



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Faculdade de Engenharia

CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE SOLOS DE ALTA MONTANHA

Filipe Manuel Leal Ferreira

(versão final após defesa)

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

(Ciclo de Estudos Integrado)

Orientador: Prof. Doutor Pedro Gabriel de Faria Lapa Barbosa de Almeida

Coorientador: Prof. Doutor Luis José Andrade Pais

Covilhã, Outubro de 2015

Dedicatória

A Manuel Carneiro Ferreira,
para que o mundo que deixaste continue a evoluir.

Ao Abílio, Amélia e Simão,
sem vocês nada tinha sido possível.

Agradecimentos

Este percurso académico que iniciei em 2008 e termina com a conclusão desta dissertação de mestrado nunca poderia ter acontecido sem o apoio incondicional da minha Família.

Agradeço a Abilio Ferreira, meu pai, Amélia Leal, minha mãe, Simão Ferreira, meu irmão, por todo o amor, carinho e apoio ao longo desta minha etapa académica que hoje termina. Sem a vossa ajuda nada tinha sido possível, o meu mais sincero obrigado por isso.

À minha namorada, Wioleta Ostrowska, pela paciência, preocupação e apoio em especial nesta reta final, teria sido tudo muito mais difícil sem ti.

A toda a restante família que sempre que foi precisa a sua ajuda esteve presente sempre com um apoio incondicional.

Um especial sentido agradecimento para toda a cidade da Covilhã que ao longo destes anos me recebeu com enorme simpatia e onde me deu amigos e boas memórias. Um especial agradecimento ao Nuno Rodrigues pela paciência em me explicar o ensaio do corte direto e as dicas do ângulo de atrito interno.

À UBI - Universidade da Beira Interior por ter dado o conhecimento que necessitava para ser um bom profissional, agradeço a todos os meus professores e funcionários do polo de engenharias.

Em especial agradeço ao Professor Doutor Pedro Almeida por me ter orientado na escrita desta dissertação de mestrado.

Devo um agradecimento também ao Professor Doutor Luís Pais e à Professora Doutora Isabel Falorca pela partilha de conhecimento e o apoio constantes nos ensaios de laboratório.

Resumo

A geotecnia é uma disciplina fundamental para o estudo e realização de projetos de engenharia civil, pois o estudo prévio do tipo de solo onde a obra irá ser implantada vai influenciar o cálculo das fundações. Sem esse estudo toda a estrutura pode estar em risco de sofrer deformações e anomalias com o decorrer dos anos.

Esta dissertação de mestrado visa isso mesmo, foi realizado um estudo de parâmetros geotécnicos de solos de alta montanha da serra da Estrela. Mais especificamente de locais em vertentes e taludes de franca instabilidade. Sendo que a componente turística da serra atrai, cada vez mais pessoas até ao topo da montanha e com elas a necessidade de construção de melhores vias de comunicação, estacionamento, hotéis e lojas de comércio.

Foram identificados três áreas de estudo, nomeadamente o vale da ribeira da Alforfa, o vale do Zêzere e a cidade de Manteigas. Onde foram retiradas nove amostras e sujeitas a ensaios de densidade de partículas, análises granulométricas, ensaios de azul-de-metileno e ensaios de corte direto simples.

Os resultados obtidos mostram que o solo tem um comportamento não plástico, NP, que através das análises granulométricas são solos preferencialmente SP-SM e SW-SM pela classificação Unificada e A-2 e A-1-a pela ASTM. Os ensaios de azul-de-metileno vieram confirmar as classificações anteriores classificando o solo entre o limiar do arenoso-siltoso e o arenoso-argiloso com argilas poucas ativas. Por sua vez, os ensaios de corte direto simples foram obtidos mais frequentemente valores de 36° a 40° para o ângulo de atrito interno.

Todos os resultados obtidos foram interpretados e analisados no âmbito do objetivo final de engenharia civil que é uma otimização do uso do solo e a construção de infraestruturas seguras e duradouras.

Palavras-chave

Geotecnia Solos de Alta Montanha Serra da Estrela Vertentes e Taludes

Abstract

Geotechnics is an elementary subject for the realization of civil engineering projects, because of the background knowledge on what type of soil the building will be deployed and the importance good calculation of foundations. Without this background knowledge all structure is in danger of suffer deformations and anomalies in futures years.

This master's dissertation is about that idea, where a study of geotechnical parameters of high mountains soils of Estrela mountain is performed. To be more specific in areas of slopes and embankments of expressed instability. The touristic side of the site appeals, each time more people travel to the top of mountains and with the need for building better roads, parking areas, hotels and shopping areas.

Three study areas were identified, namely Alforfa valley, Zêzere valley and Manteigas city. Nine samples of soil were collected and studies in laboratory were performed including particle tests, size analysis, Methylene blue test and simple shear test.

The results obtained show that the soil have a not plastic behavior, NP, and by the size analysis the soil has the classification of SP-SW and SW-SM by the Unification table and A-2 and A-1-a by ASTM classification. The Methylene blue test confirm the previous classifications putting the soil between sand-silt and sandy-clay and clays with low activity. The simple straight cut tests give, preferentially, angles between 36° and 40° for internal friction angle.

All the results was interpreted and analyzed by the ultimate goal of civil engineering that is a optimization of ground use and construction of structures safe for the maximum time possible.

Keywords

Geotechnics High Mountain Soils Estrela Mountains Slopes and Embankments

Índice

DEDICATÓRIA	III
AGRADECIMENTOS.....	V
RESUMO.....	VII
PALAVRAS-CHAVE	VII
ABSTRACT.....	IX
KEYWORDS.....	IX
ÍNDICE	XI
CAPÍTULO 1	1
1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PROBLEMÁTICA	1
1.2 OBJETIVO	3
1.3 METODOLOGIA E ESTRUTURA DO TRABALHO	3
CAPITULO 2	5
2 – ESTADO DA ARTE	5
2.1 - ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO.....	5
2.2 - ENQUADRAMENTO DEMOGRÁFICO	7
2.3 - ENQUADRAMENTO HISTÓRICO.....	10
2.4 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.5 – ESTUDOS SOBRE A GLACIAÇÃO DA SERRA DA ESTRELA	13
2.5.1 – DIMENSÃO DO GLACIAR.....	13
2.5.2 – PERFIS LONGITUDINAIS E TRANSVERSAIS (CASOS DE ESTUDO)	16
2.6 – EROÇÃO GLACIÁRIA.....	18
2.7 – MORFOLOGIA GLACIAR.....	20
2.7.1 – DEPÓSITOS GLACIARES	27
2.8 – DINÂMICA ATUAL	37
2.8.1 – DESCRIÇÃO DO CLIMA ATUAL DA ESTRELA.....	38
2.8.2 – DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA ATUAL	39
2.9 – GEOLOGIA E GEOTECNIA DA SERRA DA ESTRELA.....	41
2.9.1 – GEOLOGIA.....	41

2.9.2 – GEOTECNIA	45
2.9.3 – MOVIMENTOS DE MASSA CARACTERÍSTICOS DA SERRA DA ESTRELA	47
2.10 – ESTABILIDADE DAS VERTENTES/TALUDES.....	51
2.10.1 – RESISTÊNCIA AO CORTE.....	52
2.11 – SUSCETIBILIDADE E RISCO	53
CAPITULO 3	59
3 – TRABALHO DE CAMPO	59
3.1 – AMOSTRAGENS E O SEU ENQUADRAMENTO.....	60
3.2 - AMOSTRAGENS	61
3.2.1 – ÁREA DE AMOSTRAGEM 1	61
3.2.2 – ÁREA DE AMOSTRAGEM 2	61
3.2.3 – ÁREA DE AMOSTRAGEM 3	62
3.2.4 – AMOSTRA 1 (AM1), AMOSTRA 2 (AM2) E AMOSTRA 3 (AM3)	63
3.2.5 - AMOSTRA 4 (AM4)	65
3.2.6 - AMOSTRA 5 (AM5) E AMOSTRA 6 (AM6)	66
3.2.7 – AMOSTRA 7 (AM7).....	67
3.2.8 – AMOSTRA 8 (AM8).....	68
3.2.9 – AMOSTRA 9 (AM9).....	69
CAPITULO 4	71
4 – TRABALHO DE LABORATÓRIO	71
4.1 – NP143-1969: LIMITE DE ATTERBERG.....	71
4.2 – E195–1966: PREPARAÇÃO POR VIA SECA DAS AMOSTRAS	71
4.3 – E196–1966: ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	72
.....	74
4.4 – NP–83–1965: DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DAS PARTÍCULAS.....	74
4.5 – NP–84–1965: DETERMINAÇÃO DO TEOR EM ÁGUA.....	75
4.6 – EN 933-9: ENSAIO DE AZUL-DE-METILENO	76
4.7 – CEN/TC 341 – 2004: ENSAIO DE CORTE DIRETO SIMPLES	77
CAPITULO 5	79
5 - RESULTADOS	79
5.1 – RESULTADOS DOS ENSAIOS GRANULOMÉTRICOS E A SUA CLASSIFICAÇÃO	79
5.2 – RESULTADOS DO ENSAIO DE AZUL-DE-METILENO.....	82
5.3 – DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DAS PARTÍCULAS.....	84
5.4 – ENSAIO DE CORTE DIRETO.....	84
5.5 – TABELA SÍNTESE	88

CAPITULO 6	89
6 - DISCUSSÃO/CONCLUSÃO.....	89
BIBLIOGRAFIA.....	93
ANEXOS.....	97
ANEXO I – CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS	98

Lista de Figuras

FIGURA 1 – ESTRELAS - MOVIMENTOS DE MASSA P.N.S.R.....	2
FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DA SERRA DA ESTRELA, RETÂNGULO A NEGRO, ENQUADRADA EM PORTUGAL E ESPANHA E OS RELEVOS DA CORDILHEIRA CENTRAL IBÉRICA.....	5
FIGURA 3 - LIMITES DO PARQUE NATURAL DA SERRA DA ESTRELA E OS CONCELHOS NELA INSERIDA.	6
FIGURA 4 - EVOLUÇÃO DA POPULAÇÃO NO PERÍODO DE 1960 A 2011. (INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA, 2015)	9
FIGURA 5 - FOTOGRAFIA TIRADA EM 1922 A UMA VISITA À SERRA DA ESTRELA (IN REVISTA VISÃO).....	10
FIGURA 6 - MNT, CURVAS DE NÍVEL DA SUPERFÍCIE GLACIÁRIA MODELADA (EQUIDISTÂNCIA 10M) (VIEIRA, 2004).	15
FIGURA 7 - RECONSTITUIÇÃO TRIDIMENSIONAL EM PERSPETIVA DO GLACIAR DA SERRA DA ESTRELA NA UMGSE, VISTA DE SUL PARA NORTE (VIEIRA, 2004).....	16
FIGURA 8 - PERFIL TRANSVERSAL VALE DA RIBEIRA DE ALFORFA (VIEIRA, 2004).	16
FIGURA 9 - PERFIL LONGITUDINAL VALE DA RIBEIRA DE ALFORFA, ESPESSURA DE GELO E OS TRIÂNGULOS A NEGRO REPRESENTAM AS PRINCIPAIS MOREIAS LATERAIS (VIEIRA, 2004).	17
FIGURA 10 - PERFIL TRANSVERSAL VALE DO ZÊZERE (VIEIRA, 2004).	17
FIGURA 11 - PERFIL LONGITUDINAL DO VALE DO ZÊZERE, ESPESSURA DE GELO E OS TRIÂNGULOS A NEGRO REPRESENTAM AS PRINCIPAIS MOREIAS LATERAIS (VIEIRA, 2004).	18
FIGURA 12 - ESQUEMA DAS FORÇAS ENVOLVIDAS ENTRE A PARTÍCULA E O GLACIAR (VIEIRA, 2004).....	19
FIGURA 13 - EXEMPLOS DE ELEMENTOS TIPO <i>TOR</i> NA SERRA DA ESTRELA. A - PENHAS DA SAUDE; B - POIOS BRANCOS; (VIEIRA, 2004).....	21
FIGURA 14 – TRIÂNGULOS NEGROS - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS ELEMENTOS TIPO <i>TORS</i> NA SERRA DA ESTRELA (VIEIRA, 2004).....	22
FIGURA 15 - SUPERFÍCIE KNOB-AND-LOCHAM, LAGOA COMPRIDA (VIEIRA, 2004).....	23
FIGURA 16 - 1–CIRCO COVÃO CIMEIRO; 2–CIRCO DO COVÃO DO FERRO; 3–CIRCO DA LAGOA DO CÂNTARO; 4–CIRCO DE COVAIS; 5–CIRCO DA ESTRELA; 6–CIRCO COVÃO DAS VACAS; 7–CIRCO COVÃO DO FORNO; 8–CIRCO CÂNTARO GORDO; 9-CIRCO DE V. MOURISCO; 10-CIRCO LAGOA ESCURA; 11-CIRCO LAGOA REDONDA; (VIEIRA, 2004)	24
FIGURA 17 - ROCHA ABORREGADA, ILUSTRANDO O FLUXO DA DIREITA PARA A ESQUERDA; VALE DA CANDEEIRA; (VIEIRA, 2004).....	25
FIGURA 18 - DORSO DE BALEIA; LAGOA DA CANDEEIRA; (VIEIRA, 2004)	25
FIGURA 19 - A - ESTRIAS SOBRE ROCHA ABORREGADA LAGOA DO PACHÃO; B - CANELURAS LAGOA O PACHÃO; (VIEIRA, 2004).....	26
FIGURA 20 - A - SUPERFÍCIE POLIDA COM PEQUENAS CANELURAS; (VIEIRA, 2004).....	27
FIGURA 21 - EXEMPLO DE BLOCO ERRÁTICO; POIO DO JUDEU SERRA DA ESTRELA;	28
FIGURA 22 - LOCALIZAÇÃO DAS MOREIAS LATERAIS NA SERRA DA ESTRELA (VIEIRA, 2004).	30
FIGURA 23 - MOREIA LATERAL DO POIO DO JUDEU (VIEIRA, 2004).	31

FIGURA 24 - MOREIA LATERO-FRONTAL NO VALE DA ALFORFA (VIEIRA, 2004).....	31
FIGURA 25 - CONJUNTO DE ARCOS MORÉNICOS DE RECESSÃO DO VALE DA CANIÇA (VIEIRA, 2004).....	32
FIGURA 26 - COMPLEXO MORÉNICO MARGINAL DO VALE DO CONDE (VIEIRA, 2004).....	32
FIGURA 27 - COBERTURA MORÉNICA DESCONTINUA NO PLANALTO OCIDENTAL (VIEIRA, 2004).....	33
FIGURA 28 - PRINCIPAIS AFLORAMENTOS TILLS NA SERRA DA ESTRELA. 1 - ESTRADÃO INFERIOR LAGOA SECA; 2-VIDOIRO; 3 - ESPINHAÇO DE CÃO; 4 - NSA; 5 - VERTENTE OCIDENTAL VALE DO ZÊZERE; 6 - MANTEIGAS INATEL; 7 - CERRO REBOLADO; 8/9 - ESTREDA VALE DE ALFORFA; 10 - CENTRO DO POIO; 11 - PENHAS DA SAÚDE; (VIEIRA, 2004).....	34
FIGURA 29 - ASPETO GERAL DO <i>TILL</i> DO ESTRADÃO INFERIOR DA LAGOA SECA (VIEIRA, 2004).....	35
FIGURA 30 - LOCALIZAÇÃO DEPÓSITOS FLUVIOGLACIÁRIOS NA SERRA DA ESTRELA; 1 - VÁRZEA DO CASTRO; 2 - PONTE SANTO ANTÓNIO, MANTEIGAS; 3 - INATEL, MANTEIGAS; 4 - COVAIS; 5 - MINI-HÍDRICA ALTO VALE DO ZÊZERE; 6 - LAGOA SECA; 7 - ÁREA UNHAIS DA SERRA; 8 - VALE DE ALVOCO; 9 - SENHORA DO DESTERRO. (VIEIRA, 2004).....	36
FIGURA 31 - ASPETO DE UM DEPÓSITO FLUVIOGLACIÁRIO, PONTE DE SANTO ANTÓNIO, MANTEIGAS (VIEIRA, 2004).	37
FIGURA 32 - MAPA DO TIPO DE COBERTURA DO SOLO NA SERRA DA ESTRELA (MORA, 2010).	38
FIGURA 33 - GEOLOGIA SIMPLIFICADA DA SERRA DA ESTRELA. 1-DEPÓSITOS GLACIÁRIOS E FLUVIOGLACIÁRIOS; 2 - METASSEDIMENTOS DO COMPLEXO XISTOGRAUVÁQUICO; 3 - GRANITO DE DUAS MICAS, PORFIRÓIDE, DE GRÃO GROSSEIRO (GRANITO DE SEIA); 4 - GRANITO DE DUAS MICAS, PORFIRÓIDE, DE GRÃO MÉDIO (GRANITO DA COVILHÃ); 5 – GRANITO MOSCOVÍTICO DE GRÃO MÉDIO A GROSSEIRO (GRANITO DA ESTRELA); 6 – GRANITO DE DUAS MICAS DE GRÃO FINO (GRANITO DO CABEÇO DA BICA, INCLUÍDO SOB A DESIGNAÇÃO DE GRANITO DA PEDRICE); 7 – GRANITO DE DUAS MICAS DE GRÃO MÉDIO (GRANITO DO CURRAL DO VENTO); 8 – GRANITO ORBICULAR DE DUAS MICAS, DE GRÃO MÉDIO (GRANITO DO CURRAL DO VENTO – ORBICULAR); 9 – GRANITO DE DUAS MICAS, DE GRÃO FINO (GRANITO DA PEDRICE); 10 – GRANÍTICO BIOTÍTICO, DE GRÃO FINO (GRANITO DO COVÃO DO CURRAL); 11 – GRANITO BIOTÍTICO PORFIRÓIDE, DE GRÃO MÉDIO (GRANITO DE MANTEIGAS); 12 – A) ROCHAS FILONEANAS; B) FALHAS; (ALMEIDA, 2005) (VIEIRA, 2004).....	43
FIGURA 34 – A - QUEDA DE BLOCOS EN 338; B - CICATRIZ DE DERROCADADA A NORTE DO VALE DA CANDEEIRA - VALE DE MANTEIGAS (ALMEIDA, 2005).	46
FIGURA 35 - QUEDA DE BLOCOS EN338.....	48
FIGURA 36 - SLUMP; VALE DA RIBEIRA DA ALFORFA;.....	49
FIGURA 37 - AVALANCHE DETRÍTICAS; VALE DA ALFORFA;	50
FIGURA 38 - FLUXO AQUOSO; VALE DO ZÊZERE;.....	50
FIGURA 39 - CARTA DE SUSCETIBILIDADE E RISCO DO VALE DA RIBEIRA DE ALFORFA (PEREIRA, 2010).....	54
FIGURA 40 - MURO DE GABIÕES NA ESTRADA QUE LIGA A NAVE DE S. ANTÓNIO A UNHAIS DA SERRA.....	55
FIGURA 41 - CARTA DE RISCO E SUSCETIBILIDADE DO VALE DO ZÊZERE (PEREIRA, 2010).	56
FIGURA 42 - VEDAÇÃO METÁLICA EN338 NO VALE DO ZÊZERE.....	57
FIGURA 43 - VISTA AÉREA DO MACIÇO CENTRAL DA ESTRELA COM AS ÁREAS DE ESTUDO MARCADAS; ÁREA 1 - VALE DA RIBEIRA DA ALFORFA; ÁREA 2 - VALE DO ZÊZERE; ÁREA 3 - MANTEIGAS; (GOOGLE MAPAS, 2015)	60
FIGURA 44 – A - VALE DA RIBEIRA ALFORFA; 1 - AM1; 2 - AM2; 3 - AM3; 4 - AM4; B - VALE DO ZÊZERE; 5 – AM5; 6 – AM6; 7 – AM7; 8 – AM8; (GOOGLE MAPAS, 2015)	61
FIGURA 45 - CIDADE DE MANTEIGAS; 9 - AM9; (GOOGLE MAPAS, 2015)	62

