ao caso de taludes costeiros pelo facto da importância dos mesmos no contexto de Portugal Continental. Efetivamente, dado o enorme contributo do turismo para a nossa economia, por estarem geralmente, em locais de relevância turística estes taludes, esses taludes têm um forte impacto sócio-económico, quer nas comunidades locais quer nacionalmente, o que justifica plenamente tal opção.

3.4.1. Fluxograma do método

Inicialmente procedeu-se à criação de uma esquematização do processo de análise por meio de um fluxograma. Um fluxograma consiste num diagrama com um conjunto de gráficos ou etiquetas que ilustram de forma descomplicada a transição de informações entre os elementos que o compõem, mostrando assim a seqüências de operações que desenvolvem o processo.

O fluxograma criado ilustra então a seqüência do processo e, além da matriz criada, mostra as conclusões retiradas em cada fase e qual a trajetória da análise adotada para cada caso.

A metodologia proposta é subdividida em três partes correspondentes a três Tabelas: a primeira corresponde a uma análise preliminar com recurso a imagem de satélite, que consiste na interpretação e retirada de valores de características que são possíveis de observar nas imagens de satélite; a segunda parte traduz uma pesquisa e recolha de outro tipo de informações observadas nas imagens de satélite, como relevo, morfologia do talude, etc. Incluindo ainda tópicos que são mais ou menos fácil de determinar com uma simples pesquisa e/ou investigação com base em bibliografia do local e/ou notícias correntes; por fim a terceira parte faz referência a dados específicos do local, sendo apenas nesta parte, caso haja evidências de risco a partir das fases anteriores, necessária a recolha de dados no local.

No caso da primeira Tabela (da análise preliminar por recurso a imagens de satélite) se a quantificação do risco avaliado corresponder um valor igual ou inferior a 1,2 então a análise é interrompida e é concluído que o local/talude não compreende risco. Caso contrário, o processo avança para a segunda Tabela (análise em gabinete). O mesmo se aplica para esta Tabela, caso o valor seja igual ou inferior a 1,4, termina igualmente o processo e concluindo-se que não compreende risco. No entanto, corresponde a um local onde pode ser necessária uma vigia periódica em consequência das características de alerta da primeira Tabela. Por fim, na hipótese de o estudo não cumprir as características referidas avançando as duas primeiras Tabelas, culmina então com a última Tabela (ficha técnica local) e é determinado fator de risco global, com base nas três Tabelas, Como resultado poderão ser obtidas três conclusões: não compreendo risco, mas com necessidade de vigia periódica, para valores iguais ou inferiores a 1,4; compreende risco e por isso necessita de intervenção e medidas de mitigação, para valores superiores a 2,5; caso contrário necessita apenas de vigia constante.

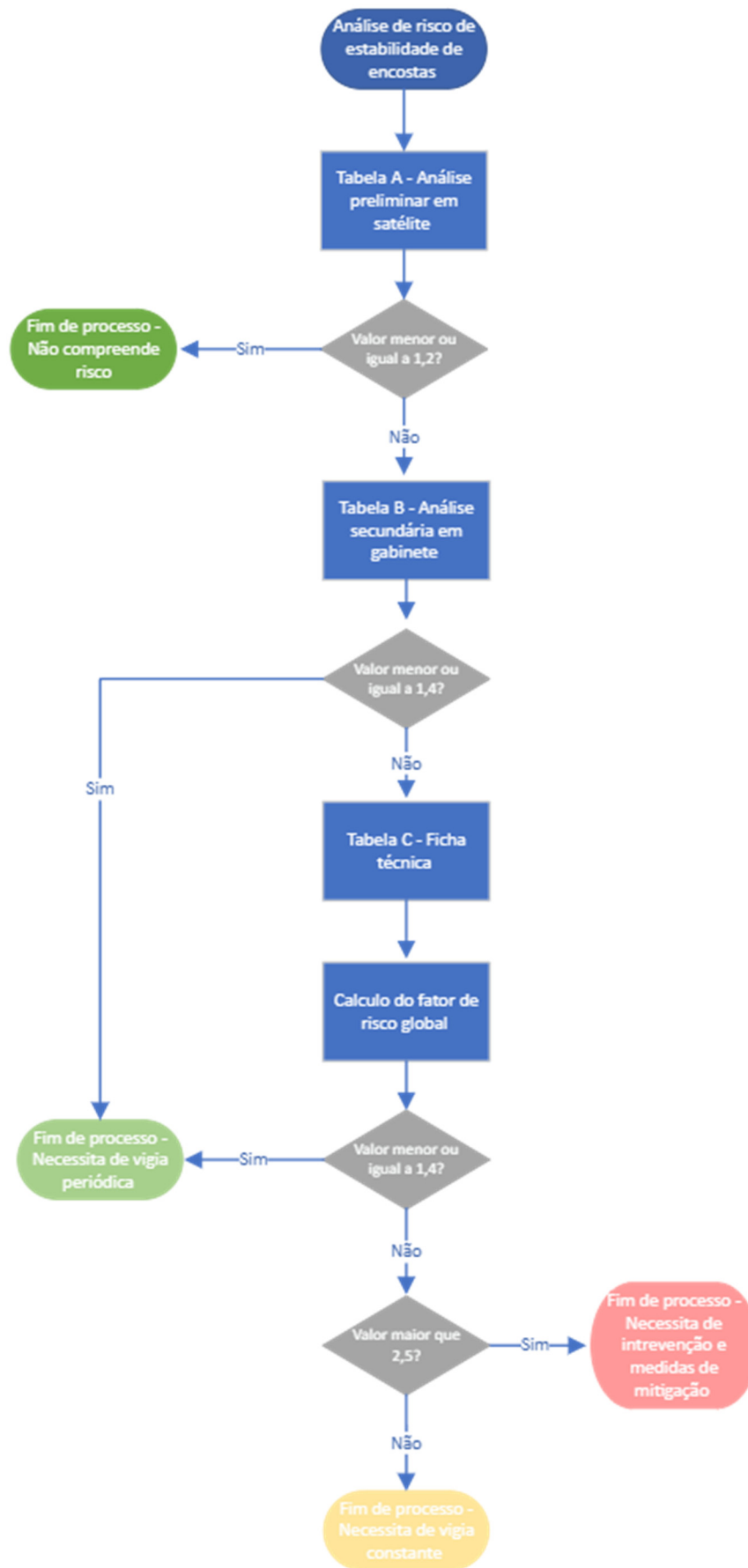


Figura 11 - Fluxograma do processo.

3.4.2. Proposta de Matriz

Para a realização da proposta de matriz foi inicialmente feito uma investigação de forma a encontrar matrizes que se pudessem enquadrar dentro desta conceção. Posto isto, Borges (2016) criou uma matriz tendo em conta o Rockfall Hazard Rating System (RHRS), desenvolvido pelo Departamento de Transportes de Oregon nos EUA em 1990. Esta matriz foi utilizada como base para a criação da matriz desenvolvida durante este trabalho, adaptando-se, contudo, ao caso e às características do problema em questão. Alguns dos pontos abordados por Borges (2016), tendo por referência Pierson et al.(1990), foram mantidos ou adaptados, de forma a criar uma matriz coerente e que cumprisse com o objetivo pretendido.

A matriz desenvolvida tem como principal objetivo a avaliação do risco de estabilidade de uma encostas de uma maneira generalizada. Esta matriz tem como principal objetivo a sua utilização em projetos futuros de características similares para uma análise muito simplificada e acessível. Principalmente em projetos com orçamentos reduzidos e onde é necessária apenas uma análise generalizada sem muita especificidade. É especialmente indicada para locais onde se observa um recuo evidente na linha de crista, como o caso de encostas de praias, mas também poderá ser adaptada para taludes, sobretudo os de maiores dimensões, em zonas não costeiras.

Como referido anteriormente, a matriz proposta encontra-se subdividida em 3 Tabelas, conforme o faseamento do trabalho, que são as seguintes:

- Tabela A: Análise de satélite;
- Tabela B: Análise secundária de gabinete;
- Tabela C: Ficha técnica para o campo.

Esta separação permite que, durante a avaliação de um determinado caso, ao não cumprir com determinados requisitos, obtenha-se uma conclusão positiva não avançando mais com o problema.

Cada uma das Tabelas contempla três cores correspondente ao grau de risco e encontram-se entre os valores de 1 e 3 pontos no qual o 1 representa menor risco e o 3 maior risco. Este valor permitirá a quantificação do risco associado a cada Tabela e do risco global conforme a ponderação de cada tópico e a ponderação de cada Tabela, respetivamente.

Ao calcular o valor de risco para cada Tabela, este valor encontrar-se-á entre 1 e 3. Dado este facto, foi convencionado um limite para cada risco (nulo ou baixo, mediano e elevado). Para a primeira Tabela os limites correspondentes para locais de risco nulo ou valor de riscos baixos (verde) encontram-se entre o valor de 1 e 1,2, inclusive. Para risco mediano (amarelo) o valor terá de ser maior que 1,2 e menor 2,5, e para risco elevado (vermelho) será maior que 2,5. Nas restantes duas

Tabelas, e no fator de risco global os limites são iguais. À exceção do primeiro limite (verde) que é mais abrangente, de 1 a 1,4 inclusive. A primeira Tabela apresenta um limite restrito para o risco nulo ou baixo, uma vez que, a análise é muito simplificada e com algum erro associado ao método de obtenção de valores. Além disso, se o estudo concluir que o valor é verde a análise termina, o que, para valores mais alargados, poderia não ser prudente para certos locais que necessitam de uma investigação mais aprimorada.

A Tabela A é constituída por quatro tópicos que se distribuem de maneira diferenciada na ponderação conforme a relevância de cada tópico e a facilidade de obtenção de determinado parâmetro. Os quatro tópicos foram determinados utilizando, direta ou indiretamente, valores retirados da ferramenta Google Earth e estes tópicos são:

- **Altura do talude** - Este valor foi obtido através da cota retirada da ferramenta Google Earth com a subtração de um valor (entre 2 e 8 metros) correspondente à cota do areal de forma a determinar uma estimativa mais correta da altura do talude; quanto maior for este talude maior será o risco, uma vez que este se torna mais íngreme e em caso de queda de blocos, representa um perigo maior;
- **Inclinação** – Determinado com recurso à mesma ferramenta, calculada em função da altura e do comprimento das linhas de crista e de base do talude; quanto maior a inclinação maior a perigosidade em caso de queda de blocos (Borges, 2016);
- **Recuo observado a 10 anos** – Estimado com recurso à comparação de duas imagens de satélite, nas quais se construiu a linha que une a crista de cada uma; após a sobreposição das respetivas linhas, foi observado o recuo num determinado espaço temporal; quanto maior o recuo observado, mais erosão o talude sofreu sendo, por conseguinte, mais suscetível; o valor de recuo é convertido numa escala anual, para posteriormente, se normalizar a uma escala de 10 anos;
- **Quantidade de blocos na base** – Relação entre o comprimento de quantidade de blocos visualizados e a comprimento da linha do talude. Parâmetro difícil de determinar, uma vez que, parte dos blocos são removidos em alguns locais ou as imagens de satélite são pouco esclarecedoras. Nestes casos é feita apenas uma estimativa de menor fiabilidade; quanto maior a queda de blocos maior é a alteração observada no talude, compreendendo assim uma maior perigosidade, tanto pela queda, como pela degradação do mesmo talude.

Tabela 4 - Tabela A da análise preliminar em satélite.

Ponderação Tabela A	Ponderação tópicos	Tabela A - Análise preliminar em satélite	1 ponto	2 pontos	3 pontos
35%	30%	Altura do talude	≤ 10 metros	10 a 20 metros	≥ 20 metros
	25%	Inclinação	≤ 35°	35 a 60°	≥ 60
	30%	Recuo observado a 10 anos	Não perceptível (até 0,5 metros)	0,5 a 2 metros	≥ 2 metros
	15%	Quantidade de blocos na base	0 a 10 % da face do talude em blocos	10 a 40 % da face do talude em blocos	≥ 40 % da face do talude em blocos
Ponderação - Fator de Risco Tabela A			1- 1.2	<1.2-2.5	<2.5-3

Para a segunda Tabela são analisados parâmetros, tanto observados pela ferramenta Google Earth, como pela própria investigação de informação referente ao local, como seja:

- **Geologia local e Condições geomorfológicas** - obtidas por bibliografia referente ao local;
- **Histórico de ocorrência de queda** – relatórios e notícias;
- **Relevo, topografia geral, morfologia em perfil e cobertura do talude** – através de análise em imagem de satélite (Google Earth) e/ou cartas topográficas.

Na ponderação de cada tópico, o histórico de ocorrências e a geologia do local têm maior peso que as restantes uma vez que são fatores de maior alerta e de mais fácil determinação.

Tabela 5 - Tabela B da análise secundária em gabinete.