FIGURA 46 - A – LOCAL DA AMOSTRA 1 (AM1); B – LOCAL DA AMOSTRA 2 (AM2); C – LOCAL DA AMOSTRA 3 (AM3); D - GRANITO DA ESTRELA; E - GRANITO CURRAL DO VENTO; F - GRANITO ROSA; G- CAMADA DE MATÉRIA ORGÂNICA; ..	63
FIGURA 47 - A - ASPETO LAVADO DO CORTE; B - COMPACTAÇÃO DA MATRIZ POR BAIXO DO BLOCO;.....	64
FIGURA 48 - VISTA DA VERTENTE DO LOCAL DA AMOSTRA AM4; B - LOCAL DA AM4; C - GRANITO CURRAL DO VENTO; D - GRANITO DA ESTRELA;.....	65
FIGURA 49 - A- LOCAL DA AM5; B - LOCAL DA AM6; C - PORMENOR DO CORTE DE AM6	66
FIGURA 50 - A - LOCAL DE AM7; B - PORMENOR DA MATRIZ; C - PORMENOR GRANITO;.....	67
FIGURA 51 - A - VISTA DA EN338 DA AM8; B - LOCAL DA AM8; C - TOPO DA VERTENTE AM8;	68
FIGURA 52 - A - LOCAL DE AM9; B - GRANITO DE MANTEIGAS;.....	69
FIGURA 53 - FOTOGRAFIA DAS AMOSTRAS NO PROCESSO DE SECAGEM AO AR.	72
FIGURA 54 - PROCESSO DE FABRICO DA SOLUÇÃO ANTIFLOCULANTE. A - PESAGEM DO CARBONATO DE SÓDIO; B - MISTURA DOS DOIS REAGENTES; C - MISTURA COM A ÁGUA DESTILADA;	73
FIGURA 55 – GRANULOMETRIA; A - CONJUNTO DE PENEIROS; B – AGITADOR MECÂNICO DOS PENEIROS;.....	74
FIGURA 56 – SEDIMENTAÇÃO; A – PROVETA COM A MISTURA; B – LEITURA DO DENSÍMETRO	74
FIGURA 57 – DENSIDADE DAS PARTICULAS; A – PROCESSO DE AQUECER A ÁGUA ATÉ 20°C; B – PESAGEM APÓS O PROCESSO A; C – PICNÓMETRO COM O PROVETE E ÁGUA;.....	75
FIGURA 58 – TEOR EM ÁGUA; A – PESAGEM DA CAPSULA; B – PESAGEM DA CAPSULA COM O PROVETE; C – SECAGEM DO PROVETE NA ESTUFA;	76
FIGURA 59 - ENSAIO DE AZUL-DE-METILENO; A - MISTURA DA SOLUÇÃO DE AZUL-DE-METILENO; B - PROVETE A SER MISTURADO COM 5ML DE AZUL-DE-METILENO; C - TESTE DA MANCHA.....	77
FIGURA 60 - ENSAIO DE CORTE DIRETO; A - MAQUINA DE CORTE DIRETO UTILIZADA; B - CAIXA DE CORTE UTILIZADA, DEPOIS DO ENSAIO REALIZADO; C - PROVETES DEPOIS DE ENSAIADOS;.....	78
FIGURA 61 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE TODAS AS AMOSTRAS RECOLHIDAS.	79
FIGURA 62 - CLASSIFICAÇÃO AASHTO.	81
FIGURA 63 - CLASSIFICAÇÃO UNIFICADA	81
FIGURA 64 - RESULTADOS AZUL-DE-METILENO.....	83
FIGURA 65 - GRÁFICOS FASE DE CONSOLIDAÇÃO; A - TENSÃO 54.05kPA; B - TENSÃO 106.04kPA; C - TENSÃO 210.02kPA;	85
FIGURA 66 - GRÁFICO DA TENSÃO DE CORTE NÃO CORRIGIDA EM RELAÇÃO AO DESLOCAMENTO HORIZONTAL; AMOSTRAGEM 8;	86
FIGURA 67 - GRÁFICO DA TENSÃO DE CORTE COM ÁREA CORRIGIDA EM RELAÇÃO AO DESLOCAMENTO HORIZONTAL; AMOSTRAGEM 8;	86
FIGURA 68 - GRÁFICO QUE RELACIONA O DESLOCAMENTO VERTICAL COM O DESLOCAMENTO HORIZONTAL; AMOSTRAGEM 8;	87
FIGURA 69 - RESULTADOS DO ENSAIO DE CORTE.	87

Lista de Tabelas

TABELA 1 - EVOLUÇÃO DA POPULAÇÃO DOS CONCELHOS DO PNSE, FONTE I.N.E. (FERNANDES, BRIGAS, LOPES, & CASTRO, 2005).....	8
TABELA 2 - EVOLUÇÃO DA POPULAÇÃO 2001-2011. (INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA, 2015).....	9
TABELA 3 - MEDIDAS DE DIMENSÃO DOS GLACIARES PRESENTES NAS BACIAS GLACIÁRIAS DA SERRA DA ESTRELA NA UMGSE (VIEIRA, 2004).	14
TABELA 4 - PARÂMETROS GRANULOMÉTRICOS DAS AMOSTRAS; DX - DIÂMETRO EM MM PARA A PERCENTAGEM X DE MATERIAL PASSADO; PF - PERCENTAGEM EM FINOS;	80
TABELA 5 - CLASSIFICAÇÕES DAS AMOSTRAS.....	80
TABELA 66 - CLASSIFICAÇÃO EN 933-9; MBV - VALOS MB, EXPRESSO EM GRAMAS DE CORANTE POR QUILOGRAMA DA FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA 0/2 MM;	82
TABELA 7 - RESULTADOS AZUL-DE-METILENO; MBV - VALOS MB, EXPRESSO EM GRAMAS DE CORANTE POR QUILOGRAMA DA FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA 0/2 MM;	82
TABELA 8 - CLASSIFICAÇÃO DAS ARGILAS QUANTO À ATIVIDADE (ANTÃO, 2007).	83
TABELA 9 - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DAS PARTÍCULAS; TODOS OS VALORES ESTÃO APRESENTADOS EM G/CM ³ ;	84
TABELA 10 - SÍNTESE DOS RESULTADOS DOS ÂNGULOS DE ATRITO.....	87
TABELA 11 - TABELA SÍNTESE;.....	88
TABELA 12 - CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS SEGUNDO A U.S.C.S. (ASTM, 1989).	98
TABELA 13 - CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS SEGUNDO A HRB (ASTM, 1973).	98
TABELA 14 - CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS SEGUNDO A HRB (ASTM, 1973).	99
TABELA 15 - COMPORTAMENTOS ESPERADOS DOS SOLOS, SUCS (PINTO, 2002).....	99

Lista de Acrónimos

UBI	Universidade da Beira Interior
DECA	Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura
P.N.S.E.	Parque Natural da Serra da Estrela
UMGSE	Último Máximo da Glaciação da Serra da Estrela
INE	Instituto Nacional de Estatística
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
EN338	Estrada Nacional 338
GPS	<i>Global Positioning System</i>
MNT	Modelo Numérico de Terreno
N	Norte
W	Oeste
NE	Noroeste
SW	Sudoeste
AM1	Amostra 1
AM2	Amostra 2
AM3	Amostra 3
AM4	Amostra 4
AM5	Amostra 5
AM6	Amostra 6
AM7	Amostra 7
AM8	Amostra 8
AM9	Amostra 9
MBv	Valor MB, expresso em gramas de corante por quilograma da fração granulométrica 0/2mm
ASCE	<i>American Society of Civil Engineers</i>
ASTM	<i>American Society for Tests and Materials</i>
D ₁₀	Diâmetro (em mm), correspondente à percentagem de 10% de material passado
D ₁₅	Diâmetro (em mm), correspondente à percentagem de 15% de material passado
D ₂₅	Diâmetro (em mm), correspondente à percentagem de 25% de material passado

D ₃₀	Diâmetro (em mm), correspondente à percentagem de 30% de material passado
D ₄₀	Diâmetro (em mm), correspondente à percentagem de 40% de material passado
D ₅₀	Diâmetro (em mm), correspondente à percentagem de 50% de material passado
D ₆₀	Diâmetro (em mm), correspondente à percentagem de 60% de material passado
D ₆₅	Diâmetro (em mm), correspondente à percentagem de 65% de material passado
C	Coesão
C'	Coesão Efetiva
ϕ	Ângulo de Atrito Interno
σ	Tensão Normal
S	Resistência ao Corte
IP	Índice de Plasticidade
FS	Fator de Segurança

Capítulo 1

1 - Introdução

1.1 Contextualização da problemática

Serra da Estrela é a mais alta montanha de Portugal Continental, chegando no seu ponto mais alto, Alto da Torre (Malhão Grosso), uma altitude de 1993 metros em relação ao nível médio do mar. A montanha está integrada na Cordilheira Central Ibérica que se desenvolve de Este para Oeste no centro da Península Ibérica.

Ao longo dos anos, a serra da Estrela foi alvo de diversos estudos científicos e académicos tanto sobre as suas glaciações, em particular a Última Máximo da Glaciação da Serra da Estrela (UMGSE), como na geomorfologia, geologia, a nível da sua hidrologia, fauna e flora.

Em todos os estudos científicos nenhum faz a ligação entre estes solos glaciários, considerando as suas características e propriedades geotécnicas, e a sua “resposta” aos novos agentes erosivos presentes atualmente na Serra. Este conhecimento das características geotécnicas é uma importante contribuição para um bom planeamento regional e urbano.

Assim sendo, o presente trabalho terá como grande objetivo o estudo das propriedades geotécnicas e possíveis riscos e consequências da construção em solos em vertente de alta montanha instáveis devido aos novos agentes erosivos que nela atuam, neste caso de estudo as vertentes do vale de ribeira de Alforfa e vale do Zêzere da serra da Estrela. Uma vez que dos diversos estudos efetuados na região poucos ou nenhuns falam sobre esta parâmetro importante para o desenvolvimento económico e mesmo da segurança das populações que vivem nas encostas da serra.

Como a Serra da Estrela tem um passado glaciário, grande parte das suas vertentes estão em condições de instabilidade devido aos processos erosivos que atualmente estão presentes, muito diferentes do passado glaciário da serra. Nomeadamente podemos referir os agentes plúvio-eólico como principais para a instabilidade em taludes e vertentes de depósitos glaciares, mas também não podemos por de parte os diversos incêndios que acontecem na região, como o grande incêndio de 2005, ou a atividade antrópica em geral menos cuidada, como a construção de vias de comunicação, aterros e escavações nas bases de vertentes, sem

estudos prévios. Em suma, podemos considerar estes dois últimos fatores como um acelerador da instabilidade destes solos.

Esta instabilidade não é nada de novo ou desconhecido, todos os invernos temos relatos de derrocadas e cortes de estrada que representam uma elevada despesa para as autarquias locais e que, infelizmente, já roubaram algumas vidas.

Existem vários relatos de acontecimentos recentes, como em 2004, um deslizamento de terras fechou a estrada que liga Unhais da Serra à Nave de Santo António sendo que a sua recuperação teve um custo de 3.5 milhões de euros (in Jornal Publico). Mais recentemente em 2006, depois de umas chuvadas de inverno a estrada que liga Manteigas à Torre, EN 338, estrada que se situa no vale do Zêzere, zona de depósitos glaciares, sofreu várias derrocadas e esteve cortada por várias semanas (in Jornal Publico) o que representou enormes custo para a população, pois corta a ligação do turismo com o alto da serra.

Como estes vários outros acidentes aconteceram e irão acontecer ao longo dos anos devido à instabilidade das vertentes. Como prova a Figura 1 estes dois acidentes aconteceram dentro dos limites da UMGSE. Provando que as tais aconteceram em solos glaciários instáveis.



Figura 1 - Estrelas - Movimentos de Massa P.N.S.R.

1.2 Objetivo

É imprescindível numa investigação esclarecer o objetivo de estudo, com o fito de alcançar uma maior consistência quanto aos resultados e essencialmente porque permite guiar melhor o trabalho de investigação científica. Atendendo á abrangência do tema, e a questões de operacionalização, cabe referir que:

- a) Em primeira fase, este trabalho tem como objetivo a caracterização geotécnica de solos de alta montanha presentes na Serra da Estrela.
- b) Consequentemente estudar os resultados obtidos e enquadrar no ambiente presente hoje na Serra da Estrela.

1.3 Metodologia e Estrutura do Trabalho

Devido ao carácter multidisciplinar do tema e à sua enorme extensão era impossível trata-lo todo numa única dissertação de mestrado. Atendendo a esse fator procedeu-se a um faseamento do trabalho e a uma diminuição da área de amostragem.

O trabalho estrutura-se em duas partes: a primeira, capítulo 2, expõe a fundamentação teórica, pois nela se patenteiam os conceitos, tentando enquadrar-se teoricamente em análise, por forma a compreender o processo do desenvolvimento dos solos de alta altitude da Serra da Estrela.

A segunda parte do trabalho encontra-se fragmentada em dois dos capítulos supracitados capítulos 3 e 4, onde é apresentado o trabalho de campo e os ensaios realizados no trabalho em laboratório.

A terceira parte do trabalho, capítulo 5 e 6, é dedicada à apresentação de resultados dos ensaios e, por último, no capítulo 6 é a conclusão em relação ao tema.

Capítulo 2 - Estado da Arte

O Estado da Arte consistiu num levantamento de alguns trabalhos e estudos publicados sobre a geologia, geomorfologia, geotecnia e demografia da serra da Estrela em seu grosso modo referente à área do Parque Natural da serra da Estrela.

Neste capítulo da dissertação são notórias duas fases distintas. A primeira é um enquadramento geográfico, demográfico e histórico da área em estudo. Numa segunda fase foi apresentado a bibliografia sobre o passado glacial da Serra da Estrela e as suas marcas morfológicas deixadas pelo mesmo e uma apresentação dos dados geológicos e geotécnicos conhecidos dos solos serranos que foram estudados por diversos autores.

Capítulo 3 - Trabalho de Campo

No terceiro capítulo inicia-se a segunda parte deste trabalho. Neste capítulo em particular é caracterizado e fundamentado a opção dos locais de amostragem.

Como já foi referido, e no capítulo será mais desenvolvido e aprofundado, a escolha dos locais de amostragem foi de extrema importância, pois como o tempo e recursos eram limitados tivemos que diminuir a escala de amostragem e ao mesmo tempo tentar cobrir o máximo de solos que constituem a serra da Estrela.

Também é descrito todos os procedimentos levados a cabo para as recolhas das amostras bem como uma caracterização das vertentes de onde foram recolhidas.

Capítulo 4 - Trabalho de Laboratório

Neste capítulo está apresentado todos os procedimentos laboratoriais que foram realizados.

É apresentada a norma que foi escolhida para cada ensaio e uma descrição detalhada do procedimento adotado.

Capítulo 5 - Resultados

O penúltimo capítulo é onde os resultados dos ensaios laboratoriais são expostos, através ao recurso de tabelas e gráficos de barras.

Capítulo 6 - Discussão/Conclusão

Por último, temos o sexto capítulo onde foi discutido e processado todos os dados obtidos ao longo dos trabalhos realizados. Foi tido como objetivo para este capítulo uma análise cuidada dos dados e uma correta interpretação dos mesmos. Estabelecendo uma relação entre os valores alcançados e a realidade presenciada na serra.

Capítulo 2

2 - Estado da Arte

“O interesse da caracterização geológica e geotécnica de maciços rochosos em ligação com a Engenharia Civil e Geotecnia surge naturalmente pela necessidade de suporte de qualquer estrutura construída.” (Almeida, 2005)

2.1 - Enquadramento Geográfico

Numa zona de transição entre o interior Norte e Sul de Portugal encontramos a Serra da Estrela ($40^{\circ}20'N$, $7^{\circ}35'W$) no centro interior de Portugal Continental atingindo, no seu ponto mais elevado 1993 metros no Alto da Torre (Malhão Grosso), sendo a montanha mais alta do território continental português, Figura 2.

Numa escala mais global, a Serra da Estrela faz parte da cordilheira Central Ibérica, “uma morfoestrutura de tipo montanha de blocos” como afirma Ribeiro em 1954 (Vieira, 2004). Esta cordilheira encontra-se dividida por Portugal e Espanha, tendo o seu desenvolvimento no sentido de WSW-ENE e uma extensão de 500km e 40km de largura (Vieira, 2004).

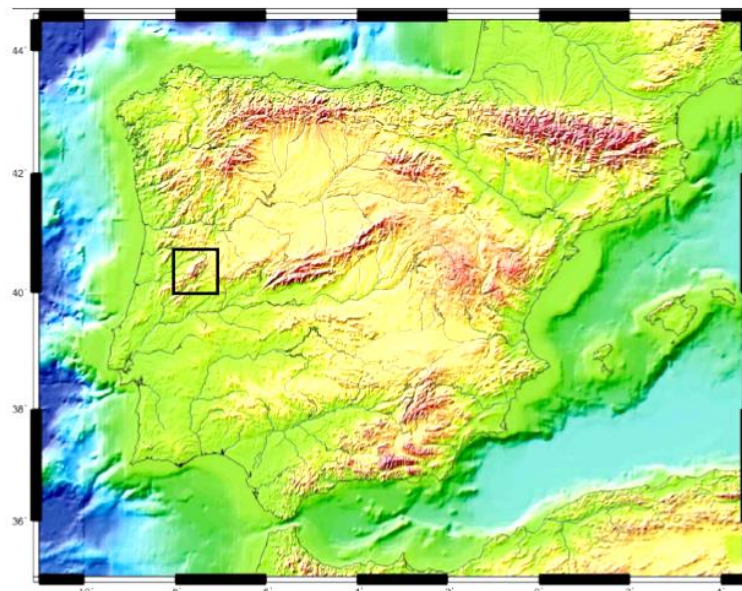


Figura 2 - Localização da Serra da Estrela, Retângulo a Negro, enquadrada em Portugal e Espanha e os relevos da Cordilheira Central Ibérica.

Em termos administrativos, a Serra da Estrela tem o seu território dividido entre 6 concelhos, nomeadamente: Celorico da Beira, Covilhã, Gouveia, Guarda, Manteigas e Seia, Figura 3. Porém, cerca de 85% do espaço territorial encontram-se nos concelhos de Celorico da Beira e da Guarda.

Foi entre estes concelhos que em 1976 foi criada a maior área protegida em solo português, o Parque Natural da Serra da Estrela. Com uma área total de 101 000 hectares (Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, 2015).



Figura 3 - Limites do Parque Natural da Serra da Estrela e os concelhos nela inserida.

Este parque de fauna e flora único a nível nacional estabelece a divisão entre a beira litoral e a beira interior. Tendo características geológicas peculiares e dignas de nota, principalmente devido às transformações glaciares que sofreu no passado.

A área de estudo situa-se no coração deste parque natural. Mais precisamente no vale da ribeira de Alforfa e no vale do rio Zêzere. Dois vales de solo granítico moldados há milhares de anos por glaciares e que, atualmente, continua a sua transformação essencialmente pelo vento e chuva com uma contribuição pouco significativa da neve que cai em alguns meses do ano.

O vale da ribeira de Alforfa está situado na projeção oposta ao vale do rio Zêzere, e as suas coordenadas no ponto mais elevado são 40°.31'N e 7°.58'W tendo um desenvolvimento de 5.8 Km no sentido NE.

Por sua vez, o vale do Zêzere tem a sua coordenada no ponto de maior altitude de 40°.32'N e 7°.58'W tendo um desenvolvimento de 11.3 Km no sentido SW até à cidade de Manteigas.

2.2 - Enquadramento Demográfico

Vários estudos foram realizados sobre a demografia da beira interior e mais particularmente sobre as populações que habitam a serra da Estrela.

Estes estudos, tanto a nível académico como a nível governamental comprovam que as populações têm vindo a diminuir e a envelhecer desde meados da década de 50.

Este enquadramento demográfico tem um valor importante neste trabalho porque para além dos elementos naturais de erosão o meio em estudo sofre todos os dias alterações impostas pelos seres humanos, como a construção de vias de comunicação, barragens, aterros e escavações em vertentes e taludes de carácter instável ou simples incêndios causados, pelo descuido ou não, dos habitantes da região. Todas essas alterações variam com a necessidade que o ser humano tem para o espaço que habita e que variam sempre com a linha temporal da própria história da região. Estes fatores, por definição, são fatores antrópicos.

“As dinâmicas demográficas estabelecem, inevitavelmente, profundas alterações nas estruturas económicas, sociais e espaciais das regiões” (Fernandes, Brigas, Lopes, & Castro, 2005).

O P.N.S.E. é constituído por seis concelhos: Celorico da Beira, Covilhã, Gouveia, Guarda, Manteigas e Seia. Estes concelhos conheceram o seu máximo populacional na década de 50 com uma ocupação total de 205747 habitantes.

Este apogeu demográfico foi conseguido pela capacidade que os Concelhos tiveram até à altura de reter a população e criar postos de trabalho. Especialmente devido ao peso da agricultura e ao sector têxtil-lanifícios, que eram os maiores empregadores da altura. Como podemos observar pela Tabela 1, posteriormente à década de 50 a população foi diminuindo. As perdas foram constantes nas restantes décadas sendo que a maior perda aconteceu na década de 60.

Tabela 1 - Evolução da população dos concelhos do PNSE, fonte I.N.E. (Fernandes, Brigas, Lopes, & Castro, 2005)

						60/70	81/91	91/01	01
Cel. da Beira	14930	11368	10269	8875	8899	-23,8	-13,6	0,3	-40,4
Covilhã	72957	62014	60945	53856	54507	-15	-11,6	1,2	-25,3
Gouveia	25210	18514	19045	17410	16142	-26,5	-8,5	-7,3	-35,9
Guarda	48994	39741	40360	38817	43759	-18,9	-3,8	12,7	-10,7
Manteigas	5276	4717	4493	4183	3821	-10,6	-6,9	-8,6	-27,6
Seia	34436	31874	31352	30241	28173	-7,4	-3,5	-6,8	-18,2
Total	201803	168228	166464	153382	155301	-16,7	-7,9	-0,8	-23,1

Fonte: I.N.E. (Recenseamentos Gerais da População)

Contudo, e como podemos comprovar pela Tabela 1, na década de 70 podemos identificar um pequeno aumento de 1.6% na Guarda e 2.8% em Gouveia. Embora seja aumentos diminutos podemos concluir que a diminuição não foi homogénea por todo o território. Estes pequenos aumentos porém são irrisórios, e não apagam a negativa realidade que em apenas meio século a população diminuiu de 205747 para 155301 habitantes, o que representa uma redução 24.6%, perto de um quarto da população.

Para a redução da população contribuíram as fracas iniciativas políticas, económicas e sociais que não conseguiram alterar uma realidade de uma estrutura produtiva tradicional, sustentada pelos baixos rendimentos oferecidos no sector agrícola e pelas poucas expectativas de emprego no sector comercial e industrial. A aliar a estes fatores temos uma europa em pós-guerra e destruída a precisar de mão-de-obra para a sua reconstrução. A combinação destes fatores tiveram como consequência uma fuga do território tanto para cidades nacionais como estrangeiras. Havendo concelhos, como Celorico da Beira que perderam quase metade da sua população nessas 5 décadas.

Desde de metade da década de 70 até aos dias de hoje, tem acontecido um arrefecimento deste êxodo da região. Para isso, tem acontecido uma ancoragem da população por parte das cidades existentes na região. Registando-se um processo de expansão de algumas delas, nomeadamente a Covilhã, Guarda e Seia.

Isto acontece, principalmente, pela capacidade que estas mesmas cidades têm de criar serviços e atrair, embora em pequena quantidade industria. O que consequentemente cria emprego e faz a economia crescer e oferecer um melhor nível de vida. Estas cidades apresentam atualmente uma forte vertente turística. Explorando a serra e a neve, atraindo capitais e utilizando recursos que até então não constituíam peso na economia local.

O turismo e o comércio são atualmente os sectores que mais crescem na Serra da Estrela. Havendo um desaparecimento do cariz rural da serra e a uma reconfiguração espacial e sócio-económica para uma serra mais cosmopolita e turística.

Tabela 2 - Evolução da população 2001-2011. (Instituto Nacional de Estatística, 2015)

CONCELHO	POPULAÇÃO 2001	POPULAÇÃO 2011	VARIAÇÃO 01/11
CEL. DA BEIRA	8899	7693	-13.55%
COVILHÃ	54507	51797	-4.97%
GOUVEIA	16142	14046	-12.98%
GUARDA	48994	42541	-2.78%
MANTEIGAS	4493	3430	-10.23%
SEIA	31352	24702	-12.32%
TOTAL	155301	144209	-7.14%

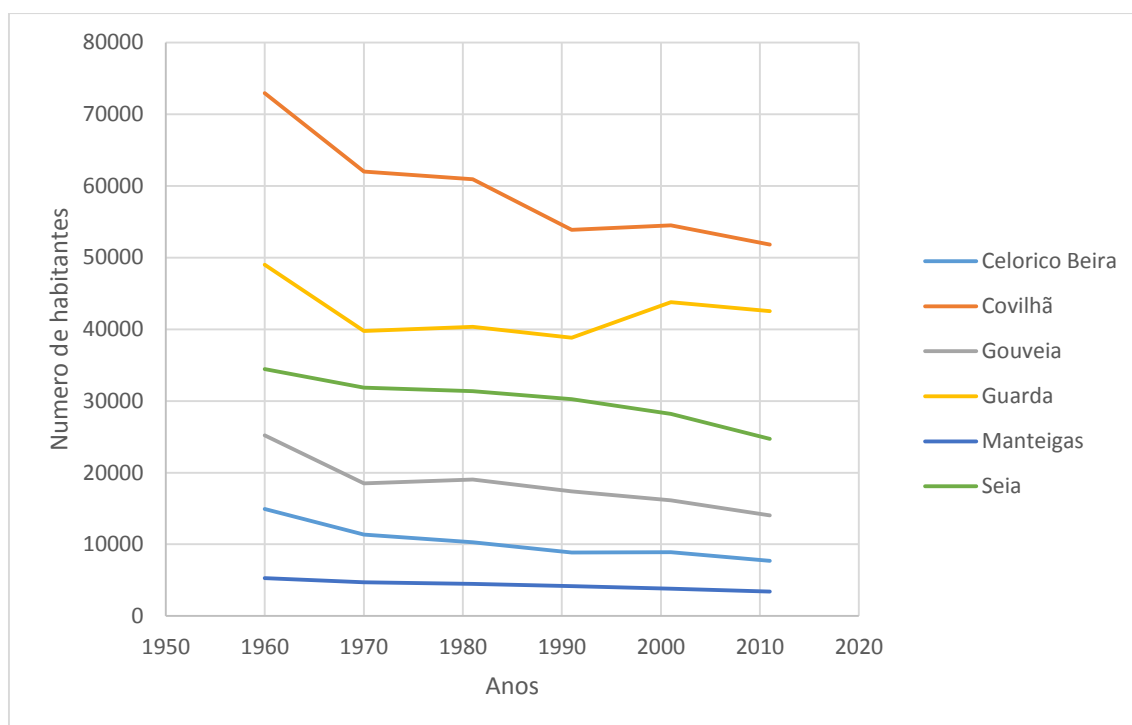


Figura 4 - Evolução da população no período de 1960 a 2011. (Instituto Nacional de Estatística, 2015)

Pelos censos de 2011 observamos que em relação a 2001, tabela 2, mesmo com a evolução do turismo, o comércio e com as melhorias das vias de comunicação a população diminuiu em todos os concelhos, atingindo mesmo valores superiores a 10% em 4 dos 6 concelhos integrantes do PNSE.

Embora a conjuntura nacional possa explicar em parte uma redução de 7.14% da população total que habita a região da serra da Estrela, estes valores não fogem da linha dos últimos 70 anos onde tem acontecido uma redução continuada da população, como comprova a Figura 4.

2.3 - Enquadramento Histórico

Sendo umas das mais altas montanhas da região e aliando o facto de que tanto a Este como a Oeste está rodeada de planícies, naturalmente, a serra da Estrela atraiu a atenção e o fascínio do seres humanos desde a sua chegada à península Ibérica. Sendo parte do folclore local, a serra da Estrela teve diversas denominações, lendas e importâncias ao longo da história.

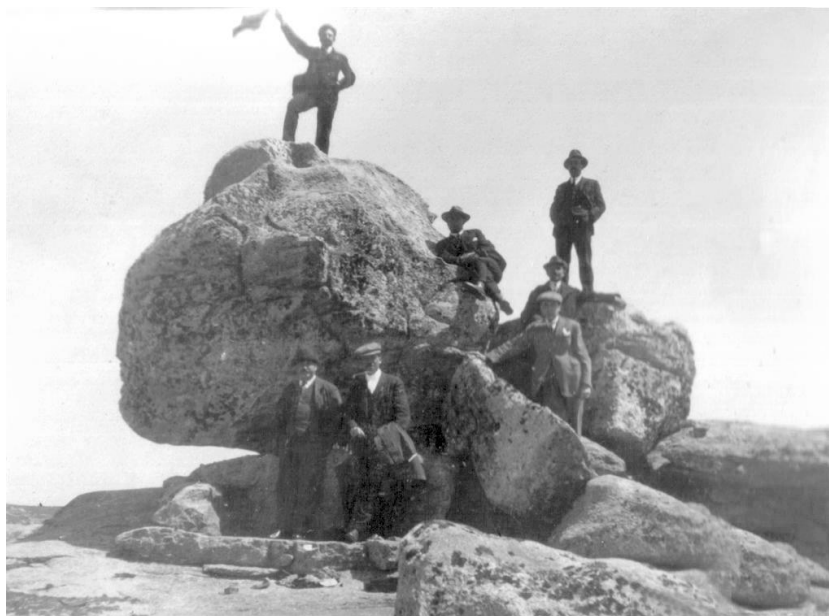


Figura 5 - Fotografia tirada em 1922 a uma visita à Serra da Estrela (in Revista Visão).

As primeiras explorações de recursos e povoamentos remontam a períodos pré-romanos (Calais, 1984). As primeiras denominações conhecidas remontam ao período indo-europeu onde estes maciços eram conhecidos por Ermenho, Ermeno, Ermeo e Ermio. Todas estas palavras derivam de diversas línguas celtas sempre com o significado associado a altura ou elevação. Estas denominações prolongam-se entre 1113 a 1256 (Batista, 1993).

Segundo o mesmo autor, em 1256 foi escrita a primeira referência conhecida a esta serra através de uma sentença papal sobre os limites entre a diocese da Guarda e a diocese de Coimbra. A sua primeira utilização conhecida referente a um contrato de venda em S. Romão, “*in territóio de serra suptus monte Hermeno*” (Batista, 1993).

A designação serra da Estrela terá sido fixada em meados do século XVI. Sendo que é uma derivação direta do foral da Covilhã de 1186 onde aparece pela primeira vez a designação Stella, referente na altura ao que hoje é designado pela Torre, Malhão da Estrela ou Malhão Grosso.

Como Baptista explica, a origem da terminologia Estrela está longe de reunir consenso. Porém o autor apresenta (Batista, 1993) algumas propostas, nomeadamente:

- Leite de Vasconcelos propôs: sobre uma ermida da Serra dedicada à Senhora da Estrela, hoje entretanto desaparecida, servindo de guia aos caminheiros e lugar de oração para os pastores.
- Opção de Marrecas Ferreira, 1866: a existência de um templo no alto da serra dedicado a Lúcifer, simbolizado pela estrela alva.
- Navarro, 1984: refere que tal designação provém de um acidente orográfico no topo da Serra, do feito de uma estrela, aludindo à forma do planalto da Torre.

2.4 - Revisão Bibliográfica

O seu maciço imponente desde cedo atraiu a atenção dos investigadores académicos e científicos das diversas áreas, tais como, a geologia, geomorfologia, biologia e ambiente. Para efeito desta dissertação de mestrado vou apenas enumerar os principais documentos elaborados no ramo da geologia, geomorfologia e geotecnia.

A primeira grande obra publicada aparece em 1870 por Carlos Ribeiro e Nery Delgado onde os autores enunciam os primeiros vestígios glaciários da Serra da Estrela (Ferreira & Vieira, 1999).

Por sua vez, em 1881, a Sociedade de Geografia de Lisboa incumbiu Hermenegildo Brito Capelo e o Dr. Sousa Martins de realizar duas cartas à escala 1:100000 com diversos objetivos, um dos quais o reconhecimento geológico da Serra da Estrela (Almeida, 2005).

Em 1884, Vasconcelos Pereira Cabral publica um artigo sobre as marcas glaciares presentes na Serra da Estrela.

Em 1929, surge um dos principais estudos morfológicos sobre a serra da Estrela. Estudo esse elaborado pelo alemão Hermann Lautensach que publicou "*Eiszeitstudien in der Serra da Estrela (Portugal)*", que viria a ser traduzida em 1932 com o título "Estudo dos glaciares da Serra da Estrela" (Vieira, 2004). Esta publicação é deveras importante porque pela primeira vez são identificados e discutidos diversos aspetos da glaciação da serra da Estrela e o autor chega mesmo a apresentar um mapa com a reconstituição da superfície glaciária na Última Glaciação (Vieira, 2004).

No ano de 1946, Pierre Birot afirma que a Serra da Estrela teve origem devido a fenómenos tectónicos (Ferreira & Vieira, 1999).

No intervalo temporal de 1949 e 1954, Orlando Ribeiro defende que a formação da serra da Estrela passou por uma “ascensão de blocos diferenciados” (Almeida, 2005), com valores de cota distintos, e não uma elevação de um único bloco (Ferreira & Vieira, 1999).

Em termos cartográficos, surgem na década de 60 as cartas geológicas à escala de 1:50000 e a Carta Geotectónica da região das Beiras à escala 1:250000 (Almeida, 2005).

Com um intervalo de mais de 30 anos em relação ao trabalho publicado pelo alemão Hermann Lautensach, o tema da morfologia volta a merecer a atenção com a publicação, em 1971, da obra *“La glaciation de la Serra da Estrela”* por Suzanne Daveau. Onde a autora define com um elevado grau de precisão os limites dos glaciares e estuda as suas implicações paleoclimáticas (Vieira, 2004). Posteriormente, em 1973, Daveau dedica uma obra às heranças dos períodos frios do Plistocénico com o título de *“Quelques exemples d’évolution quaternaire des versants au Portugal”* (Vieira, 2004).

António Ribeiro propõe um modelo de ressalto tectónico “pop-up” ou estrutura em “couve-flor” para a formação da serra da Estrela em 1988 (Ferreira & Vieira, 1999).

O Parque Natural da Serra da Estrela, em 1999, publica a Carta Geológica Simplificada da Serra da Estrela e a Carta Geomorfológica elaborada por Narciso Ferreira, Ferreira da Silva e Gonçalo Vieira. Em termos da cartografia geológica é um instrumento importante porque os autores classificam e localizam os diferentes tipos de granitos serranos presentes no P.N.S.E. (Almeida, 2005).

Em 2001, foram publicados algumas obras de cariz geotécnico. Nomeadamente, na zona da cidade da Covilhã, onde Victor Cavaleiro estabelece uma “correlação dos parâmetros mecânicos de solos de origem residual por alteração do granito com a mecânica dos solos clássica.” (Almeida, 2005).

Em 2004, Gonçalo Vieira publica “Geomorfologia dos planaltos e altos vales da serra da Estrela”. Aqui mais uma vez voltamos ao tema da morfologia onde Vieira identifica, caracteriza e localiza os testemunhos geomorfológicos deixados pelo glaciar e pelo ambiente frio do plisticénico estabelecendo uma ligação com a dinâmica ambiental atual (Vieira, 2004).

Pedro Almeida pública, em 2005, “Deformação em comportamento frágil na região da Serra da Estrela” (Almeida, 2005).

2.5 - Estudos sobre a glaciação da Serra da Estrela

Existem três grandes obras de referência sobre a era glacial na Serra da Estrela, nomeadamente, em 1929 por Hermann Lautensach, 1971 por Suzanne Daveau e, por último, em 2004 por Gonçalo Vieira.

Mas antes de explicar a dinâmica de um glaciar é preciso entender o que é um glaciar. Segundo o dicionário da Língua Portuguesa (Priberam, 2015), por definição um glaciar é: palavra que deriva do francês *glacier*, sendo um substantivo masculino que na geologia define uma grande massa de gelo que se forma nas montanhas, proveniente da transformação da neve ou da água em gelo.

Os glaciares são criados em situações onde a acumulação de neve excede o tempo de fusão da mesma (Elorza, 2008).

Através de um olhar mais geológico considera-se que um bloco de gelo é uma rocha, ou seja, uma massa de grãos mineral de gelo, que tal como a grande parte de todas as rochas são formadas pelo arrefecimento e cristalização de um fluido, neste caso a água; este tipo de rochas são rochas ígneas (Elorza, 2008).

No caso dos glaciares o “sedimento” base da sua constituição é a neve que através de processos de afundamento e metamorfismo vão provocar que os cristais de gelo presentes na neve sofram uma diagénese e uma recristalização numa massa sólida. Assim considera-se que os glaciares são massas de gelo em terra firme que apresentam provas de movimento atual ou antigo.

O movimento destas massas de gelo é provocado pela força da gravidade em função da inclinação da superfície em que se encontra (Vieira, 2004). O movimento tem sempre o sentido da parte do glaciar que se encontra em maior altitude, onde se realiza a acumulação da neve, para a parte de menor altitude. Por sua vez, se a superfície do glaciar for plana não existe movimento (Vieira, 2004).

2.5.1 - Dimensão do Glaciar

Na obra “Geomorfologia dos planaltos e altos vales da Serra da Estrela” de Gonçalo Vieira (Vieira, 2004) é calculado e representado o glaciar presente na serra da Estrela no último máximo da glaciação da serra da Estrela, UMGSE.

Para tal, utilizando o modelo de Schilling e Hollin para a reconstrução de perfis teóricos da superfície de glaciares (Vieira, 2004). Este modelo, como o nome indica, foi criado por Schilling e Hollin em 1981 e aplicado no cálculo dos glaciares da Patagónia e vales plistocénicos da Califórnia. Este tem a particularidade de assumir que o gelo comporta-se sobre condições de perfeita plasticidade só se deformando a partir do momento que é atingida a tensão tangencial crítica (Vieira, 2004).

Assim sendo, o autor ao aplicar o Modelo para ao conjunto de vales e planaltos que compoem a serra da Estrela obteve o resultado presente na tabela 3:

Tabela 3 - Medidas de dimensão dos glaciares presentes nas bacias glaciárias da Serra da Estrela na UMGSE (Vieira, 2004).

	Alforfa	Alvoco	Covais	Covão Grande	Covão Urso	Estrela	Loriga	V. do Conde	Zêzere	Outro
Área (km ²)	5.2	1.3	0.1	13.4	8.9	1	8.1	3.1	23	2.1
Área (%)	7.9	2.0	0.2	20.2	13.4	1.5	12.2	4.7	34.7	3.2
Espessura máx. (m)	239	96	67	191	217	93	180	158	344	--
Volume (m ³)	4.7 x10 ⁸	6.8 x10 ⁷	3.9 x10 ⁶	1.2 x10 ⁹	8.8 x10 ⁸	3.9 x10 ⁷	6.4 x10 ⁸	2.5 x10 ⁸	2.8 x10 ⁹	1.04 x10 ⁸
Volume (%)	7.3	1.1	0.1	18.9	13.8	0.6	9.9	3.9	42.9	1.6
Compr. (km)	5.8	2.5	0.6	6.2	7.2	2.5	6.7	1.9	11.3	--
Altitude máx. (m)	2090	2090	1360	1970	1970	2090	2090	1830	2090	--
Altitude min. (m)	880	1400	1110	980	1040	1290	800	1590	750	--

Através da análise da Tabela 3, conclui-se que o glaciar que outrora existiu no maciço da serra da Estrela tinha uma área total de 66.2 km² e um volume de 6.42x10⁹ m³.

O vale do Zêzere foi o que mais contribuiu, pois foi lá que se encontrava o maior glaciar com um comprimento de 11.3 km e uma área de 23 km², o que representa 34.7% da área total. O volume de 2.8x10⁹ m³ representa quase metade do volume de todo o glaciar atingindo 42.9% do mesmo.