Ponderação Tabela B	Ponderação tópicos	Tabela B - Análise secundária em gabinete	1 ponto	2 pontos	3 pontos
25%	10%	Relevo	Terraplano plano ou pouco inclinado	Terraplano inclinado com vegetação	Terraplano muito inclinado sem vegetação
	10%	Topografia geral	Plano ou pouco inclinado	Medianament e inclinado	Acidentado
	25%	Historial de ocorrências de queda	Sem historial ou desconhecido	Com historial de queda esporádica	Com historial com queda frequente
	30%	Geologia do local	Maciço rochoso	Rocha friável	solo sedimentar
	7,5%	Condições geomorfológicas	Efeito não condicionante	Efeito condicionante	Efeito instabilizado
	10%	Morfologia em perfil	Retilínea	Convexo	Concavo
	7,5%	Cobertura do talude	Com vegetação	Vegetação rasteira	Pouca ou Sem veg./Ocupação antrópica
Ponderação - Fator de Risco Tabela B			1- 1.4	<1.4-2.5	<2.5-3

Como referido anteriormente, se o estudo concluir que o risco é mediano (amarelo) ou elevado (vermelho) na Tabela B, então é avançado o estudo para última Tabela. Esta correspondente à análise em campo, sendo os pontos desta última Tabela C obtidos presencialmente no local do talude em apreço.

Esta é a Tabela mais específica e completa, encontra-se também dividida em conjuntos de tópicos: as características observacionais e trabalho de campo; o comportamento tenso-deformacional; e as características geomecânicas.

No primeiro conjunto incluem-se os tópicos de frequência de queda de pequenos blocos, adquirido por observação dos que se encontram soltos no local, a afluência de água ao talude e a geologia resultante de caracterização visual.

O segundo conjunto diz respeito às diáclases e falhas presentes no talude, nomeadamente observações se se encontram singulares ou em famílias, o tipo de xistosidade ou estratificação, quando presente, e as condições estruturais das discontinuidades do maciço.

No terceiro conjunto é feita uma distribuição, em função de uma análise geomecânica, com as principais características do talude em questão. Os tópicos mencionados são características estruturais e geotécnicas sendo importante investigar quais influenciam a estabilidade do talude

em questão. Além disso, em caso de queda de blocos, estes parâmetros influenciam o tipo e dimensões dos mesmos (Borges, 2016).

Convém notar que a matriz proposta permite uma análise dos fatores do talude selecionados como estabilizadores. Contudo, em determinados casos, poderá haver ainda outros condicionantes da estabilidade que não são tidos em conta nesta proposta. No entanto, nestes casos, facilmente o modelo poderá ser adaptado caso se considere vantajosos.

Como referido anteriormente, cada uma das Tabelas A, B e C tem uma determinada percentagem de ponderação, que foi definida conforme a sua importância no estudo. Tendo em conta que a última Tabela compreende parâmetros mais decisivos na instabilidade, e a análise de campo por si só é mais pormenorizada, e fiável, que as restantes, esta tabela tem mais peso na ponderação do valor do risco global (40%). Por sua vez, a Tabela A conta com 35% e a tabela B, por ser uma análise mais subjetiva, menos precisa, e com menos fatores de grande relevância, traduz-se em apenas 25% da ponderação.

No caso de não ser possível realizar-se uma avaliação de campo, prevê-se que a última Tabela não seja preenchida. Para colmatar esse facto, é assumido, por defeito, o valor de 1,4 (limite máximo - verde) para esta tabela, de forma a obter-se um valor de fator de risco global do local.

A matriz será utilizada para cada talude, quanto mais talude explorados, mais será o número de matrizes elaboradas e, por sua vez, maior será o número de dados do local e, conseqüentemente, a fiabilidade estatística da caracterização do risco do talude. Posteriormente, todos os dados funcionaram em conjunto para a realização de uma interpretação geral do local.

Tabela 6 - Tabela C - Ficha técnica.

Ponderação Tabela C	Ponderação tópicos	Tabela C - Ficha técnica		1 ponto	2 pontos	3 pontos	
40%	5%	Características observacionais /trabalho de campo	Frequência de queda de pequenos blocos	Nunca a pouco frequente	Ocasional	Frequente	
	7%		Fluência de água no talude	Sem água	Alguma água	Muita água	
	10%		Geologia	Rocha íntegra	Rocha alterada ou frível	Rocha muito alterado ou solo	
	7%	Comportamento tenso-deformacional	Díclase/ Falha	Díclase sem família	Díclase de família principal	Falha de família principal	
	7%		Xistosidade/ Estratificação	Sem Xistosidade/estratificação ou perpendicular	Xistosidade/estratificação inclinado	Xistosidade/estratificação a favor da inclinação	
	7%		Condições geoestruturais	Descontinuidades com orientação favorável	Descontinuidades com orientação aleatória	Descontinuidades com orientação desfavorável	
	10%	Características geomecânicas	Grau de alteração	W1	W2/3	W4/5	
	10%		Espaçamento	F5	F4/3	F2/F1	
	10%		Presença de água nas descontinuidades	Completamente seco	Ligeiramente húmido a gotejante	Fluído	
	6%		Natureza do preenchimento	Preenchimento rochoso ou duro	Preenchimento mole (argiloso)	Nenhum	
	6%		Rugosidade	Rugoso, irregular	Ondulado	Planar	
	7%		Continuidade	Muito pouco a pouco contínuas (<3m)	Medianamente contínuas (3 a 10m)	Contínuas a muito contínuas (>10m)	
	8%		volumen do bloco unitário	<0,3m ³	0,3 – 1m ³	>1m ³	
Ponderação - Fator de Risco Tabela C				1- 1.4	<1.4-2.5	<2.5-3	

Capítulo IV

Caso de estudio

(página propositadamente em branco)

4. Caso de estudo

Para a implementação da metodologia proposta foram escolhidos 3 locais diferentes. Os locais escolhidos, encontram-se distanciados entre si, sendo localizados nos distritos da Marinha Grande, Lourinhã e Sintra, mais precisamente, correspondem a taludes nas praias de São Pedro de Moel, Paimogo e Assentiz. Estes locais foram escolhidos dado que são locais de interesse do ponto de vista paisagístico e turístico, locais frequentemente noticiado pela instabilidade das suas arribas, e, mais importante ainda, notam-se evidências de alterações nos taludes no intervalo dos anos, com uma breve observação do Google Earth.

A escolha destes 3 locais para estudo ao permitir uma comparação dos resultados obtidos, possibilitando uma avaliação dos fatores mais condicionantes da estabilidade. Por este facto, foram escolhidos locais com geologias e geomorfologias distintas (Figura 15) dado que este é um fator condicionante da estabilidade de um talude.

Para todos os casos foram utilizados os mesmos métodos para avaliação de cada tópico da matriz de forma a uniformizar o processo. Nas Figura 12, Figura 14 e Figura 14 são observados, em imagens 3D, os taludes analisado, onde se denota, a grande irregularidade e altura dos taludes.



Figura 12 - Imagem 3D de São Pedro de Moel (Geoportal visualizador 3D).



Figura 13 - Imagem 3D de Paimogo (Geoportal visualizador 3D).



Figura 14 - Imagem 3D de Assentiz (Geoportal visualizador 3D)

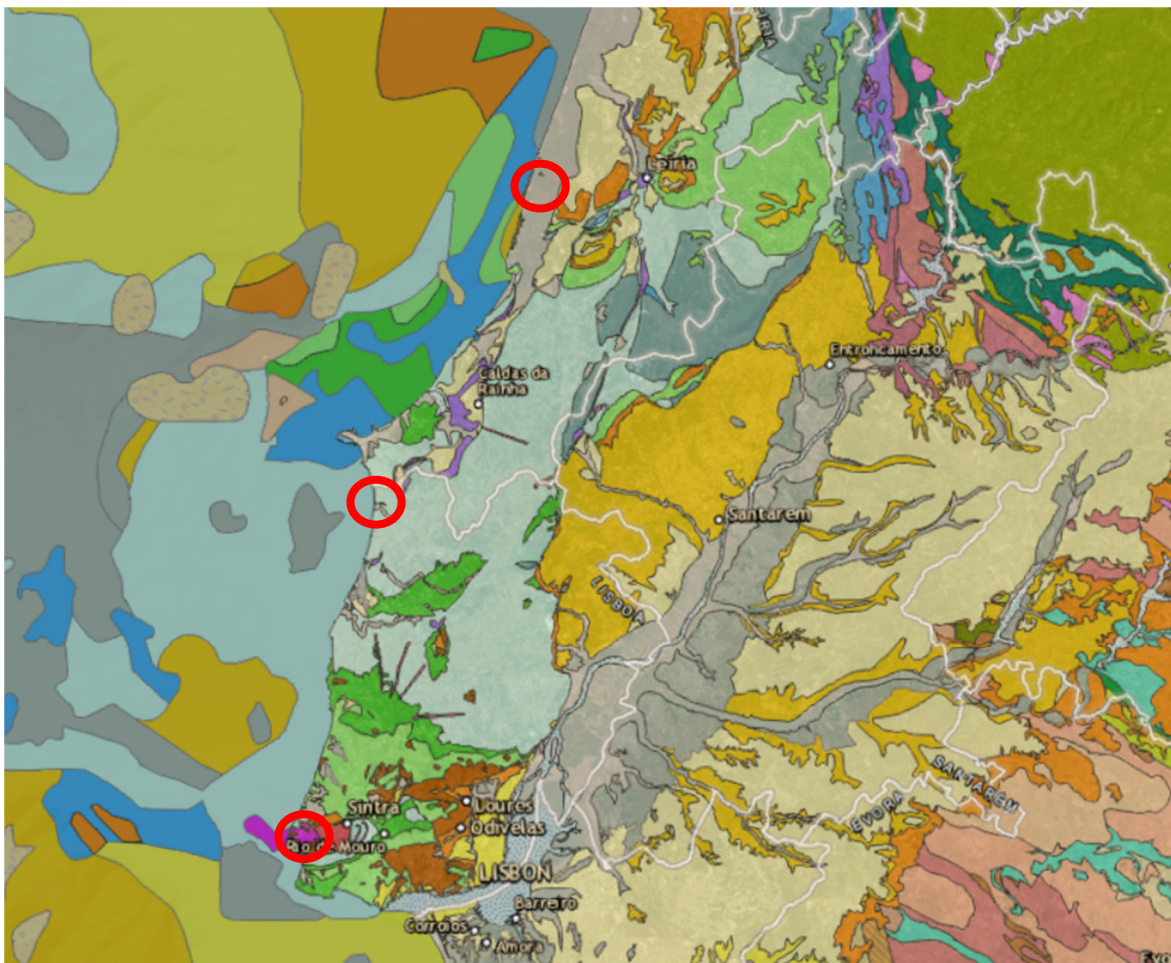


Figura 15 - Comparação geológica dos 3 caso (Geoportal visualizador 3D)

4.1. Praia de São Pedro de Moel

4.1.1. Enquadramento geral

O local de estudo encontra-se na costa litoral Oeste mais precisamente no concelho da Marinha Grande no distrito de Leiria. A aldeia de São Pedro de Moel tem uma área aproximada de 1,25 km² e cerca de 389 habitantes.

Na zona norte desta praia temos uma morfologia muito retilínea, representada pela baixa arenosa. Já a zona de São Pedro de Moel é caracterizada por ter uma faixa rochosa muito alta numa extensão de cerca de 1km de encosta (Soares, 2013).

Este local é frequentemente conhecido pelo turismo na época balnear, sendo um local bastante visitado na altura de férias. As instabilidades das arribas de São Pedro de Moel é algo já conhecido há alguns anos com vários trabalhos realizados sobre o tema, sendo um caso que preocupa a população e banhistas.

Observando as imagens de satélite é de notar que as arribas têm uma orientação predominante NNE-SSW (Figura 23, 24 e 25).

4.1.2. Enquadramento geológico e geomorfológico

São Pedro de Moel encontra-se inserido na unidade Mofostrutural da Orla Mesocenozóica Ocidental. As rochas que constituem esta unidade resultaram dos esforços tectónicos distensivos criando um longo e estreito graben de orientação NNE-SSW (Soares, 2013).

Após a abertura do atlântico Norte, por consequência da fragmentação da pangeia, originou-se uma depressão tectónica sobre a atual Margem Ocidental Ibérica criando assim ao que chamamos a Bacia Lusitana, onde se insere o nosso local. A Bacia Lusitana é uma bacia sedimentar e está limitada a Este pelo Maciço Antigo e a Oeste pelo horst da Berlenga (Epifânio, 2013). Os sedimentos que constituem esta bacia, em parte, são providentes do Maciço Antigo. A Bacia desenvolveu-se ao longo de parte da margem ocidental ibérica, em regime distensivo, e a sua evolução proveio de 4 episódios de 'rifting'.

A Bacia Lusitana foi em parte completa por sedimentos que atingiram os 5km de espessura, desde o Triásico superior até ao Turoniano sendo o seu preenchimento prolongado durante o Cenozoico. Nesta Bacia ocorreram vários períodos de transição e regressão marinha por conta dos episódios alternados de subsidência e de levantamento (Soares, 2013).

Os sedimentos encontrados nesta bacia apresentam um conjunto de fracturações e deformações causadas pela tectónica dipírrica, instalação do plutonito de Sintra e movimentos relativos dos blocos (Epifânio, 2013).

O acidente da Nazaré funciona como fronteira entre dois domínios geoestruturais: a Norte ocorre a compressão que resultou no levantamento e a Sul predominaram fenómenos de distensão e processos geodinâmicos, dos quais são evidências desses processos as serras do Norte da Península e Maciço Eruptivo de Sintra, respetivamente.