As restantes bacias glaciares são de menor dimensão e conseqüentemente geraram glaciares mais pequenos, mas mesmo assim, destacam-se os glaciares do Covão Grande e Covão do Urso

com um comprimento de 6.2 e 7.2 km, respetivamente. O glaciar do Covão Grande teve uma área de 13.4 km² e um volume de 1.2x10⁹ m³, sendo que em termos absolutos foi o segundo maior glaciar.

Em relação á espessura máxima de gelo, mais uma vez o glaciar do Zêzere atinge a maior marca com 344m, de seguida o vale da Alforfa com 239m e o do Covão do Urso com 217m. Esta característica dos glaciares é sobretudo influenciada pela topografia do vale em que se encontra. Pois um vale mais encaixado na área próxima dos planaltos vai originar uma maior espessura de gelo.

A partir destes dados, o autor foi capaz de criar um Modelo Numérico de Terreno, MNT, Figura 6 onde apresenta o glaciar implantado na topografia do terreno.

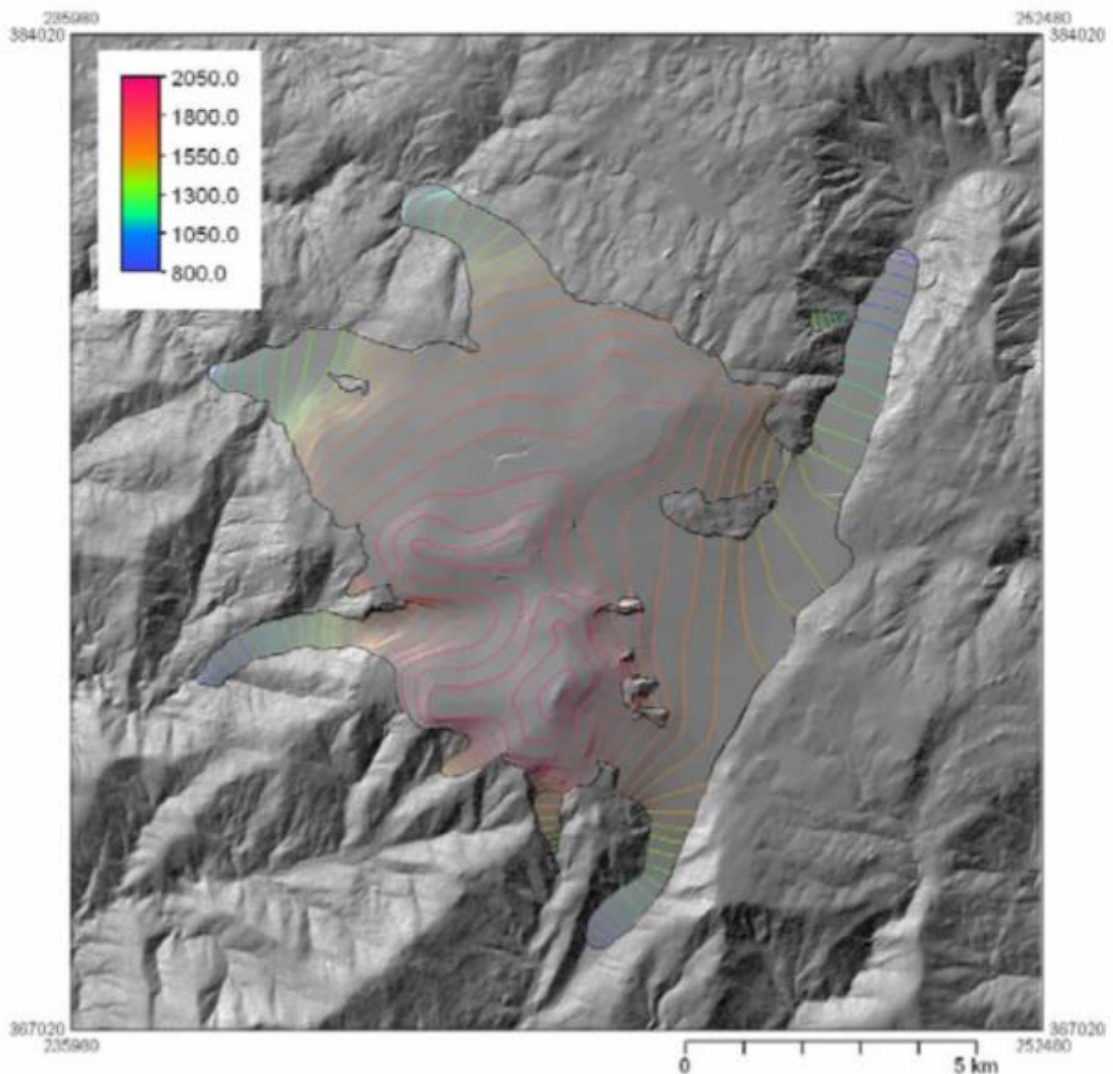


Figura 6 - MNT, curvas de nível da superfície glaciária modelada (equidistância 10m) (Vieira, 2004).

Consequentemente e a partir do mapa MNT, o autor origina uma imagem tridimensional do gelo presente na UMGSE, como podemos ver na Figura 7.

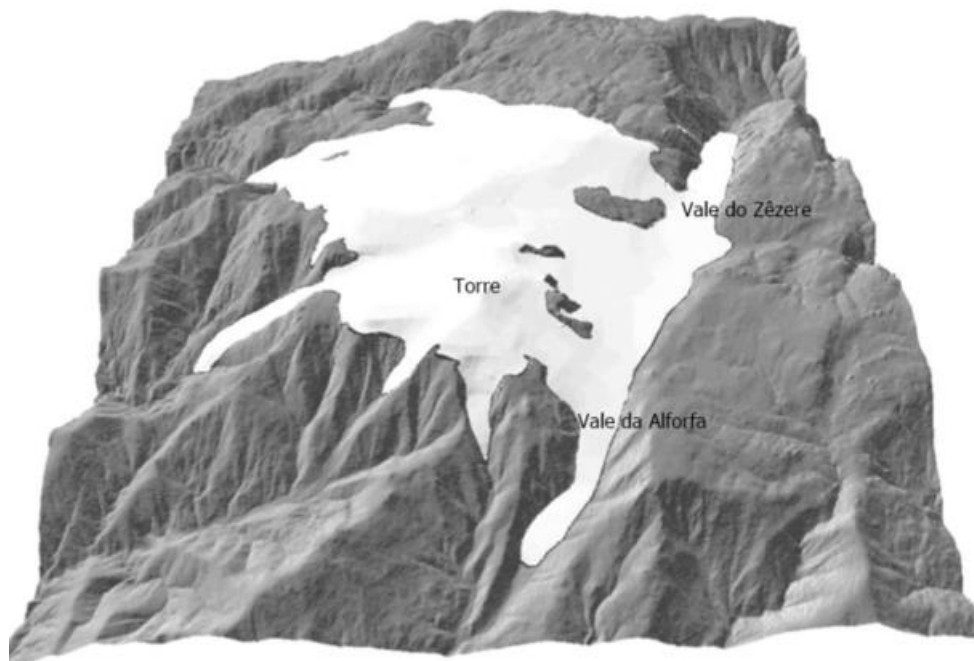


Figura 7 - Reconstituição tridimensional em perspectiva do Glaciar da Serra da Estrela na UMGSE, vista de sul para norte (Vieira, 2004).

2.5.2 - Perfis longitudinais e transversais (Casos de estudo)

- Vale da ribeira da Alforfa

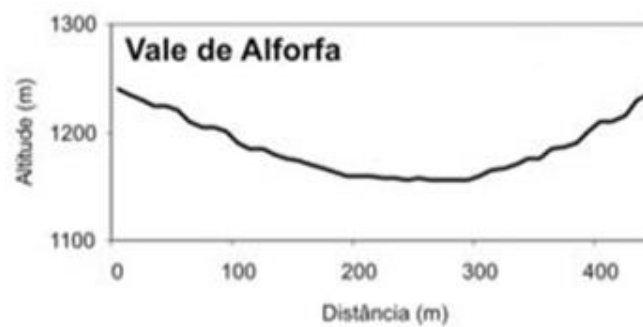


Figura 8 - Perfil transversal Vale da Ribeira de Alforfa (Vieira, 2004).

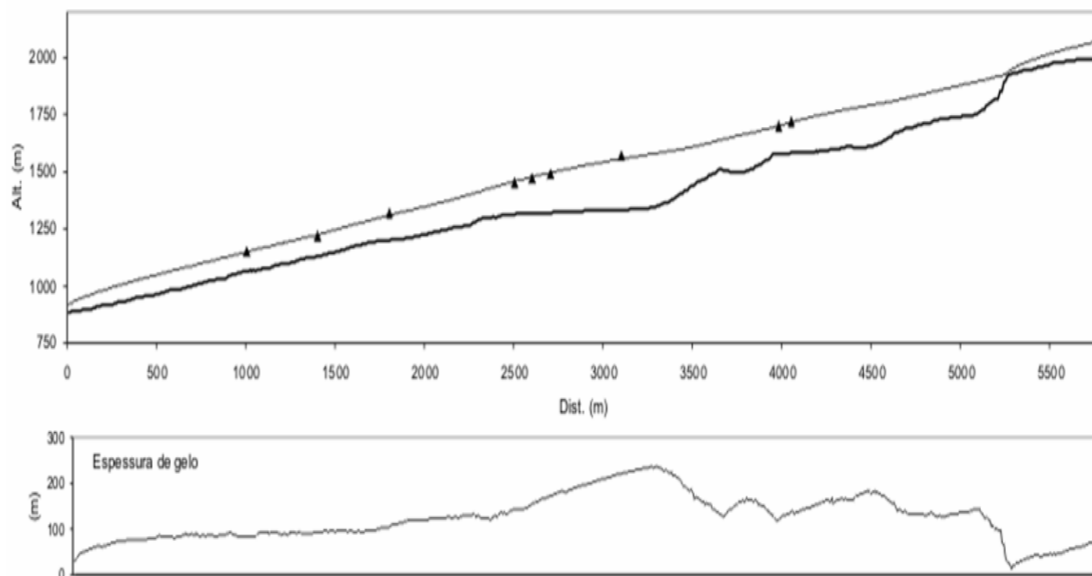


Figura 9 - Perfil longitudinal Vale da Ribeira de Alforfa, espessura de gelo e os triângulos a negro representam as principais moreias laterais (Vieira, 2004).

Segundo os perfis apresentados por Gonçalo Viera (Vieira, 2004) podemos retirar as seguintes informações: o vale tem uma extensão de 5.8 Km, uma área de 5.2 Km² e um volume de 4.7x10⁸ m³ o que equivale a 7.3% do volume de todas as bacias glaciares da Serra da Estrela. No seu máximo o glaciar da Alforfa atingiu uma espessura de gelo de 239 m e uma cota máxima de 2090 m e a mínima de 880 m.

- Vale do Zêzere

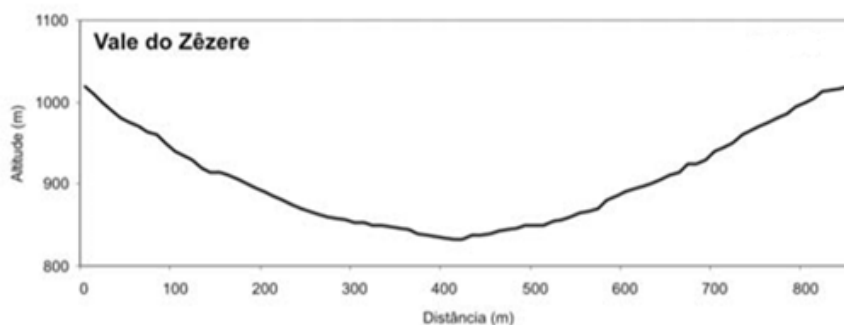


Figura 10 - Perfil transversal Vale do Zêzere (Vieira, 2004).

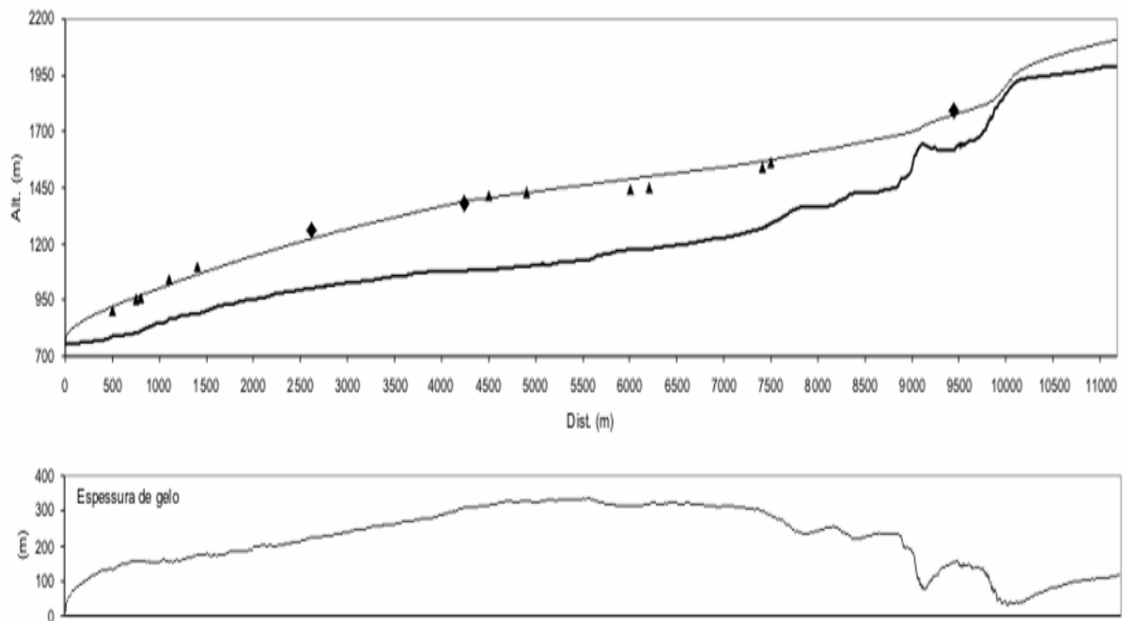


Figura 11 - Perfil Longitudinal do Vale do Zêzere, espessura de gelo e os triângulos a negro representam as principais moreias laterais (Vieira, 2004).

O vale do Zêzere albergou o maior glaciar da Serra da Estrela. Com a sua extensão de 11.3 Km, área de 23 Km² e volume de 2.75x10⁹ o que representa cerca de 42.9% do volume glaciar da serra da Estrela (Vieira, 2004) é de longe o maior vale glaciar de Portugal e um dos maiores da Europa.

O glaciar teve uma espessura máxima de 344 m de gelo atingindo uma cota de gelo máxima de 2090 m e uma mínima de 750 m.

Este glaciar era também alimentado por outros dois glaciares, nomeadamente o glaciar dos vales dos Covões e da Candeeira (Vieira, 2004).

2.6 - Erosão Glaciária

Um glaciar são toneladas de gelo em movimento, por isso é um dos agentes erosivos presentes no nosso planeta com maior poder de erosão. Deformando a paisagem em que se encontra de forma profunda e rápida.

Existem alguns modelos teóricos que nos permitem calcular o poder erosivo de glaciares, como por exemplo o modelo de fricção de Coulomb, o modelo de fricção de Hallet e o modelo de fricção de “tipo lixa” (Vieira, 2004).

Embora apenas o gelo em si possa causar erosão na superfície em que se encontra, esta é multiplicada diversas vezes porque na base do glaciar encontram-se várias partículas que são arrastadas e pressionadas pelo glaciar na superfície, este processo é chamado de abrasão (Vieira, 2004). Abrasão acontece quando o gelo aplica uma força tangencial de arraste na partícula, e pelas leis de Newton a partícula e o solo irão “responder” com uma força em sentido contrário dessa força tangencial, designada por resistência ao corte. Se a força tangencial for maior que a resistência ao corte vai existir movimento. Esse movimento vai originar erosão no solo.



Figura 12 - Esquema das forças envolvidas entre a partícula e o glaciar (Vieira, 2004).

Existem dois tipos de resultados possíveis quando acontece a abrasão: se existir apenas partículas individuais sobre o leito do glaciar aparecerão estrias, este processo chama-se estriagem. Por outro lado, temos o polimento que se refere à redução das irregularidades do substrato devido à sua progressiva fracturação, “num mecanismo semelhante à ação de uma lixa” (Vieira, 2004).

Assim, quando o solo é polido ou estriado aconteceu a abrasão. Por outro lado, se o solo for fragmentado em partículas superiores a 1 cm esse processo chama-se de desalojamento.

Tanto a abrasão como o desalojamento são constituídos por três diferentes processos mecânicos: “a fragmentação do substrato, a libertação dos fragmentos, e o transporte” (Vieira, 2004).

Outra forma de erosão presente nos glaciares é a erosão hídrica, esta acontece principalmente nas bases dos glaciares e relaciona-se com o escoamento subglaciário, que pode acontecer sob elevadas pressões hidráulicas e que aliada ao facto de a mesma conter as partículas e os sedimentos transportados pelo gelo representa uma força destrutiva eficiente e poderosa.

Por último, temos as próprias reações químicas entre a água e o solo. Este processo tem o nome de dissolução.

Todos estes processos acima descritos estão dependentes de fatores do glacial e do próprio solo que vão aumentar ou diminuir o poder da erosão glacial. O autor Gonçalo Vieira (Vieira, 2004) fez uma quantificação dos mesmos na sua obra:

- Dureza do substrato e dureza do clasto adjacente em movimento: com este fator a erosão será maior quanto maior for a dureza do clasto em relação ao solo em erosão.

- Força exercida sobre o clasto de encontro ao leito glaciário: quanto maior for a força exercida pelo gelo sob o clasto maior será o poder erosivo, para tal uma boa drenagem da água irá reduzir as pressões hidráulicas reduzindo assim a força resistente ao movimento. A forma do clasto também é importante, pois um clasto com a forma mais redonda e menos anguloso irá rolar sobre si mesmo diminuindo o poder erosivo.

- Velocidade do movimento do clasto sobre o leito: “quanto maior for a velocidade, maior a área afetada pela abrasão por unidade de tempo” (Vieira, 2004), embora a velocidade do clasto não esteja diretamente proporcional à velocidade do gelo, pois pela força tangencial que o gelo aplica ao clasto a pressão hidráulica e o atrito do solo vão anular parte dela. Além que a quantidade de fragmentos presentes no leito do glacial também influencia.

- Concentração de detritos na base do glacial: quanto maior numero de fragmentos maior o poder de erosão, embora que no caso em que o numero seja muito elevado a força de atrito também o será, reduzindo assim a velocidade de movimento da partícula.

- Remoção dos produtos da abrasão/desalojamento: as partículas e fragmentos libertados tendem a acumular-se em irregularidades e convexidades do solo, esse facto vai criar uma “camada” protetora entre os clastos e o solo, impedindo o processo de abrasão e desalojamento. A remoção dessas partículas/fragmentos ocorre através de um processo de lavagem subglaciária que transporta os mesmo e deposita em siltes glaciários encontrados nos *till*.

2.7 - Morfologia Glacial

Muitos autores estudaram e identificaram essas “cicatrizes” na serra. Autores como Hermann Lautensach, Suzanne Daveau ou Gonçalo Vieira.

São muitas as morfologias dos glaciares, o gelo tem de facto um “character” particular que facilmente é diferenciado dos restantes elementos erosivos. Tais como:

Tor, Figura 13: palavra que deriva do alemão, onde a tradução quer dizer “ruína de castelos”. Por definição, os *tor* são afloramentos de rocha-sã que se elevam alguns metros em relação ao

solo envolvente, tendo flancos declivosos e pela sua natureza seriam especialmente sensíveis à erosão do glaciador (Vieira, 2004). Autores como Linton (Vieira, 2004), defendem que os *tors* são elementos pré-glaciares e que a sua ausência prova que o glaciador esteve presente na área. Porém, esta ideia foi excluída devido a observações de *tors* presentes em áreas glaciadas no passado. Esse facto é explicado devido à eventual existência de glaciares de bases frias, não contendo movimento, e que teriam envolvido os *tors* protegendo-os da erosão.