A praia estudada encontra-se enquadrada na Carta Geológica da folha 22-D da Marinha Grande (Figura 16) fornecida pelo Geoportal do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) à escala 1:50 000. Neste local estamos perante arribas da praia que são datadas do Jurássico inferior (Toarciano). Na base estamos perante a formação de Coimbra encimada por uma cobertura arenosa do Plio-Plistocénico, ocorrente em praticamente toda a sua extensão. Esta litologia é característica por se apresentar em alternância rítmica de calcários margosos de cor cinzenta acastanhada e de margas de cor acastanhada. É ainda de referir a existência de uma zona com uma grande alteração do maciço pela presença de uma falha de orientação NW-SE, com uma estrutura que tende a mergulhar para ocidente (Soares, 2013).

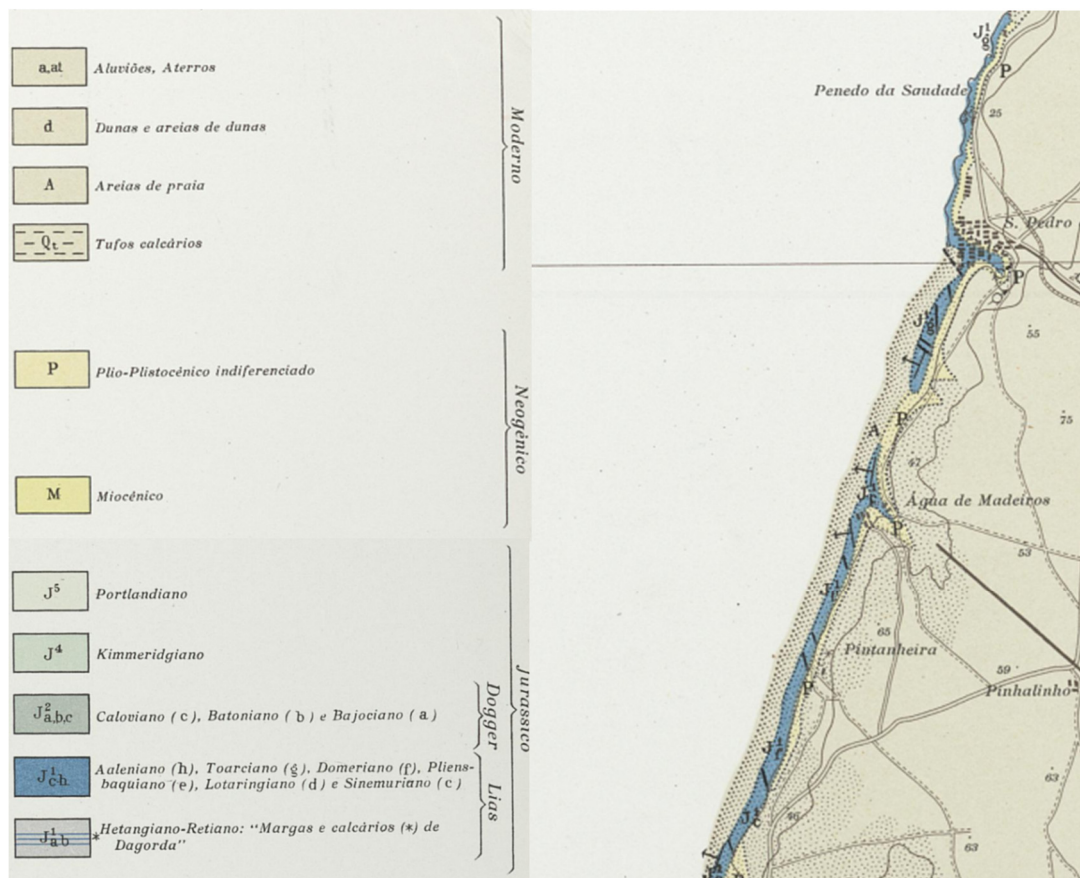


Figura 16 - Carta Geológica 1:50 000 da Marinha Grande (Geoportal LNEG).

4.2. Praia de Paimogo

4.2.1. Enquadramento geral

A praia de Paimogo encontra-se inserida no concelho da Lourinhã, no Distrito de Lisboa. Este Município apresenta uma área de 146 km² e compreende 26 mil habitantes.

O Município da Lourinhã tem uma costa extensa de 12,3 km dos quais 11,3 km correspondem a sistemas praia-arriba (Epifânio, 2013). O local estudado faz referência a duas das praias desta localidade, a praia de Paimogo e Caniçal, uma vez que as duas praias se encontram no mesmo areal lado a lado e têm uma extensão linear de cerca de 1km o que permite obter mais dados do local. A arriba do local estudado tem uma altura considerável, variando os 15 e os 45 metros com uma orientação predominante de NNW-SSE.

4.2.2. Enquadramento geológico e geomorfológico

A zona em questão encontra-se enquadrada na Carta Geológica da folha 30-A da Lourinhã (Figura 17) fornecida pelo Geoportal do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) à escala 1:50 000.

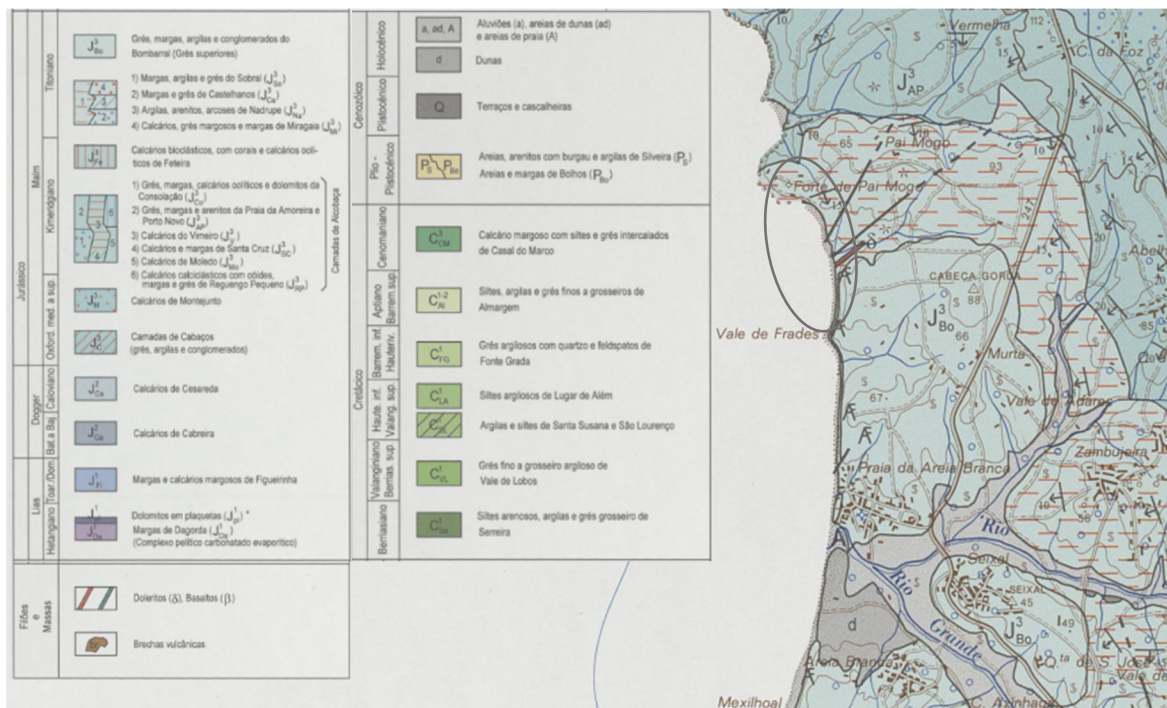


Figura 17 - Carta Geológica 1:50 000 da Lourinhã (Geoportal LNEG).

O concelho da Lourinhã está também inserido na Orla Mesocenozóica Ocidental, mais concretamente, na Bacia Lusitana, igualmente como no caso de São Pedro de Moel.

A zona costeira que compreende as arribas corresponde a uma herança de fácies fluvial do final Kimeridgiano da Formação da Lourinhã (Fevereiro, 2013). Na formação da Lourinhã é possível

identificar três Unidades Litológicas: Unidade litológica de Porto Novo; Unidade litológica do Bombarral; e Unidade litológica do Sobral (Epifânio, 2013).

O final Kimeridgiano é característico pela sua dinâmica fluvial do tipo meandriforme criando um depósito com cinco fácies. Correspondente à unidade de Porto Novo as 5 fácies são:

- Níveis de Seixos e Conglomerados – constituído por seixos e conglomerados, restos vegetais envolvidos numa matriz arenosa;
- Níveis Areníticos - depósitos de canais fluviais com 5 subfácies originada pelos diferentes regimes entre os canais;
- Níveis argilosos no seio dos níveis areníticos – material em suspensão existente aquando dos episódios de cheia;
- Níveis mais heterolíticos compostos por siltes e areias finas – depósitos após eventos de inundação;
- Níveis argilosos – a mais volumosa correspondente a depósitos de planície de inundação, onde ocorrem níveis mais carbonatados (Fevereiro, 2013).

Conclui-se então que cada uma destas fácies representa um ambiente fluvial de cheia. Sendo ainda de notar a existência de figuras sedimentares tais como as fendas de dessecação, formas de erosão esféricas, estratificação cruzada, marcas de bioturbação e fósseis de bivalves características deste ambiente. É ainda importante referir que todas estas sequências se encontram inclinadas para sul, fazendo parte do sinclinal da praia da Areia Branca. Como observado na Carta Geológica (Figura 17) encontram-se algumas estruturas evidentes como uma grande falha a norte da Ribeira de Paimogo, um filão a sul da mesma e um paleocanal já no final da praia (Fevereiro & Azerêdo, 2014).

Identifica-se ainda a presença de mais duas Unidades Litológicas a Unidade do Sobral e a Unidade do Bombarral.

A série sedimentar da Unidade do Sobral é uma sequência sedimentar com 130 metros que apresenta pequenas séries de arenitos grosseiros, margas siltosas e argilosas, intercalação de margas arenosas e de argilas siltosas, com vestígios de fauna bêntica e de plantas. Esta sequência é datada de Titoniano–Kimeridgiano Superior e mostra evidências de uma altura regressiva. No entanto, no topo é demonstrado uma sequência de ambiente marinho deltaico consequente de uma progressão marinha.

A série sedimentar da Unidade do Bombarral do Titoniano tem uma grande variedade de espessuras, que vão das dezenas a centenas de metros e é constituída por sequências siliclásticas

continentais siltosas, areníticas e conglomeráticas, com arenitos argilosos e argilas com vestígios de plantas incarbonizadas e de dinossauros consequente do meio de sedimentação fluviolacustre. Sobre esta unidade litológica depositaram-se arenitos argilosos do Cretácico (Epifânio, 2013)

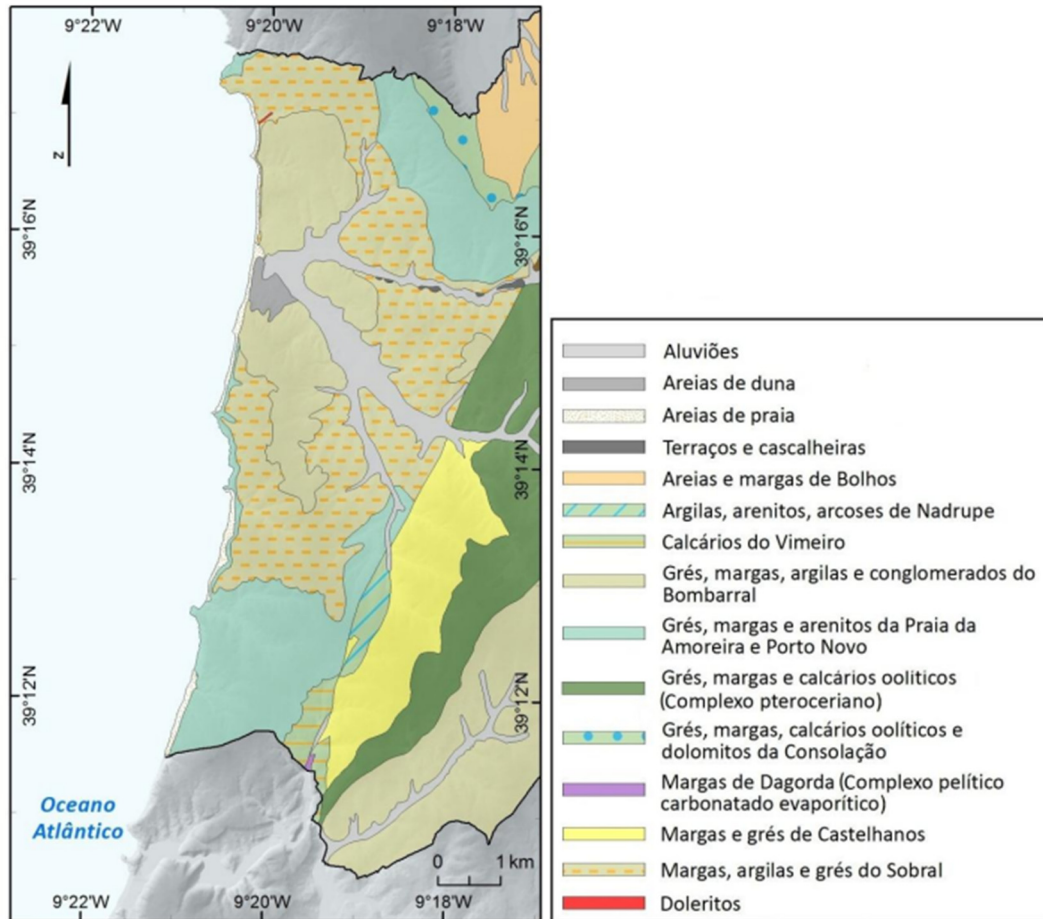


Figura 18 - Litologia da Lourinhã (Epifânio, 2013).

Estas 3 Unidades são evidentes na periferia de Paimogo, mas estendem-se por toda o complexo da Lourinhã. No entanto, é importante referir que a Unidade de Porto Novo apenas aflora na zona norte de Paimogo, na praia da Peralta e Valmitão não compreendendo a área de estudo. Relativamente às Unidades do Sobral e Bombarral afloram respetivamente na praia de Paimogo e na Praia do Caniçal.

A únicas evidências de afloramentos de rochas magmáticas correspondem, como referido anteriormente, a um filão de natureza dolerítico bastante alterado, com direção aproximada NE-SW também encontrado na Praia do Caniçal (Epifânio, 2013).

4.3. Praia de Assentiz

4.3.1. Enquadramento geral

A Praia de Assentiz encontra-se localizada na freguesia de Colares, no concelho de Sintra. Esta praia é situada numa pequena enseada, correspondendo a um areal de reduzidas dimensões, apresentando-se com uma extensão longitudinal de 312 metros e 54,6 metros de extensão transversal e com uma orientação NE – SW. O acesso à praia é feito pela zona sul da aldeia de Azóia. Este local encontra-se enquadrada no maciço de Sintra que consiste numa zona elevada em contraste com sedimentos aplanares em que cortam. Considera-se o acidente geológico e geomorfológico mais importante da península de Lisboa. A praia encontra-se relativamente próxima ao ponto mais ocidental do continente europeu denominado como “Cabo da Roca”, um importante local turístico.

A linha de costa do concelho de Sintra é bastante recortada, apresentando arribas de perfil abrupto. No local, e na envolvente, encontram-se escarpas litorais à cota de cerca 140 metros e com declive superior ou igual a 45 °. Nesta zona existem várias praias com taludes elevados e com possível risco. No entanto, apenas foi possível ver, em imagens aéreas, a delimitação da crista com algum rigor neste caso.

4.3.2. Enquadramento geológico e geomorfológico

A praia de Assentiz corresponde a uma reentrância da linha de costa sendo uma das praias do Maciço de Sintra que se encontram precisamente no local de contacto entre os granitos e os sienitos, o que resulta numa faixa de fragilidade (Fonseca, 2009).

Encontra-se enquadrada no Maciço de Sintra datado do Cretácico Superior. A génese destes corpos ígneos tem sido associada a uma fase tectónica em que ocorreu a rotação do Golfo da Biscaia, criando as condições geodinâmicas distensivo para instalação de um acidente de orientação NNW-SSE, representado nos três maciços ígneos (Sintra, Sines e Monchique). Ao longo do Terciário, este corpo intrusivo foi gradualmente ascendendo, com vergência e cavalgamento para Norte, em consequência das tensões compressivas na micro-placa ibérica (Reis & Pimentel, 2006).

Os granitos deste local são de grão médio a fino e apresentam uma mineralogia constituída por quartzo, ortose de cor avermelhada, algumas plagióclases (oligóclase e andesina), biotite, apatite e alanite. Existe ainda presença de feldspato alcalino, sódico-potássico, a anortóclase, que indica que estas rochas se formaram a altas temperaturas (Oliveira, 2009). Nestas rochas é frequente encontrar filões de dimensão e natureza variadas e encraves, na maioria de natureza sedimentar (Fonseca, 2009).

Os sienitos variam desde o sienito quartzífero (com ortose, andesina, oligóclase, biotite e piroxena) a fácies de transição para as rochas gabro-dioríticas com textura porfiroide ou granular (Fonseca, 2009). O sienito encontra-se em transição com os granitos e os dioritos. Segundo o que é constatado o sienito e granito são quase contemporâneos e a sua transição é feita de uma forma gradual, no entanto o sienito é posterior aos dioritos.

Os granitos ocupam a maior parte do maciço enquanto o sienito compreende o núcleo do mesmo. Quando ocorre meteorização nestas rochas originam frequentemente caos de blocos (Fonseca, 2009).

Esta praia é definida como um sistema praia encastrada constituída por arribas. As praias encastradas são caracterizadas por ser diretamente ligadas às características litológicas e/ou estruturais do substrato. Ou seja, são locais condicionados pela tectónica, podendo encontra-se falhas que conduziram à formação de faixas de fragilização na rocha, onde atua a erosão e resulta em reentrâncias onde se acumula a areia (Oliveira, 2009).

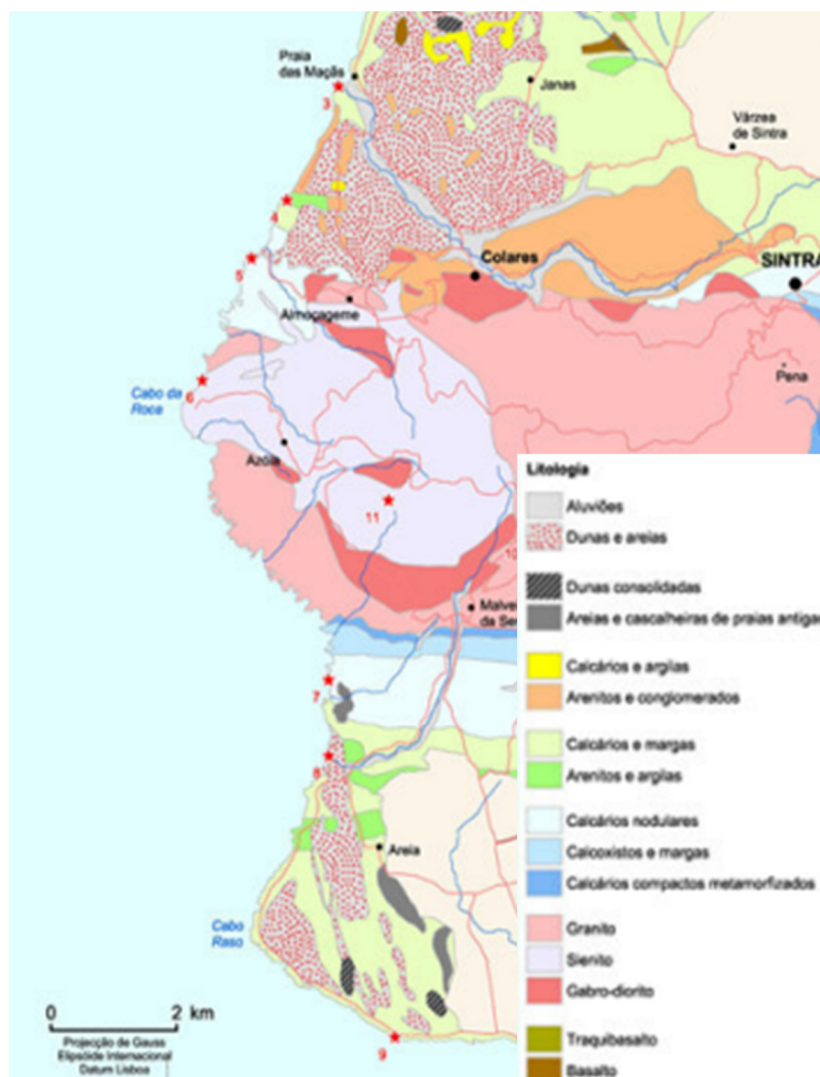


Figura 19 - Litologia de Sintra (Fonseca, 2009).

4.4. Aplicação

4.4.1. Generalidades

Nesta secção será apresentada a aplicação da matriz proposta para cada caso de estudo. Para todos os casos o procedimento foi idêntico. Inicialmente recorreu-se à ferramenta Google Earth para a obtenção de imagens, orientadas para norte e o mais verticais possível, das zonas em questão. Em cada local foram escolhidas as melhores imagens e com a maior distância temporal de forma a conseguir perceber uma maior diferença na geometria dos taludes. A partir destas imagens foi desenhada uma linha que limita a crista dos taludes, e posteriormente, as linhas foram sobrepostas de forma a identificar os locais onde ocorreu recuo da crista. Neste projeto foram retiradas imagens de satélite dos anos de 2005, 2007, 2009, 2021, 2022 e 2023. Todos os recuos observados foram extrapolados para uma escala de 10 anos, de modo a uniformizar o estudo para a mesma escala temporal.

Uma vez que a imagem de satélite tem alguma distorção, foram desenhados alguns fatores de escala corretivos no desenho, dos quais, polígonos (quadrados e retângulos) e retas com cerca de 100 metros cada, com o propósito de diminuir o erro tornando os recuos o mais fiáveis possível.

Em cada imagem de satélite apresentada estarão presentes duas linhas irregulares representando as linhas de crista do talude, na qual a linha amarela representa o limite de crista da primeira imagem de análise, a mais antiga (2005, 2007 e 2009), e a linha vermelha limita a crista mais recente possível de análise (2021, 2022 e 2023). Para esta tarefa, foi utilizada o software Autocad de forma a escalar a imagem e a permitir sobreposição das linhas sobre as imagens.

Levando em conta as imagens de satélite e as linhas criadas foram selecionados os taludes para análise que corresponde a locais onde se observou um recuo evidente. Posteriormente, com recurso, de novo, à ferramenta Google Earth foi retirado um conjunto de valores de forma a determinar a altura do talude, o recuo, inclinação e a percentagem de blocos na base. Nos restantes parâmetros que necessitaram utilização do Google Earth, foi usado apenas uma interpretação visual sem quantificação numérica.

Após preenchimento das duas primeiras Tabelas, e conforme previsto pela metodologia (ver Capítulo 3) foi programada uma ida ao local de forma a completar os parâmetros da terceira Tabela e confirmar os tópicos das primeiras duas Tabelas. A análise de campo iniciou-se pela identificação dos taludes no local e pela recolha das atitudes das faces taludes ou estratificação e das coordenadas de cada talude assim como uma análise visual de algumas características de alerta que chamavam a atenção e que podiam compreender um maior risco. De entre estas destaca-se a alteração da face dos taludes que se encontrou em grande parte dos taludes observados.



Figura 20 - Alteração da face do talude de Paimogo.

Posteriormente, observou-se visualmente o volume dos blocos, o grau de alteração do maciço, como se encontrava a xistosidade/estratificação, a geologia, a afluência de água no talude e a frequência de queda de blocos relacionado com a quantidade de blocos encontrados na base do talude e no próprio talude. Todas estas características são representantes da Tabela C. No entanto, os restantes tópicos que compreende esta Tabela não foram possíveis determinar, uma vez que estes são relativos às discontinuidades (diáclases e falhas) e em todos os taludes em questão analisados não foi possível observar este tipo de discontinuidades, dado que no caso de Paimogo a face do talude apresenta-se bastante alterada e em Assentiz não foi possível fazer uma análise completa por conta da inacessibilidade e da grande camada de substrato e vegetação na superfície do talude. No caso de São Pedro de Moel, também não foi exequível completar o estudo visto que

só foi observada uma possível diáclase no Talude 2 mas que não foi tida em conta por conta da distância a que nos encontrávamos não sendo possível uma observação clara e, por conseguinte, não foi possível confirmar se realmente corresponderia a uma diáclase. Além disso, grande parte dos taludes de São Pedro de Moel encontravam-se também alterados e existindo ainda intervenções de contenção de taludes o que denota a instabilidade da faixa litoral deste local.

Em São Pedro de Moel foi feita a análise de campo na parte superior da extensão dos taludes na zona do terraplino até onde foi possível analisar. Em Paimogo, essa análise foi sobre a base do talude no decorrer do areal. Em Assentiz, o acesso possível foi pela parte superior, impossibilitando a visão direta da base do talude.

Para os valores que não foram possíveis determinar, por conta da segurança e/ou impossibilidade de observação, conforme definido no procedimento, foi assumido por defeito o valor mais baixo para a Tabela C, ou seja, o valor de 1.

Nota: As imagens de campo foram recolhidas com a Aplicação Spotlens onde apresenta as coordenadas do local tirado com um certo grau de incerteza e altitude a que foram tiradas as próprias fotografias, com um desvio apresentado em cada tópico referente ao local.



Figura 21 - Intervenção talude 2 de São Pedro de Moel.



Figura 22 - Possível diáclase em São Pedro de Moel.

4.4.2. São Pedro de Moel

O primeiro local analisado foi São Pedro de Moel, no qual foram identificados 6 taludes onde ocorreu recuo, como se encontra explicito nas imagens seguintes. Numa grande extensão litoral analisada em São Pedro de Moel não existiu alterações evidentes mantendo uma linha de crista mais ou menos constante. Além dessa zona noutra grande parte foi difícil identificar a crista uma vez que a imagem não é muito elucidativa. Para este caso em concreto foram identificados os 6 taludes divididos por 3 imagens de satélite (Figura 23, 24 e 25) para uma extensão de cerca de 1km, nos quais as imagens mais antiga são do ano de 2005 (Anexo 1) e as mais recentes, do ano de 2022 (Figura 23, 24 e 25).