No caso da Estrela, tal não aconteceu, pois grande parte dos glaciares eram de base quente, contendo assim movimento. Apenas uma pequena porção dos *tors* podem ser encontrados no interior do limite do glaciador da Estrela.

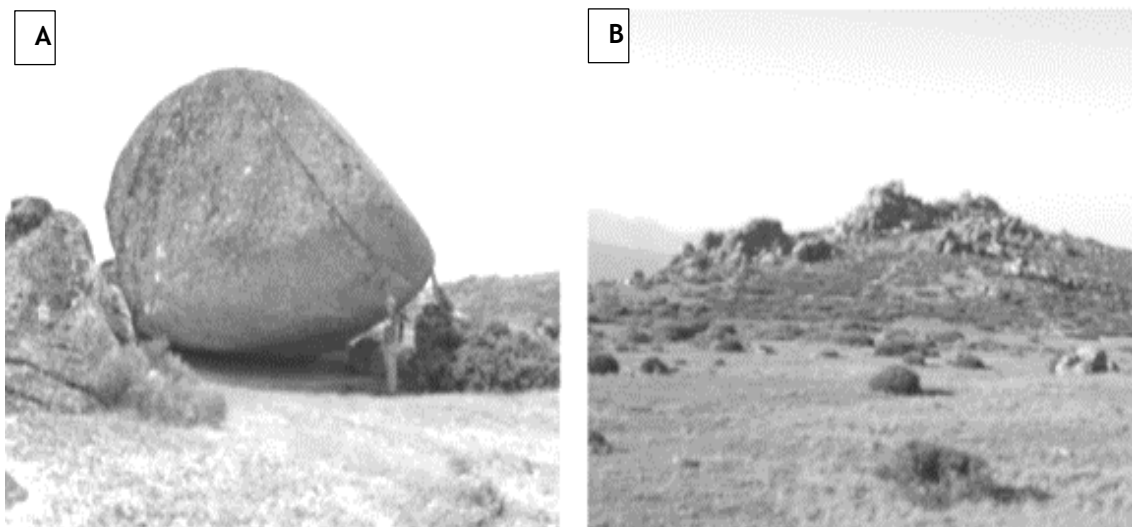


Figura 13 - Exemplos de elementos tipo *tor* na Serra da Estrela. A - Penhas da Saude; B - Poios Brancos; (Vieira, 2004)

Gonçalo Vieira identificou e cartografou os *tors* presentes na serra da Estrela (Vieira, 2004), essa cartografia está presente na Figura 14. Pela análise da mesma podemos observar que 95% dos *tors* encontram-se fora dos limites da glaciação. Aliás essa ideia já era defendida pelos autores Lautensach e Daveau. (Vieira, 2004) Apenas uma pequena parte dos *tors* presentes no sector do Curral do Martins e interflúvios a noroeste dos Covões (Vieira, 2004) sobreviveram à erosão do glaciador.



Figura 14 - Triângulos Negros - Distribuição espacial dos elementos tipo tors na Serra da Estrela (Vieira, 2004).

Superfícies de Rocha Nua, Figura 15: mais uma das marcas deixada pelo glaciador que com o seu movimento retira os extratos existentes na superfície das rochas e com o decorrer dos anos vão polindo e estriando a rocha. Muitos autores têm referido que a presença destas superfícies no interior dos limites da área do glaciador em contraste com as áreas circundantes é uma prova explícita da presença do mesmo.

No planalto ocidental da Estrela podemos classificar a paisagem como sendo do tipo *knob-and-locham* em miniatura (Vieira, 2004). Onde se encontram presentes superfícies transformadas pela erosão subglaciária com convexidades rochosas, rochas aborregadas e bacias de sobre-escavação frequentemente ocupadas por lagos.



Figura 15 - Superfície knob-and-locham, Lagoa Comprida (Vieira, 2004).

Circo glaciário, Figura 17: o termo circo glaciário apareceu como forma de identificar as bacias semicirculares encontradas nos Pirenéus. Em 1995, Evan e Cox definiram os circos como depressões abertas a jusante, mas delimitadas a montante por vertentes abruptas (paredes) cujo, na sua vista aérea, a mesma forma uma linha em arco circundando um fundo de declive suave (Vieira, 2004).

A definição de Evan e Cox é muito limitada pois foi desenvolvida para zonas de tipo alpino, situação que não se encontra na serra da Estrela. Pois os circos da Estrela localizam-se principalmente em zonas de margem de planaltos. Mas sendo elementos com formas complexas fugindo a linearidade apresentada na definição de Evan e Cox, assim podemos encontrar circos onde as paredes são pouco desenvolvidos e a sua forma vista em altitude podem ser retilíneas, ou mesmo ocorrerem circos menores embutidos em formas maiores.

Assim sendo, foram definidos cinco tipos diferentes de arcos:

- **Circos simples** - são formas bem definidas e independentes.
- **Circos compostos** - o sector mais a montante é constituído por dois circos menores, de tamanho aproximadamente igual.
- **Circos em escadaria** - quando dois ou mais circos ocorrem em sequencia altitudinal.
- **Circos de cabeceira de vale glaciário** - quando o circo constitui a cabeceira de um vale glaciário.

Estas cinco definições foram apresentadas por Gonçalo Vieira na sua tese de doutoramento (Vieira, 2004) e através das mesmas identificou e cartografou os circos glaciários presentes na serra da Estrela, identificação ilustrada na Figura 16.

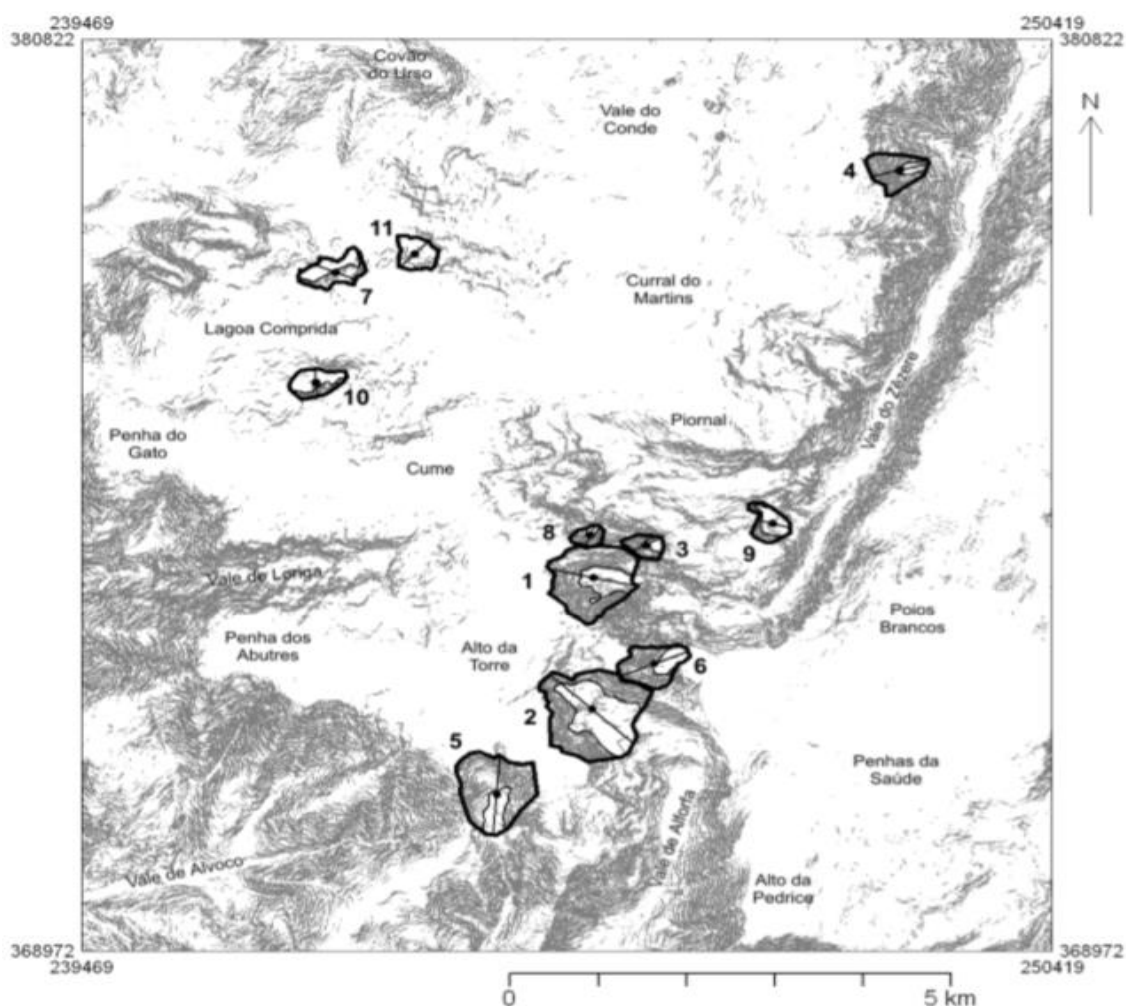


Figura 16 - 1-Circo Covão Cimeiro; 2-Circo do Covão do Ferro; 3-Circo da Lagoa do Cântaro; 4-Circo de Covais; 5-Circo da Estrela; 6-Circo Covão das Vacas; 7-Circo Covão do Forno; 8-Circo Cântaro Gordo; 9-Circo de V. Mourisco; 10-Circo Lagoa Escura; 11-Circo Lagoa Redonda; (Vieira, 2004)

As rochas aborregadas, Figura 17: são rochas assimétricas moldadas pelo gelo do glaciar. Tendo como característica que a sua face a jusante sofreu uma erosão à base da abrasão e por sua vez a montante uma erosão por fragmentação e desalojamento de blocos (Vieira, 2004). Por esse simples fator as rochas aborregadas são mais declivosas a jusante que a montante ajudam assim a calcular a trajetória e o sentido do fluxo do glaciar.

Quanto aos parâmetros físicos são rochas que podem ter uma dimensão entre um metro a vários metros sendo muito frequentes na serra da Estrela. O autor Gonçalo Vieira afirma mesmo que das formas erosivas de dimensão média são sem dúvida as mais frequentes da serra da Estrela.



Figura 17 - Rocha aborregada, ilustrando o fluxo da direita para a esquerda; Vale da Candeeira; (Vieira, 2004)

Dorsos de baleia, Figura 18: tal como as rochas aborregadas, os dorsos de baleia são afloramentos rochosos que sofreram erosão pelo glaciár. A principal diferença é que no caso dos dorsos de baleia a vertente mais abrupta que existe nas rochas aborregadas não existe. Este facto pode ser explicado pela inexistência de cavidades com baixas pressões, sendo que uma das razões para esse fator acontecer é uma camada de gelo muito espessa. A designação destas rochas de dorso de baleia advém da similaridade destas com o dorso de uma baleia quando emerge no oceano.



Figura 18 - Dorso de Baleia; Lagoa da Candeeira; (Vieira, 2004)

Microformas de Erosão, Figura 19 e 20: nem todos os resultados erosivos foram de macro dimensão, se aumentarmos o nosso nível de observação podemos identificar milhares de micromarcas deixadas pelo glaciar no solo da Estrela.

Estas microformas são extremamente interessantes pois refletem as características da dinâmica basal do gelo glaciário, estando conectado ao seu movimento, fluxo e dinâmica.

As principais microformas presentes na serra da Estrela são as seguintes:

- Estrias e caneluras: como o próprio nome indica as estrias são sulcos finos e lineares sendo resultado dos produtos abrasivos presentes no leito do glaciar. Vieira (Vieira, 2004) caracteriza as estrias presentes na serra da Estrela como “arranhadelas” com largura milimétrica e comprimento decimétrico.

Por seu lado, quando uma estria tem largura de centímetros e atinge metros de comprimento são designados por caneluras.

- Superfícies polidas: como no caso das estrias e caneluras, as superfícies polidas são frequentes na zona de erosão glaciária máxima sendo, mais uma vez, resultante da abrasão glaciária.

Como Benn e Evans, 1998, (Vieira, 2004) explicam: o polimento é um processo distinto da estriagem. Consideram o polimento como um processo de talhe linear.

As principais superfícies polidas perfeitas na Estrela têm apenas alguns decímetros quadrados (Vieira, 2004).

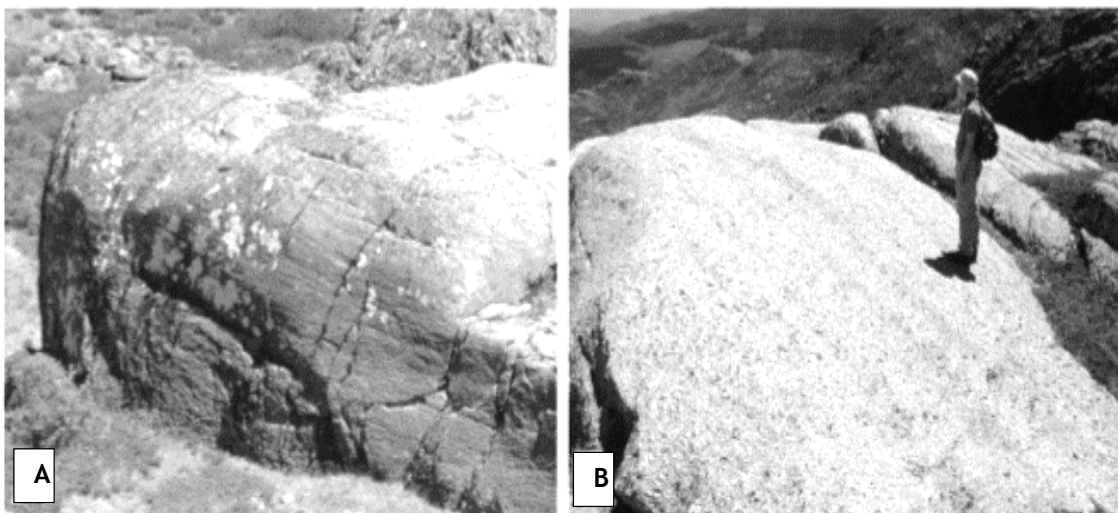


Figura 19 - A - Estrias sobre rocha aborregada Lagoa do Pachão; B - Caneluras Lagoa o Pachão; (Vieira, 2004)

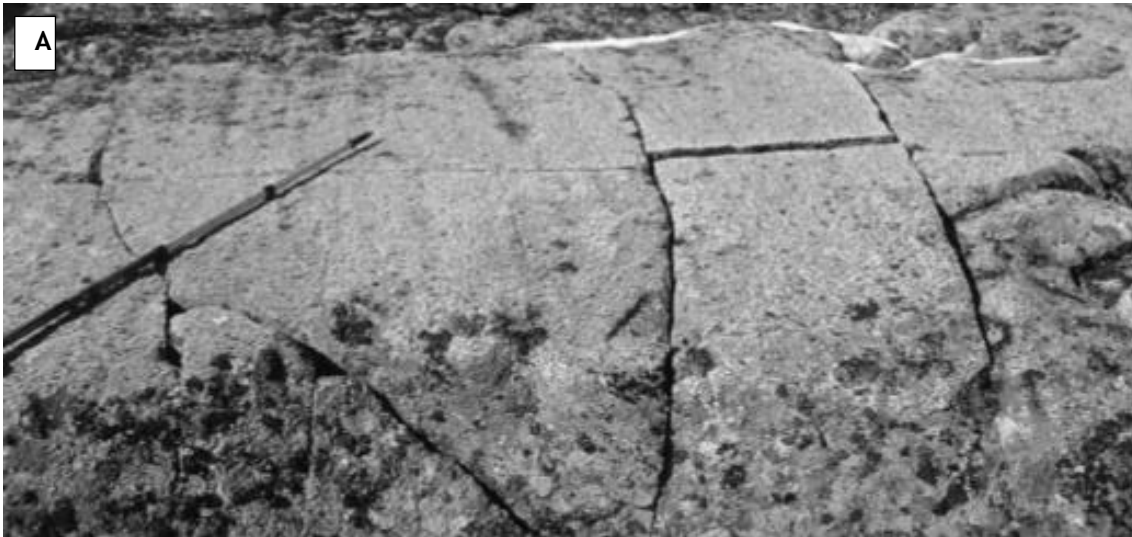


Figura 20 - A - Superfície polida com pequenas caneluras; (Vieira, 2004)

2.7.1 - Depósitos Glaciares

Os glaciares podem gerar toneladas de detritos. Detritos que se depositam ao longo da área do glaciar e nas suas margens. Estes podem ser classificados de diversas formas, consoante a sua localização, a sua composição e a sua forma espacial.

Na serra da Estrela ao longo dos anos foram identificados e classificados diversos tipos dessas acumulações, sendo que os mais abundantes são os blocos erráticos, as moreias, os *tills* e os fluvioglaciários.

Mais uma vez, os principais autores que se dedicaram a este estudo foram Hermann Lautensach, 1929, Suzanne Daveau, 1971, e Gonçalo Vieira, 2004. Provavelmente os três autores mais influentes no que diz respeito ao estudo morfológico da glaciação da Estrela.

Blocos Erráticos, Figura 21: são blocos de rocha que em certos casos podem atingir algumas dezenas de toneladas e que se encontram em locais de fraca inclinação, Figura 22. Locais esses onde com apenas a força da gravidade seria impossível de os transportar para lá. Por essa razão, a explicação da sua presença nesses locais é a ação do glaciar como meio de transporte destes blocos de grandes dimensões em superfícies de fraca inclinação. Muitas das vezes pode-se verificar uma diferença na composição mineralógica ou cromática entre o bloco e a superfície onde se encontra pousado.



Figura 21 - Exemplo de Bloco Errático; Poio do Judeu Serra da Estrela;

Moreias: Ao contrário de outros depósitos morénicos em Portugal as moreias da serra da Estrela encontram-se num bom estado de conservação. Tendo sido uns dos primeiros depósitos a ser referenciados como evidência de uma glaciação ocorrida na Estrela.

O levantamento e classificação de grande parte das moreias que se podem encontrar na serra da Estrela estão presentes na obra de Vieira (Vieira, 2004) como pode ser comprovado na Figura 23. Sendo um trabalho importante vindo completar o trabalho iniciado por Lautensach e Daveau.

As moreias não são mais que “acumulações heterométricas de blocos e calhaus sub-rolados, que assentam num *diamicton* onde ainda se encontra a matriz de areias e silte original” (Vieira, 2004). Frequentemente os elementos grosseiros superficiais, devido aos elementos erosivos, sofreram um processo de lavagem e perderam parte da sua matriz mas devido à sua localização topográfica a possibilidade de serem depósitos fluviais ou de vertente são nulas.

Existem vários processos de formação de uma moreia, Vieira (Vieira, 2004) na sua obra identifica os seguintes:

Empurrão Glaciário - este processo de formação, tal como o nome indica, acontece na parte frontal do glaciar que através da sua movimentação vai empurrando os sedimentos à sua frente. Quando o avanço é sazonal origina moreias de empurrão de poucos metros de altura, por sua vez, com movimentos numa linha temporal maior irá originar moreias maiores.

Cavalgamento glaciário - este tipo de génese acontece ao longo da superfície de cisalhamento no interior do glaciar onde os sedimentos são transportados.

Desabamentos e escoadas de detritos de encontro ou sobre o glaciar - estes processos acontecem em glaciares localizados em vales ou a locais onde as vertentes são maiores que os glaciares. Em vales como o do Zêzere este tipo de génese foi importante para a criação de certas moreias.

Descarga glaciária - é o processo que acontece na margem do glaciar quando o sedimento é depositado por perda de capacidade de transporte do glaciar. Vieira (Vieira, 2004) utiliza mesmo a comparação deste processo a um tapete rolante que vai descarregando à sua frente o material transportado.

Fusão superficial e marginal - a fusão superficial do glaciar provoca uma paragem no transporte do sedimento. De seguida, devido a processos fluvioglaciários, estes podem vir a ser depositados nas margens ou na base do glaciar sendo parte incorporada de uma moreia.

Fusão subglaciária e alojamento - como descrito no parágrafo anterior, acontece uma paragem do transporte do sedimento por efeito da fusão do gelo. Embora neste caso seja na base do glaciar e não na superfície.