Figura 23 - Imagem de satélite 1 de São Pedro de Moel - Talude 1/2/3.



Figura 24 - Imagem de satélite 2 de São Pedro de Moel - Talude 4.



Figura 25 - Imagem de satélite 3 de São Pedro de Moel - Talude 5/6.

As Tabela 7 - Dados imagem de satélite 1 de São Pedro de Moel têm três parâmetros de cálculos, sendo eles, o recuo, a quantidade de blocos e a inclinação do talude. O recuo foi determinado através da área formada pelas duas linhas de crista (vermelha e amarela) a dividir pela extensão com recurso uma reta média, representada a roxo nas imagens anteriores. No caso da inclinação utilizou-se a relação trigonométrica entre a altura e dimensão da projeção horizontal do talude. Por fim, a quantidade de blocos foi determinada comparando o comprimento de uma linha até ao limite dos blocos pelo comprimento do talude. Estes cálculos foram adotados para o caso de todos os taludes das praias investigadas usando então o mesmo procedimento em todas.

No cenário de São Pedro de Moel, o Talude 1 é o que apresenta um maior recuo, sendo ainda o talude que apresenta uma maior extensão, no entanto, é um talude com pouca altura, apresentando apenas 6 metros. É de destacar ainda o Talude 6 que tem uma inclinação considerável e ainda o facto de apresentar blocos na base, contudo, corresponde à área de talude mais curta para este mesmo caso.

Estes dados serão depois usados para ser possível completar a matriz constante no Capítulo dos Resultados.

Tabela 7 - Dados imagem de satélite 1 de São Pedro de Moel.

Imagem 1 - São Pedro de Moel							
Talude	Área (m ²)	Extensão (m)	Recuo (m)	Altura (m)	Comprimento (m)	Inclinação (°)	Blocos
1	221,23	70,26	3,15	6	16,98	19,46	Não visível
2	99,99	71,82	1,39	12	18,95	32,35	Não visível
3	66,65	49,58	1,34	5	14,20	19,39	Não visível

Tabela 8 - Dados imagem de satélite 2 de São Pedro de Moel.

Imagem 2 - São Pedro de Moel							
Talude	Área (m ²)	Extensão (m)	Recuo (m)	Altura (m)	Comprimento (m)	Inclinação (°)	Blocos
4	40,59	23,57	1,72	13	24,52	27,93	Não visível

Tabela 9 - Dados imagem de satélite 3 de São Pedro de Moel.

Imagem 3 - São Pedro de Moel							
Talude	Área (m ²)	Extensão (m)	Recuo (m)	Altura (m)	Comprimento (m)	Inclinação (°)	Blocos
5	81,20	37,66	2,156	9	25,18	19,67	Não visível
6	58,84	27,28	2,16	10	11,67	40,60	33%

Observando localmente os taludes de São Pedro de Moel é denotado uma costa bastante recortada e irregular. Os taludes observados encontravam-se próximos da linha do mar o que resulta num grande processo erosivo no local. Denota-se que estamos perante uma zona bastante estratificadas e como inclinação da estratificação, que propicia a queda de blocos e movimentos instabilizadores, com uma direção entre os 15 e os 28 e inclinação abrupta de cerca de 50 ° para SE. Verifica-se ainda uma porção de estratificação muito mais inclinada no Talude 1, com 80° para NW, o que justifica o maior recuo observado. É de notar ainda que esta estratificação apresenta um grande preenchimento de solo com características silto-argilosas.



Figura 26 - Planos definidos de estratificação.

Este local é já frequentemente mencionado pelos seus problemas de estabilidade, existindo várias placas de alerta para a possível queda de blocos. No trabalho de campo, foi possível observar que existe intervenções efetuadas no local para a estabilização dos taludes o que denota esse mesmo problema de estabilidade, sendo necessária mais intervenções para os restantes taludes. Além disso existe um maior risco para este local uma vez que existem várias casas implantadas próximo do limite da crista potencialmente instável.



Figura 27 - Intervenções em São Pedro de Moel.

No trabalho de campo existiram algumas limitações além da impossibilidade de observação das descontinuidades, como já referido anteriormente. O Talude 3 não permitiu a observação direta da sua face dado que o acesso era apenas disponível por cima e corresponde a um local mais extraído da costa na direção do mar. O Talude 4 também não permitiu a observação próxima ao local, no entanto este notava-se bastante alterado.



Figura 28 - Talude 3 e seu preenchimento



Figura 29 - Talude 4.

Os Taludes 5 e 6 foram classificados de igual modo pelo facto de serem observados a distância e o último talude cobrir o Talude 5. Estes Taludes, juntamente com o Talude 4, apresentam uma pior qualidade de materiais encontrando-se nitidamente mais alterados que os restantes.

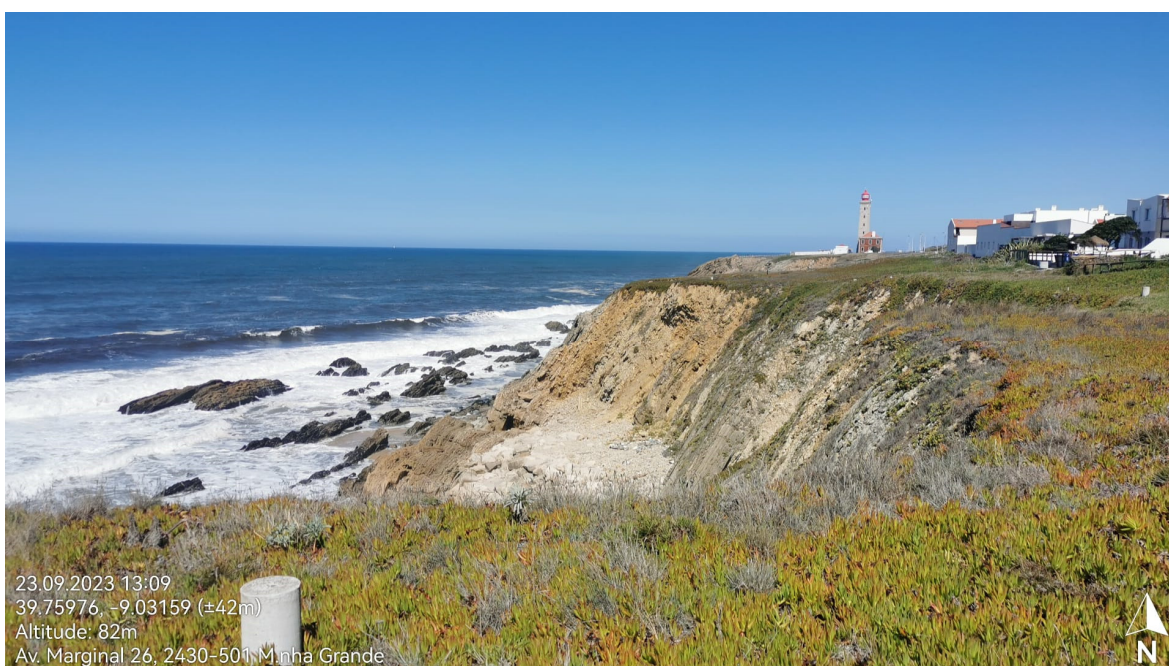


Figura 30 - Talude 5.

Nota: Foi admitido que as imagens retiradas deste local possuem um erro de 47 metros, no valor da cota, e foram acertadas em função da altitude do farol de São Pedro de Moel que se apresenta a uma altitude de 32 metros.

4.4.3. Paimogo

Em Paimogo foram seleccionadas praias que compreendem a extensão de mais ou menos 1km, a de Paimogo e do Caniçal. Na praia de Paimogo individualizaram-se 5 taludes e na praia do Caniçal foi considerado um talude único uma vez que este era contínuo e homogéneo.

Este local é frequentemente noticiado pelo facto de o Forte de Paimogo, visível no lado esquerdo da Figura 31, se encontra em risco de derrocada por conta dos recuos observados do talude.

Para este local foram analisadas as imagens aéreas de 2009 (Anexo 1) e de 2023 (Figura 31 e Figura 32 e Figura 33 e 34). Nestas imagens é observado que este local, em grande parte dos taludes, o recuo evidente da crista. Na Figura 31 é ainda de notar que na zona do Talude 1 foram efetuadas algumas obras, para materialização de acessos, fazendo com que estas cortem o talude em questão. Estas obras resultaram na acumulação de blocos na base esquerda do Talude 2 junto ao final da estrada que, por tal motivo, não foram considerados na análise.

O Talude 2 é bastante irregular comparativamente com os restantes, por conta de um canal que existe, ou existiu, proporcionando grande recuos para esta porção do talude.

Na praia do Caniçal é evidente que este talude se encontra com uma tonalidade diferente dado que, como referido anteriormente, a geologia do local é um pouco distinta.



Figura 31 - Imagem de satélite 1 de Paimogo - Talude 1/2/3.



Figura 32 - Imagem de satélite 2 de Paimogo - Talude 3/4/5.



Figura 33 - Imagem de satélite 3 do Caniçal - Talude 6.

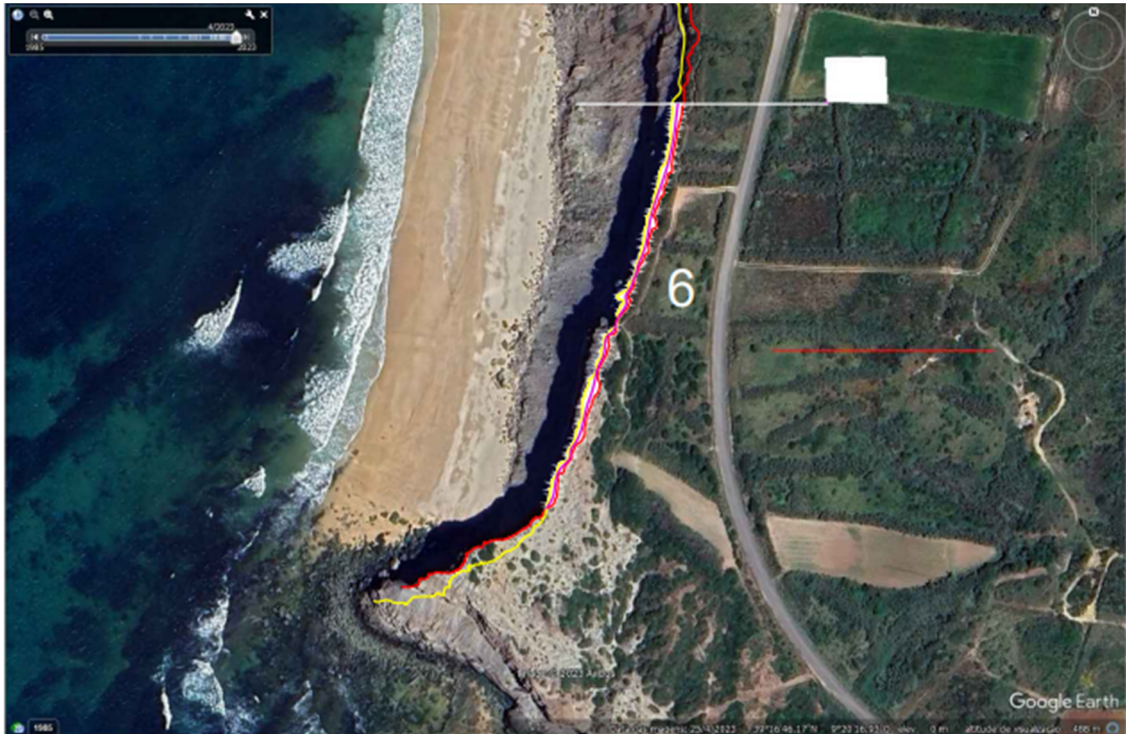


Figura 34 - Imagem de satélite 4 do Canial - Talude 6.

Observando as Tabela 10, Tabela 11, Tabela 12, conclui-se que o talude com maior recuo é o Talude 5. No entanto, este apresenta uma menor altura pois corresponde à parte final do talude desta praia.

Existem blocos visíveis em todos os taludes exceto no segundo. Uma vez que, não foram considerados os existentes resultantes das obras é possível que tenham sido removidos aquando das intervenções no local.

O Talude 6 é aquele a que corresponde a maior extensão e maior recuo, sendo ainda o talude com maior altura a par do Talude 1. No caso do Talude 1 possui muito menos recuo que o Talude 6 mas é o que tem maior quantidade de blocos na base em consequência da dinâmica fluvial.

Tabela 10 - Dados imagem de satélite 1 da Praia de Paimogo.

Imagem 1 - Praia de Paimogo							
Talude	Área (m ²)	Extensão (m)	Recuo (m)	Altura (m)	Comprimento (m)	Inclinação (°)	Blocos
1	218,45	125,61	1,74	38	48,55	38,05	32%
2	534,15	144,24	3,70	35	47,97	36,11	Não visível

Tabela 11 - Dados imagem de satélite 2 da Praia de Paimogo.

Imagem 2 - Praia de Paimogo							
Talude	Área (m ²)	Extensão (m)	Recuo (m)	Altura (m)	Comprimento (m)	Inclinação (°)	Blocos
3	380,22	163,70	2,32	36	42,78	40,08	7%

4	66,61	54,63	1,22	22	28,64	37,53	19%
5	516,79	119,29	4,33	15	24,96	30,99	27%

Tabela 12 - Dados imagem de satélite 3 e 4 da Praia de Paimogo.

Imagem 3 e 4 - Praia do caniçal							
Talude	Área (m ²)	Extensão (m)	Recuo (m)	Altura (m)	Comprimento (m)	Inclinação (°)	Blocos
6	1125,10	297,40	3,78	38	53,13	35,57	14%

Ao observar localmente verifica-se que Paimogo apresenta maiores alturas de talude e materiais mais alterados que o caso anterior. Em todos os taludes notam-se formas na face resultantes da escorrência da água da chuva pelo talude denotando a fraca qualidade do material.



Figura 35 - Visão completa da praia de Paimogo e Caniçal.

Como já havia sido constatado existem algumas obras realizadas no Talude 1 para facilitar o acesso a praia. Além disso como já havia sido referido o Forte que se encontra sobre este mesmo talude e que se encontra bastante degradado e em risco de quedas por se encontrar junto ao limite do talude. Neste talude observa-se também a presença de betão projetado com vista a evitar a queda de pequenos blocos para a estrada.



Figura 36 - Degradação do Forte e cimento projetado.

Fazendo uma análise integral da extensão do talude percebe-se que existe uma camada mais resistente no meio de camadas mais frágeis. Esta camada, provavelmente, criou os blocos de maior dimensão que se encontram ao longo de toda a praia.



Figura 37 - Alteração do talude, camada mais resistente e blocos.

No final do Talude 2, por provavelmente estar presente o canal de água antiga, existem alguns vestígios de água que foram tidos em conta na última Tabela.



Figura 38 – Filão.

O último Talude na praia do caniçal tinha uma morfologia muito côncava, encontrando-se mais íngreme e abrupto na parte superior que os restantes, indicando que pode ocorrer grandes quedas de blocos num futuro próximo. No início do Talude, que compreende a praia do Caniçal, apesar de não ser uma faixa que tenha sido analisada em AutoCad, por não apresentar recuo, é importante referir que é perfeitamente visível a separação causada pelo filão referido no enquadramento. Confirmou-se que este apresenta maior resistência que o material envolvente, uma vez que se encontra sobressaído em relação ao restante

Os taludes que compreendem este local variam de uma direção entre os N300 até aos 360 (NO) com uma inclinação íngreme de máximo de 70° e mínimo de 48° inclinada para NE-SW. Relativamente à direção e inclinação da estratificação não foi possível determinar com exatidão, no entanto esta estratificação apresentava-se mais aplanada e menos inclinada que nos de São Pedro de Moel e encontra-se a com uma inclinação de cerca de 15° para SW, o que proporciona um pouco a instabilidade.

Nota: As imagens deste local admitem um erro de 47 metros e foram acertadas em função da altitude do Forte de Paimogo que se apresenta a uma altitude de 40 metros.

4.4.4. Assentiz

A praia de Assentiz corresponde à praia mais reduzida analisada. Neste caso foi individualizado apenas um talude que se encontra na zona SE da praia uma vez que no talude NW não se testemunharam alterações evidentes a nível do recuo.

Tendo em conta a geologia em questão e o facto de ser uma praia encaixada fez com que se criasse uma praia com taludes muito íngremes e de grande altura. É ainda importante referir que este talude apresenta muito mais vegetação do que os casos anteriores o que nos leva a acreditar que a camada superior, possivelmente, corresponde a uma camada de substrato granítico resultante da meteorização do maciço rochoso, e pelas suas condições geotécnicas, promove os elevados recuos observados e a vegetação encontrada.



Figura 39 - Imagem de satélite 1 de Assentiz - Talude 1.

Observando o talude é de notar o grande recuo observado, as elevadas alturas e a grande inclinação notando-se assim um local com um potencial de elevado risco. Além disso ainda é possível observar a queda de alguns blocos sendo um perigo para a população que frequenta esta praia, dado que esta tem um areal relativamente reduzido.

Tabela 13 - Dados imagem de satélite 1 da Praia de Assentiz.

Imagem 1 - Praia de Assentiz							
Talude	Área (m ²)	Extensão (m)	Recuo (m)	Altura (m)	Comprimento (m)	Inclinação (°)	Blocos
1	2508,19	380,24	6,60	100	85,27	49,55	19%

Como referido, o trabalho de campo apresentou algumas limitações na recolha de dados. De entre os 3 casos, Assentiz foi o qual a que compreendeu mais complicações por conta da impossibilidade de acesso facilitado à praia dado que não apresentava condições de segurança suficientes, o que proporcionou uma visualização muito limitada do talude. Efetivamente apenas foi observada a parte superior do talude e um pouco da extrema do final do talude. Além disso existia uma grande quantidade de vegetação que cobria o próprio talude.

Para uma melhor interpretação dos resultados, e de forma concluir o estudo com mais certezas, seria necessário a utilização de ferramenta adaptadas para estes tipos de casos, como por exemplo o uso de drones, que possibilitavam a visão completa do talude e a identificação das características necessárias na classificação proposta.

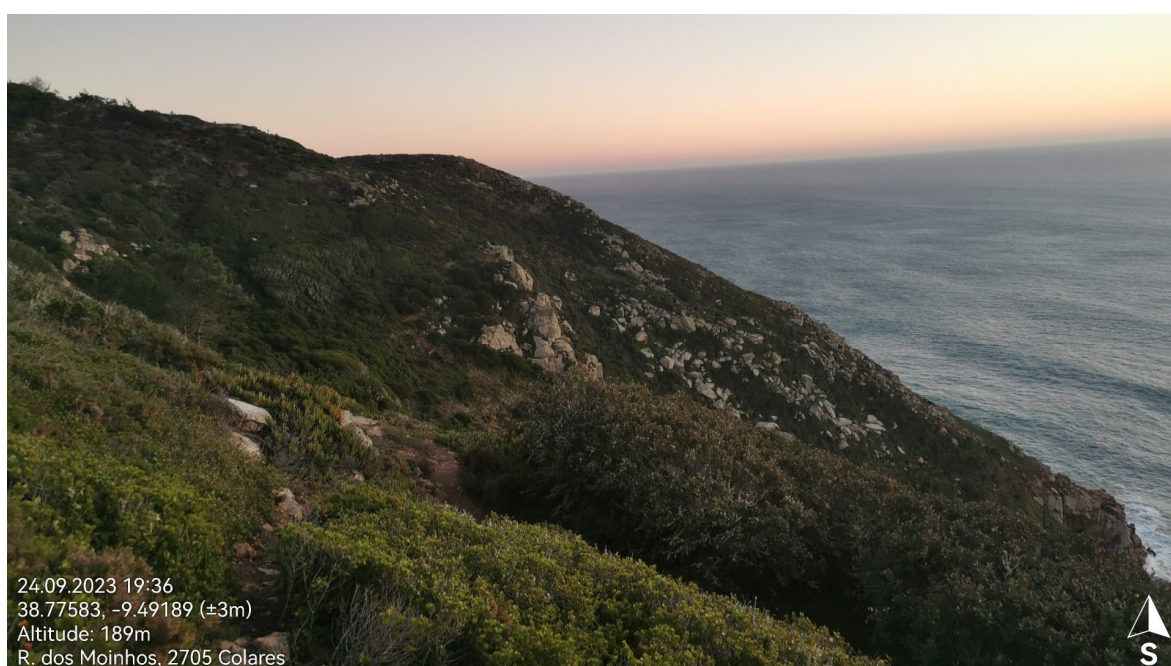


Figura 40 - Talude analisado.

Do que foi possível observar viu-se uma grande camada de substrato totalmente coberta por vegetação, denotando a fraca qualidade do material, sendo ainda composta por grandes blocos dispersos sobre a camada. O talude contrário, a norte do observado e que faz continuação da praia, encontra-se muito menos alterado e mais verticalizado o que comprova ainda mais a teoria de uma grande camada de substrato sob o talude analisado. Na Base do talude eram visíveis alguns blocos de pequenas dimensões, em ambos os taludes, junto à extremidade da praia, onde existia uma maior ação do mar, como anteriormente foi observado em Google Earth.



Figura 41 - Talude oposto.

Verificou-se, à distância, que o talude apresentava uma direção aproximada de N200 e inclinação de 60 e as fotografias foram tirada a uma altitude de cerca de 150 metros.

Nota: A altitude imagens foi acertada em função da altitude conhecida do Cabo da Roca de 140 metros.



Figura 42 - Alteração parte final do talude.

Capítulo V

Resultados

(página propositadamente em branco)

5. Resultados

Neste capítulo serão apresentadas as matrizes completas sintetizadas numa Tabela dos taludes de cada local. São Pedro de Moel apresenta 6 colunas, 1 para cada Talude, Paimogo também 6 e Assentiz apenas 1 coluna.

Como esta Tabela apresentam-se todos os cálculos realizados e com as ponderações convencionadas pelo método é possível ter uma ideia geral do risco dos locais. Nela são apresentados os valores calculados e determinados para a Tabela A e quais as especificações consideradas para a Tabela B. Para a Tabela C também foram extrapolados os resultados de alguns dos tópicos por análise no local. No entanto, como não foi possível a observação de todos no local, para esses fatores, conforme previsto no procedimento, foi assumido o valor de 1. Estes tópicos estão relacionados com as características das descontinuidades. São eles a organização das respetivas diáclases/falhas, condições estruturais das descontinuidades, a presença de água nas descontinuidades e o espaçamento, rugosidade e continuidades das diáclases. Nos referentes 3 casos observados, não foram possíveis de identificar, por conta da alteração da face do talude nos primeiros dois locais (São Pedro de Moel e Paimogo), da vegetação que se encontra sobre a face e a falta de acessibilidade à praia (Assentiz).

Relativamente ao tópico da natureza do preenchimento também costuma estar ligado às características das descontinuidades, ou seja, à natureza do preenchimento do material entre as descontinuidades. No entanto, dado que não foram possíveis de identificar, este tópico foi relacionado com a natureza do material entre os planos de estratificação /xistosidade, uma vez que esta característica também influencia a estabilidade, sendo por isso diferenciado nos casos de São Pedro de Moel e Paimogo.

Cada um dos tópicos encontra-se colorido correspondente a cor do risco considerado de forma a obter uma interpretação visual do mesmo. Encontram-se apresentadas as ponderações de cada Tabela para cada talude e ainda o fator de risco de cada talude que nada mais é que a ponderação das 3 Tabelas. Com esse valor foi possível relacionar com a extensão dos taludes e calcular um valor de risco do local generalizado (ponderação dos vários Taludes em que foi subdividido).

Como referido anteriormente, os valores variam de 1 a 3, sendo que, com a ponderação admite-se a ocorrência de números decimais. Nas Tabelas apresentadas, excetos os fatores de risco, todas células coloridas que se encontram a verde correspondem a valor 1, a amarela o valor 2 e a vermelho o valor 3.

Nos subtópicos seguintes, encontra-se apresentado as respetivas matrizes completas e os valores determinados de risco assim como as justificações das escolhas dos valores em cada matriz.

Todos os valores adotados na Tabela A correspondem aos cálculos realizados apresentados no Capítulo 4. Sendo que todos estes os valores de fator de risco da Tabela A estão inseridos na escala amarela de risco mediano para os casos de São Pedro de Moel e Paimogo, exceto o Talude 6, então a análise avança para todos eles. No caso do Talude 6 de Paimogo e de Assentiz o risco é elevado, avançando também. O mesmo aconteceu para a Tabela B estando todos os valores inseridos no risco mediano para os 3 casos, concluindo-se assim que é necessária uma análise no local para todos os casos e todos os Taludes analisados.

5.1. São Pedro de Moel

Observando os dados da Tabela, conclui-se que o maior valor de fator de risco da Tabela A é 1,7, este valor deve-se aos 3 tópicos que se encontram no risco mediano (amarelo), sendo o único caso que isto acontece. O Talude 6 é o único que apresenta blocos na base, e alturas mais preocupantes que os restantes. O segundo valor mais alto é 1,6 e resulta de alturas medianas, uma vez que este é o tópico que distingue dos restantes. O maior recuo foi de 1,85m não sendo por isso um recuo muito elevado.

Para a Tabela B os primeiros 5 tópicos mantêm-se constantes, dado que são características gerais do local, sendo por isso inseridas para todos os Taludes. São Pedro de Moel é uma região relativamente aplanada o que resulta numa topografia pouco rigorosa, formando, por consequência um terraplano pouco inclinado.

Relativamente ao histórico de ocorrências, foi constatado que existem notícias de 2011 e 2013 referentes a instabilidades das arribas em São Pedro de Moel concluindo-se que a instabilidade daqueles locais é uma preocupação já antiga. No entanto não é muito frequentemente noticiado a queda de blocos.

Relativamente à morfologia do talude apenas um deles tem morfologia reta enquanto os restantes têm desenvolvimento côncavo e convexo. O facto de um Talude ter morfologia côncava pode proporcionar a instabilidade da parte superior do talude e, portanto, a queda de blocos, em caso de recuo do sopé, sendo por isso considerado o mais instável.

A vegetação neste caso é um pouco escassa, apenas existindo alguma rasteira nos Taludes mais a sul.

Tirando estas conclusões foi possível admitir que o Talude que proporciona maior instalado referente a Tabela B é o Talude 2 com um valor de 2,1.