Existem vários tipos de moreias na serra da Estrela, podendo essas ser divididas em dois diferentes grupos: as moreias marginais e as coberturas morénicas.

Nos casos das moreias marginais podemos incluir as moreias laterais, as moreias latero-frontais, os conjuntos de arcos morénicos de recessão e os complexos morénicos marginais. Este grupo de moreias são importantes pois, como o nome indica, situam-se nas margens do glaciar o que permite aos investigadores calcular os limites dos mesmos.

Já nas coberturas morénicas são moreias que se situam no interior do limite do glaciar, podendo sendo detetadas em planaltos e interiores dos vales.

Moreias Laterais, Figura 23: particamente todas as moreias são acumulações lineares de blocos e calhaus heterométricos que devido ao processo de lavagem pós-glaciar geralmente não se encontra matriz na sua superfície. Estas moreias dispõem-se numa posição lateral em relação a um glaciar de vale (Vieira, 2004). Na Estrela podemos encontrar estas moreias em posição de vertente, ou próximo do interflúvio, e encontram-se em todos os grandes vales a altitudes inferiores de 1650m.

A Figura 22, retirada da tese de doutoramento de Gonçalo Vieira, mostra a localização das moreias laterais presentes na serra da Estrela. Como podemos observar essas moreias por si só deixam perceber a forma, mesmo que em formato um pouco grosseiro, que o glaciar teve.

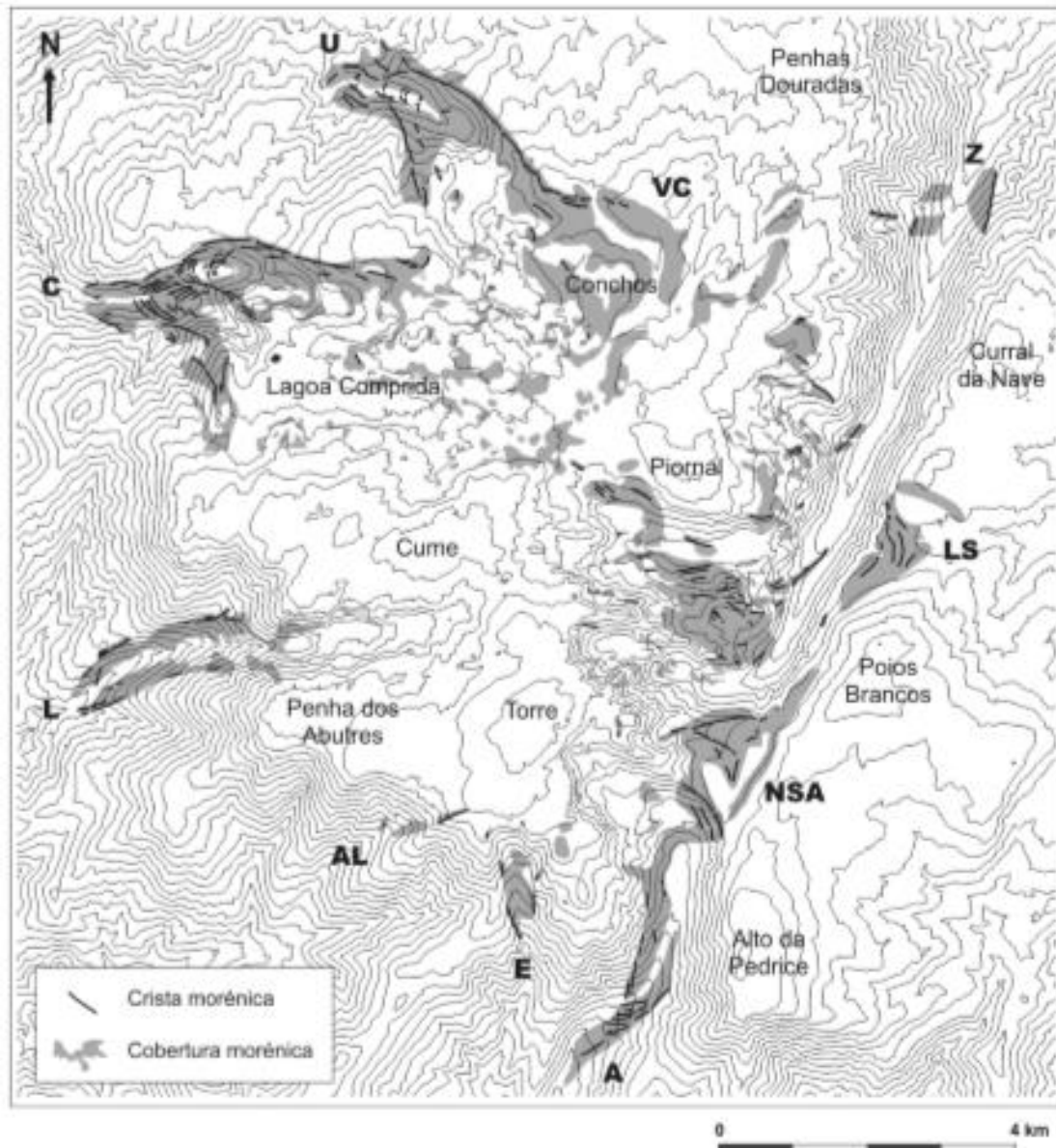


Figura 22 - Localização das moreias laterais na Serra da Estrela (Vieira, 2004).



Figura 23 - Moreia Lateral do Poio do Judeu (Vieira, 2004).

Moreias Latero-frontais, Figura 24: são moreias de transição entre as laterais e as frontais. Mais uma vez podem ser encontradas em todos os grandes vales da Estrela. Topograficamente encontram-se numa posição próxima da frente do glaciar tendo em relação ao mesmo um desvio angular ligeiro na sua extensão.



Figura 24 - Moreia Latero-frontal no Vale da Alforfa (Vieira, 2004).

Conjunto de arcos morénicos de recessão, Figura 25: estes arcos formam-se na zona frontal do glaciar, fazendo um ângulo de 90° em relação ao movimento do glaciar. Como Vieira explica, por se encontrarem nos fundos dos vales, os arcos morénicos sofrem um efeito de lavagem elevado consequentemente são constituídos maioritariamente por “grandes blocos sub-rolados” (Vieira, 2004).

A formação destes arcos está relacionada pelos vários recuos e avanços do glaciar ao longo dos anos o que possibilita a formação de diversas moreias. Geralmente este tipo de moreias surge em grupos, sendo que o maior grupo registado na Estrela é de 12 arcos no Covão do Urso que entre arcos dista uma distância que pode chegar à dezena de metros.

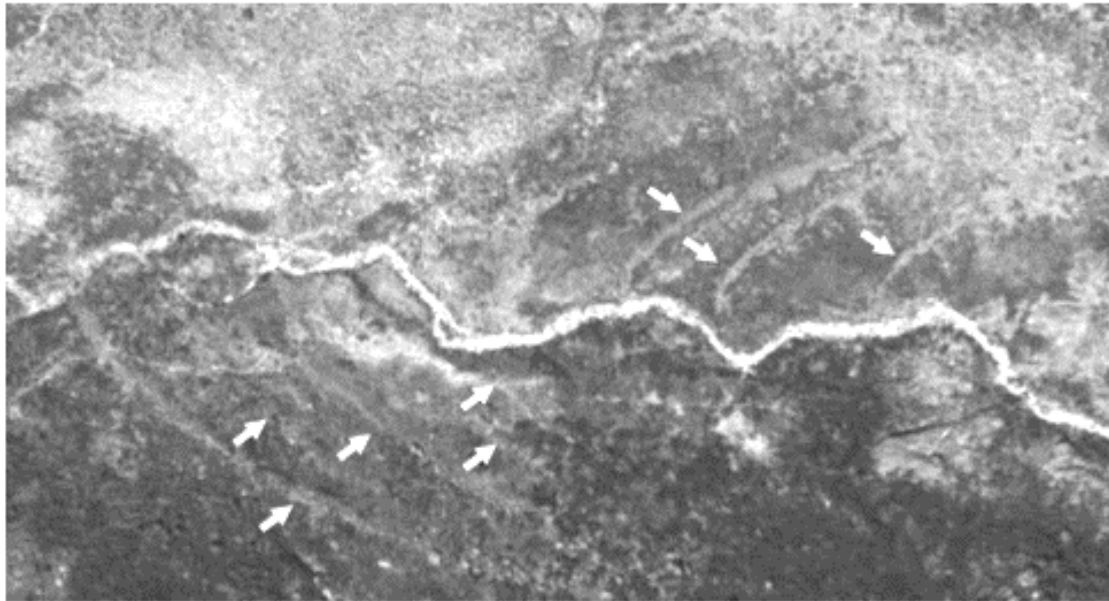


Figura 25 - Conjunto de arcos morénicos de recessão do vale da Caniça (Vieira, 2004).

Complexos morénicos marginais, Figura 26: Gonçalo Vieira na sua obra (Vieira, 2004) classifica todas as moreias que não têm forma de crista bem definida e que se encontram na margem glaciária como complexos morénicos marginais. Esta classificação permitiu ao autor poder classificar algumas moreias, que em caso contrário não teriam classificação possível.



Figura 26 - Complexo Morénico marginal do Vale do Conde (Vieira, 2004).

Coberturas Morénicas, Figura 27: como o próprio nome indica, as coberturas morénicas não são mais que detritos acumulados continuamente ou com relativo espaçamento sem formar uma crista e que não se encontra numa margem do glaciar. O processo de génese que mais contribuiu para estas acumulações foi o de fusão glaciária e podemos encontrar este tipo de moreias no fundo dos vales glaciários e nas áreas baixas do planalto ocidental.



Figura 27 - Cobertura morénica descontínua no Planalto Ocidental (Vieira, 2004).

Till: são sedimentos *diamictons*, ou seja, independentemente em como são formados os *tills* são sedimentos não calibrados ou pouco calibrados, não consolidados e com granulometria pouca homogênea. Esses sedimentos são compostos por uma grande variedade de tamanho de grão tem geralmente blocos de média e grande dimensão envoltos de uma matriz de grão fino, por vezes argiloso (Elorza, 2008).

A palavra *till* tem origem escocesa e era utilizada para descrever um tipo de terreno grosseiro e endurecido (Vieira, 2004) porém esta palavra foi “importada” e transformada por geólogos e autores científicos com o significado de “um sedimento transportado e depositado pelo gelo glaciário, ou a partir dele, com pouca ou nenhuma triagem pela água” (Vieira, 2004).

Os *tills* como o que acontece com as moreias têm diversas classificações. Classificações que dependem, principalmente do tipo da gênese de criação que tiveram, nomeadamente: alojamento, fusão, sublimação e deformação subglaciária.

- *Till* de alojamento: acontece quando o gelo não consegue movimentar mais a partícula no leito glaciário, ou seja, quando a força de atrito entre a partícula e o leito é superior à força de movimento imposta pelo gelo.

- *Till* de fusão: este tipo de *till* consiste na libertação direta do sedimento devido a fusão do gelo. O glaciário não terá movimento para que este *till* possa ser criado, sendo que esta característica permite que este tipo de depósito retenha algumas características presentes no gelo do glaciário.

- *Till* de sublimação: é um *till* característico de regiões muito frias e áridas onde o gelo passa diretamente para o estado de vapor de água, o que vai fazer com que haja uma libertação lenta dos sedimentos.

- *Till* de deformação: com a deformação do glaciário vai existir uma incorporação dos sedimentos num nível subglaciário deformável (Vieira, 2004) e quando esta deformação é intensa o sedimento resultante é homogêneo desaparecendo todas as estruturas originais. Todos estes tipos de *tills* pertencem ao grupo de *tills* primários, ou seja, são depósitos que se formam diretamente a partir do gelo do glaciário.

Por sua vez, os *tills* secundários são formados por ressedimentações em ambiente glaciário de detritos libertados do glaciário, ou da ressedimentação de *till* pré-existente (Vieira, 2004). Neste grupo temos *tills* como o *till* de fluxo, *till* subglaciário e *tills* supraglaciários.

Mais uma vez recorrendo à obra de Gonçalo Vieira, podemos observar que o autor identifica os principais afloramentos *tills* presentes na Estrela, Figura 28.

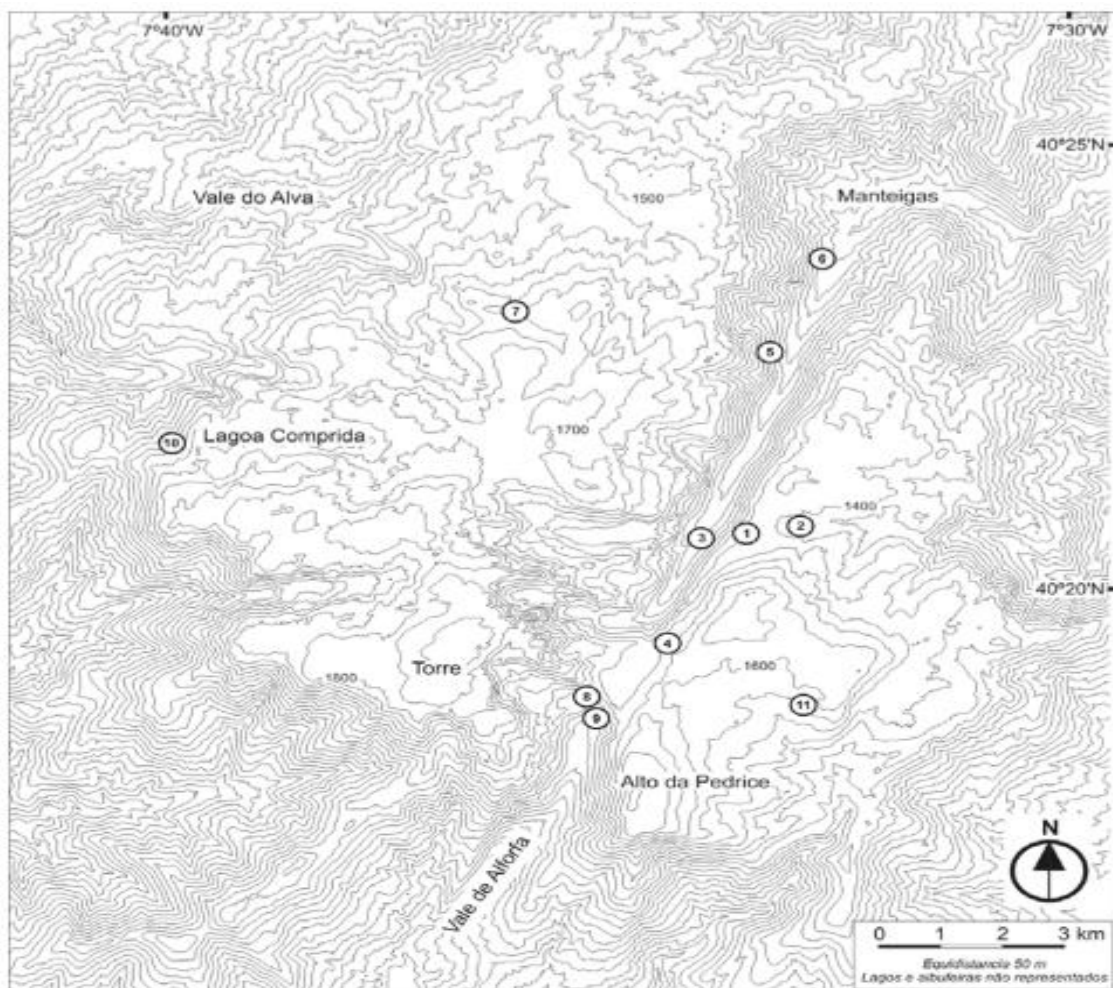


Figura 28 - Principais afloramentos *tills* na Serra da Estrela. 1 - Estradão inferior Lagoa Seca; 2-Vidoeiro; 3 - Espinhaço de Cão; 4 - NSA; 5 - Vertente ocidental Vale do Zêzere; 6 - Manteigas INATEL; 7 - Cerro Rebolado; 8/9 - Estreda Vale de Alforfa; 10 - Centro do Poio; 11 - Penhas da Saúde; (Vieira, 2004)



Figura 29 - Aspeto geral do *till* do estradão inferior da Lagoa Seca (Vieira, 2004).

Depósito Fluvioglaciário: Estes depósitos, ao contrário de todos os outros apresentados nesta dissertação, não foram provocados diretamente pelo gelo mas sim pela água em estado líquido que veio pela consequência da fusão do gelo.

Estas águas provenientes do degelo são capazes de transportar uma grande quantidade de sedimentos, tanto à superfície como junto ao leito produzindo um elevado poder abrasivo. Obtendo frequentemente velocidades elevadas na ordem de 8-15 m/s (Elorza, 2008).

Em registos de glaciares na Noruega a água glaciária alcançou valores de 3.800mg/l de sedimentos transportados à superfície, sendo que os transportados junto ao leito o valor pode ser superior em 25% (Elorza, 2008).

A maioria dos sedimentos fluvioglaciários antevê de sedimentos glaciares, como os *tills* e as moreias (Elorza, 2008). Estes depósitos glaciares sofreram uma refração originando depósitos fluvioglaciários.

O mecanismo de transporte e sedimentação são idênticos aos outros meios fluviais, originando frequentemente dunas e estratificação cruzada com areias e gravilha (Elorza, 2008).

Estes sedimentos são formados por uma granulometria extremamente heterogênea, sendo que pode variar entre calhaus que podem atingir alguns centímetros (Vieira, 2004) até pequenas partículas sedimentares de tamanho de areias. Uma das características que melhor diferenciam estes depósitos é que devido a sua origem fluvial as suas partículas tem formas

sub-rolados, como um seixo do rio independentemente da sua dimensão, e não formas angulosas como podemos encontrar noutros tipos de depósitos, como pode ser visto na Figura 31.

As partículas mais pequenas, como as argilas, sofrem um maior transporte em relação ao ponto de degelo do glaciário, em relação às partículas de maior dimensão (Elorza, 2008).

Suzanne Daveau (Daveau, 1971) deu particular atenção a estes depósitos afirmando que são um dos vestígios mais claros da glaciação ocorrida na Estrela.

Podemos encontrar depósitos deste tipo em alguns vales da serra da Estrela sendo que os mais importantes são os de Várzea do Castro, Manteigas, Covais, Mini-hídrica do Alto Vale do Zêzere, Lagoa Seca e Unhais da Serra. Aliás, como Vieira idêntica no seguinte mapa publicado na sua tese de doutoramento, Figura 30.