Na Tabela C destaca-se que os últimos Taludes apresentam uma pior qualidade em relação aos primeiros e que a direção global da estratificação é bastante desfavorável. Como já referido, existe

bastante preenchimento argiloso assumindo-se um valor de 2 para todos os Taludes. Em geral os blocos encontrados não são muito grandes o que corresponde um fator a favor. No entanto apresenta uma queda, em princípio, ocasional por conta da grande quantidade de pequenos blocos encontrados pelos Taludes.

Apesar de na Tabela C não ser possível tirar conclusões sobre as discontinuidades, os fatores de risco para a Tabela C encontram-se no valor amarelo, no entanto são menores do que expectável por conta dessa mesma falta de informação. Como era previsível, por conta da alteração, os valores maiores para esta Tabela são de 1,65 para os últimos 3 casos. Em global, obteve-se um valor de 1,61 (amarelo) para um total de cerca de 280 metros de extensão de Taludes instáveis, encontrando-se coerente com os estudos preliminares.

Tabela 14 - Resultados da Tabela A e B para São Pedro de Moel.

Classificação dos taludes	Talude 1	Talude 2	Talude 3	Talude 4	Talude 5	Talude 6
Tabela A - Análise preliminar em satélite						
Altura do talude (m)	6	12	5	13	9	10
Inclinação (°C)	19	32	19	28	20	41
Recuo observado a 10 anos	1,85	0,82	0,79	1,01	1,27	1,27
Quantidade de blocos na base	Não visível	Não visível	Não visível	Não visível	Não visível	33%
Ponderação - Fator de Risco Tabela A	1,3	1,6	1,3	1,6	1,3	1,7
Tabela B - Análise secundária em gabinete						
Relevo	Terrapleno plano ou pouco inclinado	Terrapleno plano ou pouco inclinado	Terrapleno plano ou pouco inclinado	Terrapleno plano ou pouco inclinado	Terrapleno plano ou pouco inclinado	Terrapleno plano ou pouco inclinado
Topografia geral	Plano ou pouco inclinado	Plano ou pouco inclinado	Plano ou pouco inclinado	Plano ou pouco inclinado	Plano ou pouco inclinado	Plano ou pouco inclinado
Historial de ocorrências de queda	Com historial de queda esporádica	Com historial de queda esporádica	Com historial de queda esporádica	Com historial de queda esporádica	Com historial de queda esporádica	Com historial de queda esporádica
Geologia do local	Rocha friável	Rocha friável	Rocha friável	Rocha friável	Rocha friável	Rocha friável
Condições geomorfológicas	Efeito condicionante	Efeito condicionante	Efeito condicionante	Efeito condicionante	Efeito condicionante	Efeito condicionante
Morfologia em perfil	Convexo	Concavo	Retilínea	Concavo	Convexo	Convexo
Cobertura do talude	Pouca ou Sem veg./Ocupação antrópica	Pouca ou Sem veg./Ocupação antrópica	Pouca ou Sem veg./Ocupação antrópica	Vegetação rasteira	Vegetação rasteira	Vegetação rasteira
Ponderação - Fator de Risco Tabela B	2	2,1	1,9	2	1,9	1,9

Tabela 15 - Resultados da Tabela C para São Pedro de Moel.

Classificação dos taludes	Talude 1	Talude 2	Talude 3	Talude 4	Talude 5	Talude 6
Tabela C - Ficha técnica						
Frequência de queda de pequenos blocos	Ocasional	Ocasional	Ocasional	Ocasional	Ocasional	Ocasional
Fluência de água no talude	Alguma água	Alguma água	Alguma água	Alguma água	Alguma água	Alguma água
Geologia	Rocha alterada ou friável	Rocha alterada ou friável	Rocha alterada ou friável	Rocha muito alterado ou solo	Rocha muito alterado ou solo	Rocha muito alterado ou solo
Diáclase/ Falha	Diáclase sem família	Diáclase sem família	Diáclase sem família	Diáclase sem família	Diáclase sem família	Diáclase sem família
Xistosidade/ Estratificação	Xistosidade/e estratificação a favor da inclinação	Xistosidade/e estratificação a favor da inclinação	Xistosidade/e estratificação a favor da inclinação	Xistosidade/e estratificação a favor da inclinação	Xistosidade/e estratificação a favor da inclinação	Xistosidade/e estratificação a favor da inclinação
Condições estruturais	Descontinuidades com orientação favorável	Descontinuidades com orientação favorável	Descontinuidades com orientação favorável	Descontinuidades com orientação favorável	Descontinuidades com orientação favorável	Descontinuidades com orientação favorável
Grau de alteração	W2/3	W2/3	W2/3	W4/5	W4/5	W4/5
Espaçamento	F5	F5	F5	F5	F5	F5
Presença de água nas descontinuidades	Completamente seco	Completamente seco	Completamente seco	Completamente seco	Completamente seco	Completamente seco
Natureza do preenchimento	Preenchimento mole (argiloso)	Preenchimento mole (argiloso)	Preenchimento mole (argiloso)	Preenchimento mole (argiloso)	Preenchimento mole (argiloso)	Preenchimento mole (argiloso)
Rugosidade	Rugoso, irregular	Rugoso, irregular	Rugoso, irregular	Rugoso, irregular	Rugoso, irregular	Rugoso, irregular
Continuidade	Muito pouca a pouco contínuas (<3m)	Muito pouca a pouco contínuas (<3m)	Muito pouca a pouco contínuas (<3m)	Muito pouca a pouco contínuas (<3m)	Muito pouca a pouco contínuas (<3m)	Muito pouca a pouco contínuas (<3m)
Volume do bloco unitário	<0,3m ³	0,3 – 1m ³	<0,3m ³	<0,3m ³	<0,3m ³	<0,3m ³
Ponderação - Fator de Risco Tabela C	1,45	1,45	1,53	1,65	1,65	1,65

Ponderação Final - Fator de Risco							
Talude	Extensão(m)	70,26	71,82	49,58	23,57	37,66	27,29
	Fator de Risco	1,54	1,67	1,54	1,72	1,59	1,73
Local de estudo		1,61					

5.2. Paimogo

Para esta zona, é logo observado que estamos perante elevadas alturas de taludes, de inclinações de maneira geral, moderadas, recuos variáveis entre o mediano e o elevado e com presença de alguns blocos. Os recuos observados são um fator que chama a atenção, uma vez que se estima que o maior recuo tem mais de 3 metros em 10 anos.

Estes taludes têm altura bem distinta do caso anterior, estando todos os taludes enquadrados no limite vermelho, à exceção do Talude 5 que corresponde à parte final da extensão analisada. Este proporciona um fator de risco para a Tabela A mais elevado para este local comparativamente com o caso anterior.

Apesar das elevadas alturas de talude, esta zona é relativamente aplanada e com terraplenos também pouco inclinados. No entanto, este local corresponde a um grande ponto de alerta em relação às derrocadas, principalmente por conta do Forte que se encontra em risco. Foram encontradas notícias dos anos 2011 e 2018 que evidenciam a sua instabilidade e necessidade de intervenção.

Por nesse local se observar geologia de natureza sedimentar, mais facilmente deteriorável do que outra rocha mais compacta e resistente, foi considerado que era caracterizado por uma geologia de rochas friáveis. Grande parte dos taludes não tem qualquer tipo de vegetação à exceção do último grande Talude que apresenta vegetação rasteira em toda a sua extensão.

A geomorfologia também poderá condicionar este local uma vez que se encontra perto de falhas importantes.

Neste local a inclinação da estratificação é menos preocupante, admitido um valor de 2. A frequência de queda foi dividida entre o ocasional e o frequente, assim como grau alteração e a geologia encontrando-se valores de 2 e 3 de igual forma. Em maior parte dos taludes encontram-se blocos grande de mais de 1m³. Devido a estes factos não é de admirar que este local apresente um fator de risco maior para a Tabela C na qual o valor mínimo é de 1,46 no Talude 3. Globalmente, obtém-se fatores de risco superiores a 2 em 4 dos 6 taludes e um fator de risco global de 1,98 para os 905 metros de extensão analisados, superior como expectável, ao caso de São Pedro de Moel.

Tabela 16 - Resultados da Tabela A e B para Paimogo.

Classificação dos taludes	Talude 1	Talude 2	Talude 3	Talude 4	Talude 5	Talude 6
Tabela A - Análise preliminar em satélite						
Altura do talude (m)	38	35	36	22	15	38
Inclinação (°C)	38	36	40	38	31	36
Recuo observado a 10 anos (m)	1,24	2,65	1,66	0,87	3,09	2,70
Quantidade de blocos na base	32%	N visível	7%	19%	27%	14%
Ponderação - Fator de Risco Tabela A	2,3	2,45	2,15	2,3	2,05	2,6
Tabela B - Análise secundária em gabinete						
Relevo	Terrapleno plano ou pouco inclinado	Terrapleno plano ou pouco inclinado	Terrapleno plano ou pouco inclinado	Terrapleno plano ou pouco inclinado	Terrapleno plano ou pouco inclinado	Terrapleno plano ou pouco inclinado
Topografia geral	Plano ou pouco inclinado	Plano ou pouco inclinado	Plano ou pouco inclinado	Plano ou pouco inclinado	Plano ou pouco inclinado	Plano ou pouco inclinado
Historial de ocorrências de queda	Com historial de queda esporádica	Com historial de queda esporádica	Com historial de queda esporádica	Com historial de queda esporádica	Com historial de queda esporádica	Com historial de queda esporádica
Geologia do local	Rocha friável	Rocha friável	Rocha friável	Rocha friável	Rocha friável	Rocha friável
Condições geomorfológicas	Efeito condicionante	Efeito condicionante	Efeito condicionante	Efeito condicionante	Efeito condicionante	Efeito condicionante
Morfologia em perfil	Concavo	Retilínea	Concavo	Concavo	Convexo	Concavo
Cobertura do talude	Vegetação rasteira	Pouca ou Sem veg./Ocupação antrópica	Pouca ou Sem veg./Ocupação antrópica	Pouca ou Sem veg./Ocupação antrópica	Pouca ou Sem veg./Ocupação antrópica	Com vegetação
Ponderação - Fator de Risco Tabela B	2	1,9	2,1	2,1	2	1,9

Tabela 17 - Resultados da Tabela C para Paimogo.

Classificação dos taludes	Talude 1	Talude 2	Talude 3	Talude 4	Talude 5	Talude 6
Tabela C - Ficha técnica						
Frequência de queda de pequenos blocos	Frequente	Frequente	Ocasional	Frequente	Frequente	Ocasional
Fluência de água no talude	Sem água	Alguma água	Sem água	Sem água	Sem água	Sem água
Geologia	Rocha muito alterado ou solo	Rocha muito alterado ou solo	Rocha alterada ou friável	Rocha muito alterado ou solo	Rocha alterada ou friável	Rocha alterada ou friável
Diáclase/ Falha	Diáclase sem família	Diáclase sem família	Diáclase sem família	Diáclase sem família	Diáclase sem família	Diáclase sem família
Xistosidade/ Estratificação	Xistosidade/e estratificação inclinado	Xistosidade/e estratificação inclinado	Xistosidade/e estratificação inclinado	Xistosidade/e estratificação inclinado	Xistosidade/e estratificação inclinado	Xistosidade/e estratificação inclinado
Condições estruturais	Descontinuidades com orientação favorável	Descontinuidades com orientação favorável	Descontinuidades com orientação favorável	Descontinuidades com orientação favorável	Descontinuidades com orientação favorável	Descontinuidades com orientação favorável
Grau de alteração	W4/5	W4/5	W2/3	W4/5	W4/5	W2/3
Espaçamento	F5	F5	F5	F5	F5	F5
Presença de água nas descontinuidades	Completamente seco	Completamente seco	Completamente seco	Completamente seco	Completamente seco	Completamente seco
Natureza do preenchimento	Preenchimento mole (argiloso)	Preenchimento mole (argiloso)	Preenchimento mole (argiloso)	Preenchimento mole (argiloso)	Preenchimento mole (argiloso)	Preenchimento mole (argiloso)
Rugosidade	Rugoso, irregular	Rugoso, irregular	Rugoso, irregular	Rugoso, irregular	Rugoso, irregular	Rugoso, irregular
Continuidade	Muito pouca a pouco contínuas (<3m)	Muito pouca a pouco contínuas (<3m)	Muito pouca a pouco contínuas (<3m)	Muito pouca a pouco contínuas (<3m)	Muito pouca a pouco contínuas (<3m)	Muito pouca a pouco contínuas (<3m)
Volume do bloco unitário	>1m ³	0,3 – 1m ³	0,3 – 1m ³	>1m ³	>1m ³	>1m ³
Ponderação - Fator de Risco Tabela C	1,79	1,78	1,46	1,79	1,59	1,54

Classificação dos taludes		Talude 1	Talude 2	Talude 3	Talude 4	Talude 5	Talude 6
Ponderação Final - Fator de Risco							
Talude	Extensão(m)	125,61	144,24	163,70	54,63	119,29	297,40
	Fator de Risco	2,02	2,04	1,86	2,05	1,85	2,00
Local de estudo		1,97					

5.3. Assentiz

Como foi analisado apenas um Talude, existe apenas uma única interpretação para este local. Juntamente com o Talude 6, da praia do Caniçal, estes correspondem aos taludes com maior risco para a Tabela A. Constata-se que é um local com taludes muito altos e topografias acidentadas, inclinações elevadas, alguns blocos na extremidade da praia e um recuo muito elevado de mais de 4 metros em 10 anos. Estes fatores resultam num fator de risco de 2,6 para a Tabela A e 1,65 para a Tabela B.

Esta praia é um pouco remota e de difícil acesso o que justifica a falta de informação relativa ao historial de quedas. Tem as vantagens de ser constituído por maciço rochoso e ter vegetação promovendo a estabilidade do talude, no entanto o seu terraplano é inclinado por conta da topografia geral e o talude tem uma morfologia côncava menos favorável. A geomorfologia do local providenciou o terreno acidentado e a sua morfologia.

Devido ao difícil acesso, regista-se uma falta de informação para este local no que diz respeito aos dados da Tabela C, o que resultou num valor bastante reduzido para esta Tabela. Além do facto de não ser possível determinar alguns dos tópicos tal justifica-se ainda por os restantes não apresentarem gravidade. Dos respetivos tópicos, o que mais alerta é a frequência de queda, por conta da grande quantidade blocos observados. Apesar disto, o fator de risco desta Tabela foi bastante reduzido (1,38), sendo o único, dos valores determinados, que se enquadrava no risco baixo (verde). Tal não se apresenta coerente com os estudos feitos anteriormente, uma vez que na primeira Tabela o risco era elevado e na segunda era mediano. No entanto, apesar de este valor influenciar bastante o fator de risco global, este encontra-se ainda enquadrado no valor amarelo de risco mediano, sendo por isso necessária vigia constante e possíveis intervenções futuras.

Devido a estas fragilidades na análise deste local, seria recomendável complementá-los futuramente, por exemplo, recorrendo a drones, de modo a tornar mais preciso os resultados obtidos e de forma a perceber o estado e risco real deste talude.

Tabela 18 - Resultados da Tabela A e B para Assentiz.

Classificação dos taludes	Talude 1
Tabela A - Análise preliminar em satélite	
Altura do talude (m)	100
Inclinação (°C)	50
Recuo observado a 10 anos	4,71
Quantidade de blocos na base	19%
Ponderação - Fator de Risco Tabela A	2,6
Tabela B - Análise secundária em gabinete	
Relevo	Terraplano inclinado com vegetação
Topografia geral	Acidentado
Historial de ocorrências de queda	Sem historial ou desconhecido
Geologia do local	Maciço rochoso
Condições geomorfológicas	Efeito condicionante
Morfologia em perfil	Concavo
Cobertura do talude	Com vegetação
Ponderação - Fator de Risco Tabela B	1,65

Tabela 19 - Resultados da Tabela C para Assentiz.

Classificação dos taludes	Talude 1
Tabela C - Ficha técnica	
Frequência de queda de pequenos blocos	Frequente
Fluência de água no talude	Sem água
Geologia	Rocha alterada ou friável
Diáclase/ Falha	Diáclase sem família
Xistosidade/ Estratificação	Sem Xistosidade/estratificação ou perpendicular
Condições estruturais	Descontinuidades com orientação favorável
Grau de alteração	W2/3
Espaçamento	F5
Presença de água nas descontinuidades	Completamente seco
Natureza do preenchimento	Preenchimento rochoso ou duro
Rugosidade	Rugoso, irregular
Continuidade	Muito pouco a pouco contínuas (<3m)
Volume do bloco unitário	0,3 – 1m ³
Ponderação - Fator de Risco Tabela C	1,38

Classificação dos taludes	Talude 1	
Talude	Extensão(m)	380,2423
	Fator de Risco	1,8745
Local de estudo		1,8745

Capítulo VI

Considerações finais

(página propositadamente em branco)

6. Considerações finais

Comparando os taludes dos 3 locais é evidente que os casos que apresentam maior instabilidade, segundo primeira Tabela, é o Talude 6 em Paimogo e o talude único da praia de Assentiz, por conta das elevadas alturas presentes nestes talude e grandes recuos observados.

Em São Pedro de Moel, após efetuar todo o estudo, observa-se que o caso de maior alerta corresponde ao 6 Talude deste local com um fator de risco global de 1,73, enquanto no caso de Paimogo este corresponde ao Talude 4 com 2,05. Em comparação o único talude em Assentiz observado apresentou um fator de risco global de 1,87. Fazendo uma relação com a extensão global obtém-se os valores de 1,61, 1,97 e 1,87 para, respetivamente, São Pedro de Moel, Paimogo e Assentiz. Pode-se então concluir que o local que apresentar pior resultados e por consequente, um maior risco foi Paimogo, e isso deve-se, principalmente, ao facto de encontrarmos taludes de grandes alturas, recuos consideráveis e má qualidade de materiais e grande quantidade de blocos.

Em contrapartida o talude que apresentou um menor risco associado foi o Talude 1 de São Pedro de Moel, tanto no fator global como na primeira Tabela. Relativamente a última Tabela o melhor valor apresentado foi de 1,38 (verde) em Assentiz, por conta da falta de informação, seguido pelo Talude 1 de São Pedro de Moel que também apresenta um valor baixo de 1,45, já se enquadrando no risco mediano. O pior valor encontrado para esta Tabela foi de 1,79 para os Taludes 1 e 4 de Paimogo.

Foi obtido então um valor de fator de risco mediano para todos os casos do estudo, sendo por isso necessária uma vigia constante para este locais e se possível, realizar-se mais estudos aprofundados.

Neste projeto é de notar algumas falhas que prejudicam ou dificultam os dados que devem ser adaptados, de forma a evitar erros de processo e falhas na investigação, em aplicações futuras.

Verifica-se que uma limitação temporal nas imagens de satélite disponíveis, uma vez que as imagens mais distantes correspondem ao ano de 2005, o que corresponde apenas a 18 anos de diferença. Esse fator, faz com que não sejam tão notórias certas diferença nos locais, no entanto esta metodologia é importante para fazer previsões e será mais fácil de aplicar no futuro, com mais imagens disponíveis.

Um dos erros mais evidentes no processo de análise é a distorção das imagens de base, visto que mesmo usando escalas, a imagem não coincide na totalidade. Isto resulta em valores ligeiramente diferentes de recuo, influenciando os cálculos seguintes. Esta situação pode ser melhorada

recorrendo a outras fontes de imagens o que poderá não ser de acesso fácil e livre, mas melhorará certamente os resultados.

Outras dificuldades correspondem à utilização da matriz em certos tópicos, tais como:

- a dificuldade de identificação dos blocos presentes, por falta de qualidade de imagem ou porque estes podem ter sido, entretanto, removidos por agentes externos;
- a identificação da crista em alguns casos pode ser difícil o que conduz a uma falha humana;
- a vegetação pode ser de difícil visualização, por conta da fraca resolução e dificultar a identificação ou a própria sombra induzir em erro; a vegetação pode ainda impossibilitar a visualização da linha de crista;
- a análise utiliza valores médios, resultando numa falta de precisão dos valores podendo conduzir a erros em alguns locais.
- o facto de alguns tópicos serem de interpretação subjetiva, dependente do autor (Tabela B), e a difícil obtenção de informação, como o historial de queda e quantidade de blocos, apesar de atendido no método, poderão condicionar as conclusões da análise;
- dificuldade de obtenção de alguns parâmetros no campo, que neste caso corresponderam aos parâmetros ligados as características das descontinuidades, que poderá influenciar os resultados.

Algumas medidas que podem ser utilizadas de forma a evitar estes erros é a utilização de outros programas que, com mais informação e melhor qualidade de imagem, permitam uma maior especificação em alguns parâmetros da matriz.

Apesar destas limitações sentidas verificou-se que a metodologia proposta conduziu a resultados coerentes nos três casos de estudo evidenciando as condicionantes das instabilidades e do risco dos mesmos assumindo-se como uma ferramenta complementar, e mais expedita, às análises mais convencionais das análises de estabilidade de taludes. Esta análise de estabilidade é iniciada com consulta de imagem aérea que orienta todas as análises subsequentes.

Adicionalmente apresenta a vantagem de ser possível a sua aplicação remota de uma forma simplificada seguindo um procedimento bastante ágil e simples o que facilita todo o processo da análise de estabilidade.

Por este potencial considera-se que e justifica a implementação futuras de melhorias no sentido de minimizar os seus erros já identificados e, eventualmente outros, no sentido de tornar mais robusto todo metodologia proposta.

Bibliografia

Araújo, L. (2019). Estudo da estabilidade de dois taludes na linha do Douro. Universidade de Aveiro.

Bezerra, L. (2019). Mapeamento de risco e análise de estabilidade de movimentos de massa na comunidade são José do Jacó, Natal/RN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Borges, A. (2016). Cartografia de Risco de Taludes no âmbito dos Planos de Emergência e Proteção Civil do Município do Porto. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Cândido, M. (2010). Contributo para a gestão do risco geotécnico na construção de túneis. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Cardoso Takano, E. (2022). Extração Automatizada de Dados Estruturais em Maciços Rochosos a partir de Fotogrametria com Drone. Universidade Federal de Ouro Preto.

Cruz, M. (2017). Estabilidade de taludes mistos em vias-férreas. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra.

Dias, J. (2018). Gestão da segurança dos taludes de escavação da pedreira da Milhária, Valongo. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Epifânio, B. (2013). Instabilidade de arribas e avaliação da perigosidade no litoral da Lourinhã. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território.

Bell, F.G. (2007). Engineering Geology. Butterworth-Heinemann, Second edition. Elsevier.

Falcão, J. (2019). Utilização de imagens de satélite para a otimização produtiva do olival superintensivo (cv. Arbosana). Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Fevereiro, J. (2013). Estudo de unidades sedimentares do Jurássico com valor como património geológico na região de Dagorda-Cesareda-Baleal-Consolação-Paimogo. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Fevereiro, J.P. & Azerêdo, A. C. (2014). Unidades sedimentares do Jurássico com valor como património geológico na região de Dagorda-Cesareda Baleal-Consolação-Paimogo (Vol. 101). <http://www.ineg.pt/iedt/unidades/16/paginas/26/30/185>

Fonseca, M. (2009). Estabelecimento de critérios e parâmetros para a valoração do património geológico português: aplicação prática ao património geológico do parque natural de Sintra-Cascais. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa.

Brown, E. (1981). Rock Characterization, Testing & Monitoring: ISRM Suggested Methods (Pergamon Press).

Lira, C., Amorim, A., Silva, A., & Taborda, R. (2016a). Sistemas de Informação Geográfica: análise de dados de satélite (DGRM). www.sophia-mar.pt.

Lopes, S. (2021). Otimização da geometria de taludes de aterros sanitários implementando técnicas de reforço de solos. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Marques, D. (2013). Estabilidade de Taludes em Escavação e Aterro – Um Estudo de Caso. Universidade de Aveiro.

Oliveira, L. (2009). Estudo Morfodinâmico e Sedimentar das Praias do Concelho de Sintra. Faculdade de Ciências da universidade de Lisboa.

Pereira, M. (2012). Aplicação da Metodologia de Registo de Riscos a um Empreendimento em Construção Engenharia Civil. Instituto superior técnico de Lisboa.

Pierson, Davis, & Vickle. (1990). Rockfall hazard rating system: implementation manual. Oregon State Highway Division.

Reis, R., & Pimentel, N. (2006). Curso de Campo na Bacia Lusitânica (Portugal).

Rodrigues, E. (2013). Análise da estabilidade de dois taludes rochosos graníticos. Universidade de Aveiro.

Santos, J. (2020). Estudo sobre soluções de contenções para taludes instáveis. Universidade Federal da Paraíba.

Soares, R. (2013). Análise de risco de instabilidade de arribas em São Pedro de Moel. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Tominaga, L., Santoro, J., & Amaral, R. (2009). Desastres Naturais: Conhecer para prevenir: Vol. 1a edição (Sandra Moni de Souza, Ed.).

Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo Carlos. (2002). Ingeniería Geológica. Pearson Educación, Madrid.

Webgrafia

Agência Espacial Europeia. (s.d.). Guia de missão Sentinel-2. Obtido em 22 de setembro de 2023, de Sentinel-2 on-line: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2>

Agência Espacial Europeia. (s.d.). Sentinel-3. Obtido em 22 de setembro de 2023, de Sentinel-3 On-Line: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3>

Agência Espacial Europeia. (s.d.). Sentinel-4. Obtido em 22 de setembro de 2023, de <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-4>

Agência Espacial Europeia. (s.d.). Sentinel-5. Obtido em 22 de setembro de 2023, de Sentinel-5 On-Line: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5>

Agência Espacial Europeia. (s.d.). Sentinel-5P. Obtido em 22 de setembro de 2023, de Sentinel-5P On-Line: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p>

Agência Espacial Europeia. (s.d.). Visão geral do Sentinel-1. Obtido em 22 de setembro de 2023, de Sentinel-1 on-line: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/overview>

Chris Neigh. (s.d.). Landsat 8. Obtido em 22 de setembro de 2023, de Landsat Science: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>

Chris Neigh. (s.d.). Landsat 9. Obtido em 22 de setembro de 2023, de Ciência Landsat: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/>

(página propositadamente em branco)

Anexos

(Ver Cd-Rom)

Anexo 1 – Imagens de satélite

Anexos 2 – Matrizes

Anexos 3 – Imagens de campo

(página propositadamente em branco)