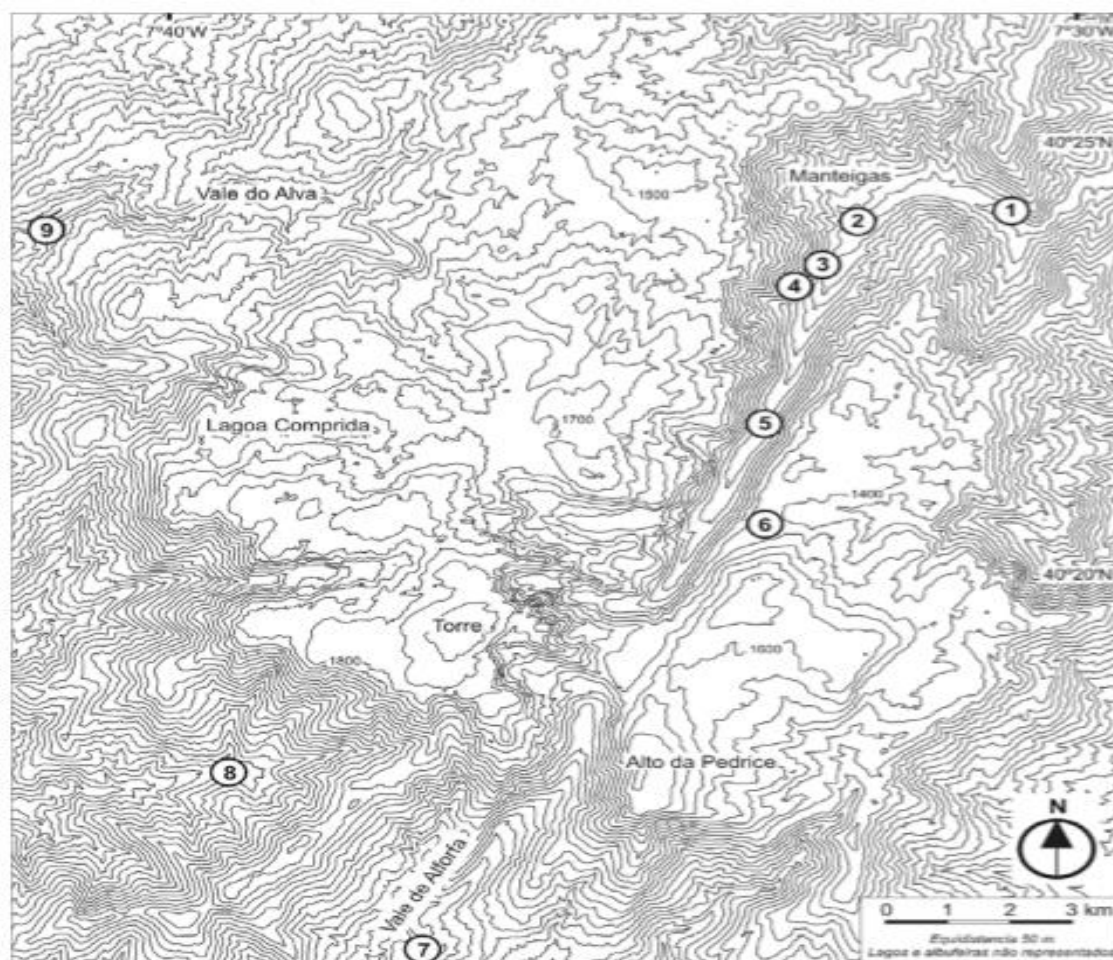


Figura 30 - Localização Depósitos Fluvioglaciários na Serra da Estrela; 1 - Várzea do Castro; 2 - Ponte Santo António, Manteigas; 3 - INATEL, Manteigas; 4 - Covais; 5 - Mini-hídrica Alto Vale do Zêzere; 6 - Lagoa Seca; 7 - Área Unhais da Serra; 8 - Vale de Alvoco; 9 - Senhora do Desterro. (Vieira, 2004)



Figura 31 - Aspeto de um Depósito Fluvioglaciário, Ponte de Santo António, Manteigas (Vieira, 2004).

2.8 - Dinâmica Atual

Com o degelo dos glaciares na serra da Estrela toda a montanha sofreu uma evolução e uma adaptação de um clima glaciário, húmido e frio para um clima mais moderado e mais temperado.

Atualmente a serra da Estrela tem um clima mediterrânico (Mora, 2010) com verões quentes e secos e invernos frios e húmidos. O período de chuva acontece entre Outubro a Maio com uma precipitação anual de 2.500 mm nas partes mais altas da montanha (Mora, 2010). Tendo uma temperatura média anual de 7°C acima dos 1400m e no planalto superior de apenas 4°C (Vieira, 2004) a neve não é uma constante na serra da Estrela, sendo que em termos relativos apenas neva entre 40 até 50 dias por ano em altitudes compreendidas entre os 1400 e os 1600m (Mora, 2010), para altitudes mais elevadas não existem dados que permitem uma análise representativa. Este manto de neve persiste apenas durante algumas semanas do ano especialmente abaixo dos 1700m.

Consequentemente encontra-se uma paisagem completamente diferente na Estrela de há 20 mil anos atrás na UMGSE, como se encontra representado na Figura 32, a neve e o gelo do glaciário deu lugar a vales e planaltos cobertos de vegetação rasteira, como arbustos e erva, e esporadicamente floresta em algumas zonas da serra. Nas partes de maior altitude é predominante as zonas de solo nu, desprovido de qualquer vegetação. Muitas convexidades

criadas pelo glaciar deram lugar a lagos naturais e pela influência humana apareceram algumas barragens.

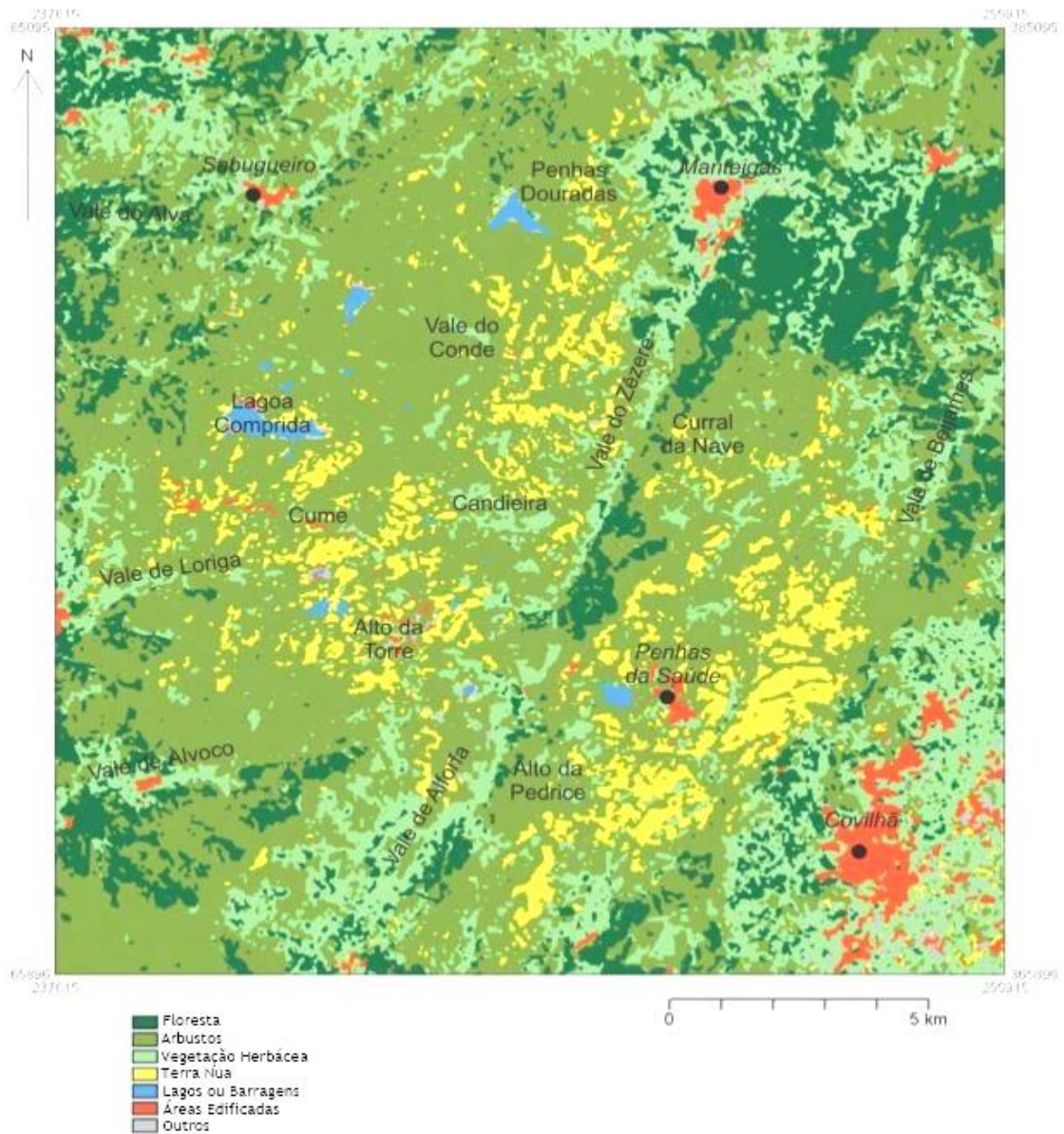


Figura 32 - Mapa do tipo de cobertura do solo na Serra da Estrela (Mora, 2010).

2.8.1 - Descrição do clima atual da Estrela

Existiu uma transformação extrema do clima da serra da Estrela. De um passado frio, húmido e glaciar para um presente com um clima mais temperado, seco no verão e húmido no inverno, típico de um clima mediterrânico com algumas características oceânicas (Vieira, 2004) devido à sua relativa proximidade com o oceano Atlântico.

O verão serrano é seco e quente, onde as temperaturas são sempre positivas e não existe congelação tanto superficial como em profundidade. Por vezes pode acontecer períodos de precipitação em forma de chuva moderada onde o fator de insolação desaparece.

Com o outono as temperaturas baixam, chegando a acontecer períodos de gelo-degelo superficial (Vieira, 2004). Estes regimes de gelo-degelo acontecem principalmente nas regiões de maior altitude sendo que as partes mais baixas ainda não apresentam processos de congelação. Em dias de precipitação pode acontecer a queda de neve nos pontos mais altos embora em altitudes inferiores prevaleça a situação relatada no verão mas com temperaturas inferiores. Com a chegada do inverno e os meses mais frios a cota onde a precipitação pode ser em forma de neve vai descendo para altitudes inferiores. Mas, sendo um clima muito irregular, esta cota pode oscilar caso aconteça períodos mais quentes. Por essa razão, a caracterização do clima neste período do ano é deveras complexa, podendo acontecer um dos dois seguintes casos: áreas altas cobertas de neve e outra onde a serra está desprovida de neve (Vieira, 2004).

Na estação mais fria acontece uma irregularidade climática que torna complexa a sua previsão (Mora, 2010). O inverno pode ter dias secos, sem neve e quente onde se encontra uma situação climática como a do verão sem congelação superficial ou em profundidade. Por outro lado, se a situação for fria e seca pode acontecer a congelação superficial e subsuperficial dependendo da altitude (Vieira, 2004). Em períodos temporais mais frios e húmidos pode acontecer a precipitação em forma de neve nas altitudes mais elevadas e em forma de chuva nas inferiores, como relatado no outono. A diferença é que no inverno, por norma, as temperaturas são mais baixas facilitando a persistência e a acumulação das neves nos planaltos de maior altitude. Se as condições forem favoráveis acontecerá um contraste das partes altas cobertas de neve e as de menor altitude sem congelação, situação que ocorre com frequência e que são muito propícias à segregação de gelo à superfície do solo (Vieira, 2004).

Por último, a primavera tem condições climáticas muito semelhantes ao outono (Mora, 2010). A principal diferença é que o solo em profundidade encontra-se mais frio, uma herança dos meses frios do inverno (Vieira, 2004). Sendo que, por consequência, vai existir um fluxo do calor da superfície para o interior do solo podendo favorecer períodos de congelação superficial do solo, mas tal está profundamente relacionado com as condições meteorológicas presentes a cada dia.

2.8.2 - Dinâmica geomorfológica atual

Os elementos que influenciam a geomorfologia atual presente na serra da Estrela são: o relevo da montanha, as heranças glaciares, o clima atual, a vegetação que cobre a superfície e os fatores antrópicos (Vieira, 2004).

Infelizmente não existe um conhecimento aprofundado e homogêneo de todos estes fatores. Tendo a característica de uma montanha de blocos (Vieira, 2004) o relevo é caracterizado por planaltos, vales e vertentes muito inclinados. Os planaltos ocupam uma área considerada da montanha e encontram-se fundamentalmente a uma altitude superior a 1400m e vão progredindo até ao topo. Estas planícies aparecem em forma de degraus e anexadas a eles aparecem vertentes com inclinações elevadas. Esta dualidade de energias de relevo tem um contributo muito expressivo na dinâmica atual.

Uma das características dos vales da Estrela é o seu passado glacial, onde o gelo moldou a sua forma. Com o desaparecimento do gelo muitas das moreias laterais que existiam instabilizaram-se e colapsaram em direção ao centro do vale. Criando assim vertentes morênicas e cones de detritos (Vieira, 2004). Essas formas geomorfológicas são de fácil observação no vale do Zêzere e Manteigas (Vieira, 2004).

Esta instabilidade dos taludes e vertentes ainda hoje acontece, devido a uma nova realidade presente no clima da serra. Sendo que com o desaparecimento do gelo a chuva e o vento passaram a impor uma nova realidade nas vertentes, aliando os efeitos antrópicos e a uma sismicidade de pequena magnitude mas frequente ainda existem com alguma frequência deslizamentos de rocha e escoada de detritos.

A precipitação anual é muito elevada, podendo superar os 2500mm (Mora, 2010). Esta precipitação é principalmente em forma de chuva podendo cair de forma muito intensa, o que origina um escoamento e uma lavagem superficial muito elevada. (Vieira, 2004) O vento também é contante, principalmente no outono e inverno e quando combinado com a chuva origina uma ação do *rainsplash*-saltação (Vieira, 2004). Esse efeito é de tal ordem poderoso que origina um movimento geral da fração arenosa grosseira e dos grãos de “sudoeste para noroeste nos planaltos originando microformas particulares” (Vieira, 2004).

A neve e o frio também têm um contributo importante na dinâmica atual da serra da Estrela. A neve tem um caráter irregular na maior parte da serra, sendo sazonal no Alto da Torre. Sendo que essa sazonalidade não impeça que em pleno inverno o coberto de neve não possa desaparecer. Os planaltos têm uma grande capacidade de acumular grandes quantidades de neve, esta característica de poder haver diversos pontos temporais de fusão ao longo do ano origina fenómenos de erosão hídrica nas vertentes e erosão fluvial com o aumento muito exponencial das ribeiras e linhas de água (Vieira, 2004).

Mesmo assim, em zonas de neves um pouco mais perenes, zonas de maior altitude, os processos de nivação e nivo-eólicos podem originar uma erosão das rochas mais expostas (Vieira, 2004). O frio e a temperatura do solo são um fator erosivo de importante consideração, uma vez que não existem estudos suficientes para determinar um patamar preciso onde acontece a ação da gelifracção esta acontece com maior intensidade a altitudes superiores a 1700m e em vertentes direcionadas a norte (Vieira, 2004).

Por sua vez, os processos criogénicos ligados a processos de solifluxão, acontecimentos de gelo-degelo vão perdendo expressão com a diminuição da altitude. A congelação do solo em profundidade só acontece em altitudes superiores a 1800m (Vieira, 2004).

Os ciclos de congelação-fusão diários do solo são frequentes no inverno até 1600m, em altitudes superiores acontecem na primavera e outono (Vieira, 2004). Uma vez que o manto de neve do inverno funciona nessas altitudes como um homogeneizador da temperatura desses solos. Estes ciclos fomentam acontecimentos como a segregação de gelo à superfície com elevado poder erosivo e a fissuração de rochas.

O manto vegetal é muito influenciado pela altitude e pelo Homem, manto esse que contribui para a estabilização das vertentes (Mora, 2010).

2.9 - Geologia e Geotecnia da Serra da Estrela

2.9.1 - Geologia

As propriedades geológicas de um solo é um dos fatores que mais intervêm para uma determinada evolução da paisagem (Migon & Vieira, 2014).

O solo do maciço central da serra da Estrela são maioritariamente graníticos onde predominam os granitos com moscovite e biotite de grão grosseiro porfiróide (Vieira, 2004), nas zonas marginais do maciço central prevalecem formações de metassedimentos (Migon & Vieira, 2014). As formações graníticas da Estrela têm idades compreendidas entre os 340 a 280 milhões de anos (Almeida, 2005) e, em modo geral, dividem-se em granodioritos, granitos de duas micas, pórfiros graníticos e granitos moscovíticos (Vieira, 2004).

Neiva, em 1987, (Vieira, 2004) afirma que essa diversidade acontece devido a uma cristalização fracionada *insitu* de magmas parentais granodioríticos. Por consequência a variedade moscovítica está associada à diferenciação por difusão termogravítica. O magma que originou estes granitos concentrou-se a 720°C (Vieira, 2004) e com o seu arrefecimento progressivo foram formandos os diferentes tipos de granitos. Ao alcançar os 690°C formaram-se os granitos e pórfiros graníticos. Estes só obtiveram uma cristalização completa no intervalo de temperaturas entre os 520°C a 400°C. No patamar de temperaturas seguintes, 400-350°C e 260-230°C, aconteceu uma alteração hidrotermal em granitos de grão grosseiro o que originou as variedades róseas e avermelhadas, por último, com a fusão parcial de metassedimentos apareceram as massas de granodioritos.

Depósitos de Cobertura: As informações publicadas sobre a cartografia dos depósitos de cobertura da serra da Estrela resumem-se a apenas dois trabalhos. A carta geológica à escala 1:50000 do Laboratório Nacional de Energia e Geologia, LNEG, nas folhas 20-B, 21-A, 17-D e 18-

C, respetivamente Covilhã, Belmonte, Manteigas e Guarda. A Carta Geológica simplificada do P.N.S.E. publicada em 1999 por Ferreira e Vieira, Figura 33.

Embora a última tem como nome Carta Geológica simplificada será essa apresentada nesta dissertação uma vez que contem uma descrição detalhada dos tipos de granitos presentes na Estrela.

As formações de metassedimentos marginais, também conhecidas como Grupo das Beiras (Ferreira & Vieira, 1999), compreende uma série monótona de alternâncias de xistos e grauvaques, correspondentes a sedimentos depositados em meio marinho, na região do talude continental, sendo designados frequentemente por turbiditos. Este mar terá existido durante o Pré-câmbrico e Câmbrico (Almeida, 2005).

O Grupo das Beiras pode ser dividido em duas formações distintas. Formação de Malpica do Tejo e Formação Rosmaninhal (Vieira, 2004).

A Formação de Malpica do Tejo é formada essencialmente por filitos embora com alguns níveis de metagrauvaques. Já a Formação Rosmaninhal é constituída essencialmente por xistos com raras intercalações de grauvaques (Ferreira & Vieira, 1999).

Estas formações ocorrem estratigraficamente e em continuidade uma com a outra, estando assinalado na cartografia do LNEG e na Carta Geológica simplificada do P.N.S.E., Figura 33, no eixo de grandes dobramentos sinclinais, como é o caso das faixas Nave da Cruz-Contenda e Seia-Vila Chã prolongando-se no contacto com o granito, no rebordo Sul da serra da Estrela. A Nordeste, estabelece o contacto com os granitos.

Ocupando toda a encosta do Norte da serra da Estrela encontra-se o Complexo Gnaiss-Migmatítico (Almeida, 2005) constituído por um conjunto de rochas de identificação por vezes um pouco difícil, em que parece estabelecer uma transição entre rochas de composição xistenta e outras com especto de gnaiss e até granitos (Ferreira & Vieira, 1999).

Os granitóides hercínicos que ocorrem nesta zona resultam de materiais de composição crustal, quer sedimentares, resultantes de fusão de rochas, quer ígneas, podendo incluir pequenas porções de manto superior, que ascenderam na crosta, até profundidades da ordem da dezena de quilómetros, tendo aí arrefecido e cristalizado (Ferreira & Vieira, 1999).

Alguns depósitos de aluviões estão presentes ao longo dos vales, de rios e ribeiras, mas em quantidade bastante reduzida tanto na sua extensão ou em espessura (Almeida, 2005). Estes depósitos são formados por areias e cascalheiras (Almeida, 2005) resultantes da erosão das rochas presentes na região.

Depósitos glaciares e fluvioglaciários resultantes da UMGSE podem ser encontrados um pouco por toda a serra. Sendo que devido ao forte poder de transporte do gelo tem características muito heterométricas e de granulometria muito variável (Vieira, 2004). Podendo ir desde partículas muito finas até blocos métricos (Almeida, 2005).

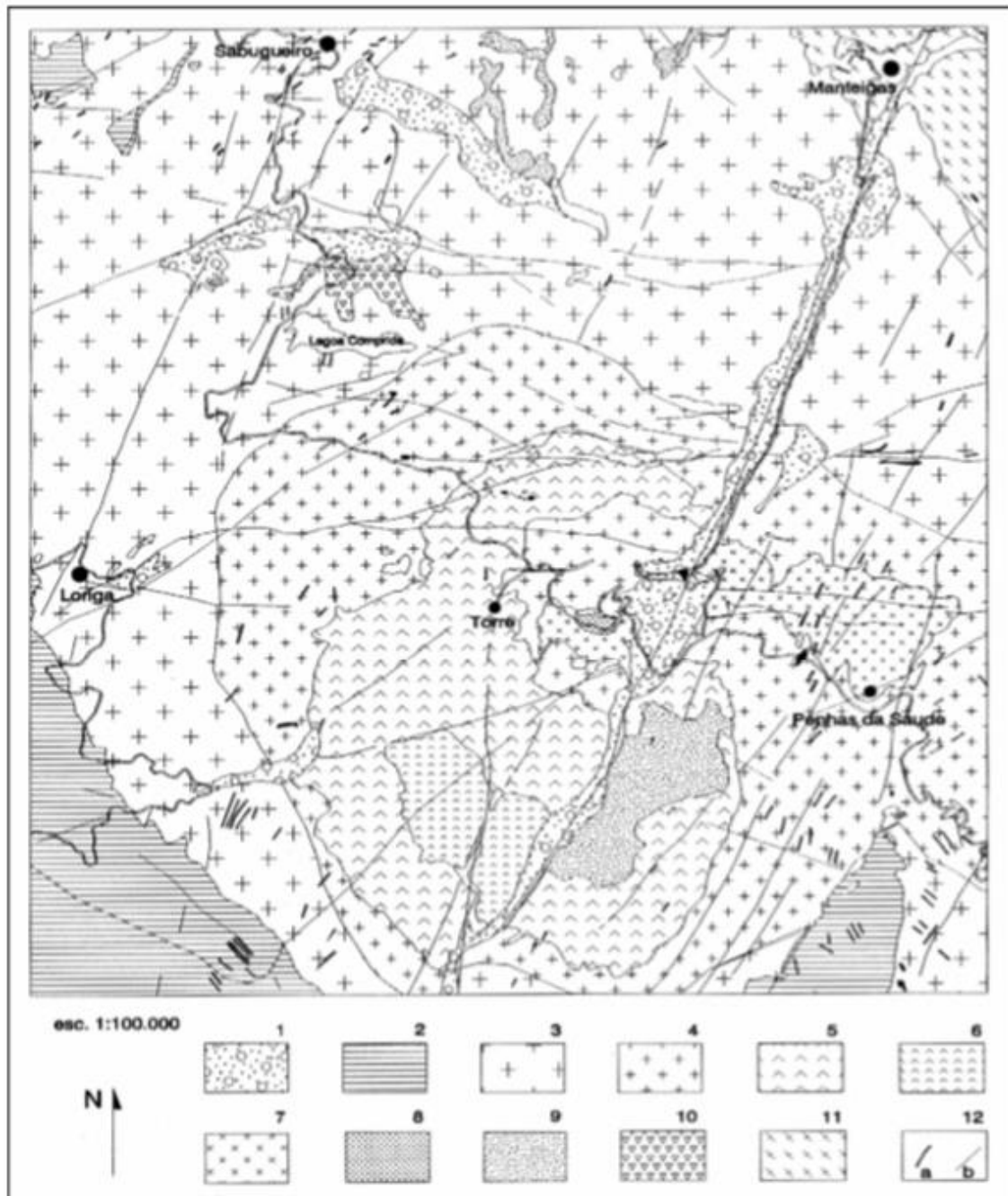


Figura 33 - Geologia simplificada da Serra da Estrela. 1-Depósitos glaciários e fluvioglaciários; 2 - Metassedimentos do Complexo Xistograuváquico; 3 - granito de duas micas, porfiróide, de grão grosseiro (Granito de Seia); 4 - granito de duas micas, porfiróide, de grão médio (Granito da Covilhã); 5 - granito moscovítico de grão médio a grosseiro (Granito da Estrela); 6 - granito de duas micas de grão fino (Granito do Cabeço da Bica, incluído sob a designação de Granito da Pedrice); 7 - granito de duas micas de grão médio (Granito do Curral do Vento); 8 - granito orbicular de duas micas, de grão médio (Granito do Curral do Vento - orbicular); 9 - granito de duas micas, de grão fino (Granito da Pedrice); 10 - granítico biotítico, de grão fino (Granito do Covão do Curral); 11 - granito biotítico porfiróide, de grão médio (Granito de Manteigas); 12 - a) rochas filoneanas; b) falhas; (Almeida, 2005) (Vieira, 2004)

As diferentes variações de granitos são denominados consoante o seu local de afloramento. Segue-se uma descrição de alguns dos tipos de granitos que podem ser encontrados na Estrela:

- Granito de Celorico da Beira: tendo uma área de afloração não significativa, é um granito de duas micas, porfiróide, de grão médio. (Almeida, 2005) Tem como característica um aspeto de caos de blocos que a sua alteração gera (Almeida, 2005), sendo de cor cinza e homogeneidade granulométrica. A sua aplicação frequente na construção como rocha ornamental.

- Granito da Estrela: granito moscovítico de grão médio, com alguns sectores de grão grosseiro e de tendência porfiróide (Vieira, 2004). Tendo carácter essencialmente alcalino podendo apresentar também uma tendência calco-alcalina (Vieira, 2004). Em termos territoriais ocupa a superfície do Alto da Torre e as vertentes Leste e Oeste da Ribeira da Alforfa até Unhais da Serra (Almeida, 2005) apresentando uma área em forma de ferradura (Vieira, 2004) estando rodeado por granito da Covilhã.

Tem como minerais essenciais: quartzo, albite, oligóclase, microclina-pertite, pertite, microclina e moscovite (Vieira, 2004).

- Granito da Pedrice: granito de duas micas de grão fino (Vieira, 2004) podendo ter tendência porfiróide (Almeida, 2005). Tendo uma granulometria fina e uniforme (Almeida, 2005) é muito utilizado na região para trabalhos de cantaria em fachadas. Pode ser encontrado desde a central hidroelétrica de Pedra Figueira até ao Alto da Pedrice (Almeida, 2005).

Tem como minerais essenciais: quartzo, albite, albite-oligóclase, oligóclase, microclina, microclina-pertite, micropertite, biotite e moscovite (Vieira, 2004).

- Granito da Covilhã: granito de duas micas porfiróide de grão médio (Vieira, 2004). Pode ser encontrado na região de Vila Cortês da Serra, Salgueirais e Lageosa do Mondego e também na área onde se situa a cidade da Covilhã na encosta SE do Parque Natural da Serra da Estrela.

Tem como minerais essenciais: quartzo, microclina-pertite, oligóclase, albite, microclina, micropertite, oligóclase-andesina, biotite e moscovite (Vieira, 2004).

- Granito de Curral do Vento: granito de duas micas de grão médio de tendência porfiróide (Vieira, 2004) com megacristais muito espaçados (Almeida, 2005). Encontra-se distribuído desde a imagem da Senhora da Boa Estrela até a crista do Espinhaço do Cão indo até às Penhas da Saúde. Sendo um granito que entra na família dos granitos tipos *Rapakivi*. (Almeida, 2005) Ao oposto norte de Cântaro Raso aparece neste tipo de granito uma mancha de granito orbicular (Vieira, 2004).

Tem como minerais essenciais: o quartzo, albite, oligóclase, microclina-pertite, microclina, biotite e moscovite (Vieira, 2004).

- Granito de Seia: granito porfiróide de duas micas de grão grosseiro e fenocristais de contornos mal definidos, (Vieira, 2004) sem uma orientação clara no seio da matriz (Ferreira & Vieira, 1999). Sendo que o seu desenvolvimento acontece em toda a região SE entre Unhais da Serra e Seia, podendo ser encontrado também a NE para a região de Gouveia, surgindo também em áreas da cidade da Guarda.

Em locais, como Castro de S. Romão, este granito forma mega blocos que se concentram na base da encosta formando caos de blocos (Almeida, 2005).

- Granito de Manteigas: granito biotítico de grão médio, não porfiróide, com encraves melanocráticas e com composição calco-alcalina com tendência granodiorítica (Vieira, 2004). Tendo a textura e a composição bastante uniforme (Almeida, 2005) e aflora junto da cidade de Manteigas, entre o Chão das Barcas e o Cabeço do Moreira (Almeida, 2005).

- Granito do Covão do Curral: granito biotítico de grão fino de tendência porfiróide onde na sua matriz surgem pequenos cristais de quartzo globular, rodeados de biotite (Vieira, 2004).

Encontra-se a norte da Lagoa Comprida.

- Massa e Filões: são de extrema importância porque geralmente são mais resistentes que a rocha granítica que os envolve, o que através de processos de gelifracção podem originar blocos angulosos em algumas vertentes (Vieira, 2004). Estas massas e filões encontram-se mais facilmente em granitos da Covilhã e Seia e são massas e filões aplíticos, aplitopegmatíticos e pegmatíticos. (Almeida, 2005) Também são frequentes filões de quartzo, e em alguns locais filões básicos compostos por doleritos (Vieira, 2004).

2.9.2 - Geotecnia

Com o evoluir da complexidade das grandes obras de engenharia tanto superficiais como subterrâneas torna-se imperativo um conhecimento profundo das propriedades geológicas e geotécnicas do solo. Para tal, uma relação entre a geologia e engenharia é necessária para uma evolução sustentável e segura das nossas edificações.

Os estudos geotécnicos nos solos da serra da Estrela são escassos e insuficientes, havendo apenas pequenas caracterizações pontuais em algumas cidades, como a caracterização dos solos do centro urbano Covilhã realizado por Cavaleiro em 2001 (Cavaleiro, 2001).

Os resultados desta falta de conhecimento são as inúmeras derrocadas e deslizamentos que acontecem todos os anos, como se pode observar nas estradas do vale do Zêzere e no vale da ribeira da Alforfa, Figura 34. Estes fenómenos acontecem devido à morfologia característica da

serra (Almeida, 2005) onde predominam taludes e vertentes de grandes declives que ainda percorrem o seu processo natural de estabilização mas que foram acelerados devido a processos antrópicos.

Os solos são predominantemente de granulometria com pouca percentagem de finos e pouco evoluídos, sendo que estão num ambiente de elevada energia onde a erosão e transporte são constantes (Pissarra e Rogado. 1964; *in* Almeida, 2005) podendo esporadicamente e localmente ser mais espessos nas depressões de génese glaciárias (Vieira, 2004).

As massas rochosas da serra encontram-se num ambiente de alteração e fracturação (Almeida, 2005). Devido ao clima da serra onde acontecem inúmeros ciclos de gelo-degelo, onde os fatores erosivos criogénicos e plúvio-eólicos são muito severos e de grande intensidade as massas rochosas estão em condições de grande instabilidade sendo relativamente comum deslocamentos e quedas de blocos rochosos (Almeida, 2005) de volumes consideráveis e de grandes dimensões, Figura 34.

Até aos dias de hoje ainda não foram registadas vítimas humanas. Mas com o aumento exponencial dos grandes centros urbanos e uma atividade turística cada vez mais intensa o futuro muito próximo pode gerar situações de risco geológico iminente e com consequências além das materiais.

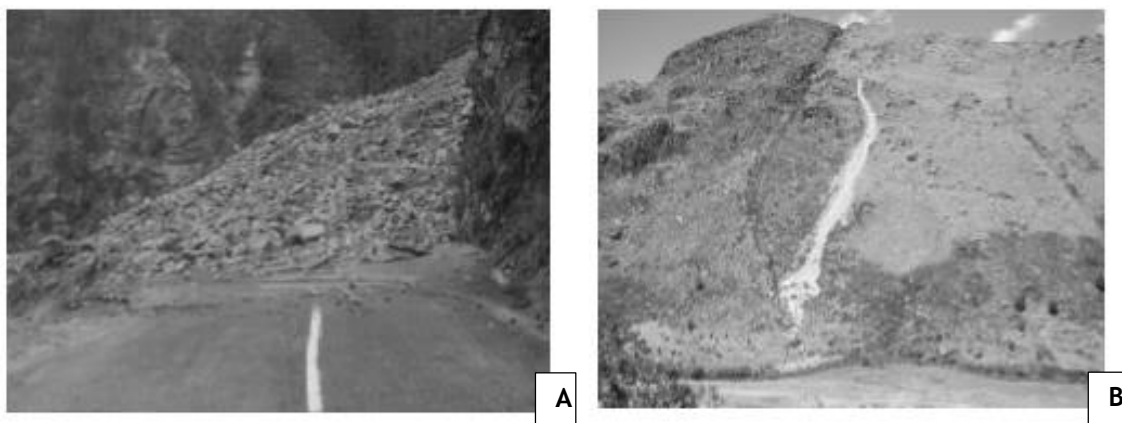


Figura 34 - A - Queda de Blocos EN 338; B - Cicatriz de derrocada a Norte do Vale da Candeeira - Vale de Manteigas (Almeida, 2005).

As grandes obras realizadas em meados do século XX nenhuma teve estudos geotécnicos. Sendo que no total das obras executadas apenas uma pequena quantidade as teve.

No capítulo das obras que não mereceram estudos geotécnicos encontram-se: a barragem da Lagoa Comprida iniciada em 1912 e finalizada em 1934 com 15 metros de altura, posteriormente sofreu uma intervenção entre 1964 a 1966 obtendo a altura atual de 28 metros, a barragem do Covão de Ferro iniciada em 1935 e finalizada em 1956 com uma altura de 32.50 metros, a

barragem do Vale do Rossim onde a primeira fase aconteceu entre 1945 a 1947 tendo sido alteada numa segunda fase no intervalo de 1954 a 1955 atingindo os 27 metros de altura. Além destas obras hidráulicas todas as vias de comunicação e tuneis não foram realizados estudos geotécnicos.

Por sua vez, no capítulo de obras onde foi elaborado estudos geotécnicos temos:

- Barragem do Caldeirão: a barragem situa-se no distrito da Guarda e foi iniciada a sua construção em 1988 e concluída em 1993 com 39 metros de altura. Sendo que o seu estudo geotécnico muito mais antigo de 1967 “Estudo das fundações da Barragem do Caldeirão” (Almeida, 2005).

Os granitos são descritos como sendo monzoníticos, de duas micas biotíticos e granitos porfiróide de grão grosseiro a médio e granitos não porfiróides de grão grosseiro a médio. (Almeida, 2005) O diaclasamento aparece de três formas N25E, N60W e N15E.

O módulo de elasticidade foi determinado em $300000 \text{ kgf.cm}^{-2}$ e o coeficiente de Poisson em 0.2. A resistência à compressão uniaxial surgem entre os 859 kgf.cm^{-2} e os 1678 kgf.cm^{-2} . A densidade rodam os 2.63 g.cm^{-3} e o módulo de elasticidade secante é indicado na ordem dos 10^3 kg.cm^{-2} .

- Barragem do Lagoacho: obra hidroelétrica situada nos concelhos de Guarda e Gouveia, finalizada em 1993 e com uma altura de 38 metros. Nos ensaios geotécnicos são descritos dois tipos de granitos, um granito branco e um granito amarelo, com resistência à compressão uniaxial entre 60 a 63 MPa, um coeficiente de Poisson na ordem de 0.2 a 0.22 e módulos de elasticidade entre 0.045 e 0.11 GPa.

- Barragem da Lagoa Comprida: situada entre os concelhos de Seia e Guarda foi finalizada em 1966 e tem um altura de 29 metros.

Em 1988 Neiva realizou um estudo onea determina as diferentes famílias de diaclases e falhas do local e outras estruturas planares como filões (Almeida, 2005). Não sendo efetuados ensaios de características mecânicas são descritos os diferentes tipos litológicos presentes na região.

2.9.3 - Movimentos de Massa Característicos da serra da Estrela

Existem diversos fatores para acontecerem movimentos de massa. Os principais são sem dúvida os processos erosivos, e se a estes associamos o resultado da presença humana temos um efeito catalisador para futuros movimentos de vertentes e taludes.

Estes processos catalisadores são, por exemplo, a construção de vias de comunicação, os incêndios que destroem a vegetação e aterros ou escavações feitos sem planeamento ou conhecimento prévio das propriedades geotécnicas do solo.

Os solos glaciares, por norma, são solos muito heterogêneos com pouco nível de compactação. Estes solos são estáveis até ao momento em que o glaciar desaparece, assim que o mesmo desaparece estes solos são confrontados com uma dinâmica de elementos erosivos completamente diferentes e aliando a esse facto estarem muitas vezes em vertentes de elevada inclinação. Estes fatores fazem com que os solos passem de uma situação de estabilidade para instabilidade. Por consequência vão acontecer movimentos de massa, sendo o processo natural para voltar a estabilizar a vertente. As construções de infraestruturas humanas nestes solos, se não forem bem planeadas apenas irão acelerar o processo de movimentos de massa até que a vertente esteja estável. Este processo de estabilização vai ter um custo enorme nas infraestruturas e em casos extremos o custo pode ser não só monetário como humano.

Nos casos de estudo, temos diversos relatos e notícias publicadas nos *media* regional e nacional de acontecimentos de movimentos de massa, tanto no vale do Zêzere como no vale de Alforfa.

Existem vários tipos de movimentos com diferentes classificações, razões e perigosidade. Na região em estudo os mais usuais são:

- **Queda de blocos, Figura 35:** Acontecem normalmente em escarpas muito inclinadas resultando em quedas livres, deslizamentos ou rolamentos de blocos que se soltam a partir de zonas de fraqueza como diáclases, planos de fratura etc. Podem ser identificados pelo aparecimento de depósitos de sopé. A atividade humana pode ter um papel fundamental na formação deste tipo de acidentes, já que ao serem construídas estradas, aterros, escavações e outro tipo de infraestruturas na base do maciço este fica mais débil e portanto mais suscetível à ocorrência de movimentos de vertente por pequenos agravamentos das condições climáticas.



Figura 35 - Queda de blocos EN338.

- **Deslizamentos rotacionais ou Slumps, Figura 36:** Estes movimentos são em geral tão lentos que normalmente não provocam perdas de vidas humanas salvo quando são acelerados por agentes antrópicos. Estes movimentos ocorrem ao longo de superfícies de rotura em meios homogêneos e isotrópicos (Teixeira e Figueiredo, 2006), ou seja, em pontos onde o solo não apresenta variabilidade química e física. É necessário ter em consideração que esta condição é impossível de existir na natureza. Portanto um solo é considerado isotrópico quando a variabilidade física e química das suas características é pouco relevante. A cicatriz deste acidente traduz-se numa espécie de degrau côncavo que tem tendência à formação de pequenos lagos nas zonas superiores, o que incrementa o risco de movimentos futuros.



Figura 36 - Slump; Vale da Ribeira da Alforfa;

- **Avalanches detríticas, Figura 37:** Resultam do colapso total de uma vertente. Movimentam grande quantidade de rególito e rocha a grande velocidade. São a junção de vários tipos de movimentos, queda de blocos, deslizamentos e fluxos. Tendo em conta que englobam grande transporte de material, este tipo de movimento de massa são muitas vezes induzidos por sismos ou atividade vulcânica.



Figura 37 - Avalanche detríticas; Vale da Alforfa;

- **Fluxos aquosos, Figura 38:** Constituídos por solos ou rególitos saturados em água. Estes fluxos têm normalmente 20 a 40% de água, adquirindo muitas vezes comportamento torrencial. Por norma, são mais frequentes em invernos muito chuvosos que sucedem verões onde aconteceram grandes incêndios. Esta combinação de eventos potencializa o acontecimento de fluxos aquosos tanto em maior número como em maior escala.

Ao longo da Serra da Estrela é visível enumeras cicatrizes destes movimentos, bastando percorrer a estrada que liga Manteigas à Torre ou a estrada que liga a Unhais da Serra.



Figura 38 - Fluxo Aquoso; Vale do Zêzere;

2.10 - Estabilidade das Vertentes/Taludes

As vertentes ou taludes são uma área inclinada do terreno compreendido entre a base da vertente/talude e o interflúvio (linha de crista, parte superior).

Existem muitas forças que atuam na estabilidade das encostas e a soma destas forças resulta numa razão que é chamada de Fator de Segurança (FS) como mostra a Equação 1. Esse fator é resultado das forças que levam à rutura (T) do material e forças opostas a esse movimento (forças de resistência ao corte τ).

$$FS = \Sigma T / \Sigma T$$

(Equação 1)

Quando as forças que levam à rutura (T) são iguais as forças de resistência ao corte (τ), ou seja, $FS = 1$ a vertente está no limite da estabilidade, quando $FS < 1$ a vertente está instável e quando $FS > 1$ a encosta está estável. Quanto maiores os valores de FS, menores serão as possibilidades de rutura.

Existem nos solos tensões que influenciam na sua estabilidade, a totalidade das tensões é resultante da soma da tensão efetiva e da pressão neutra, Equação 2. Esses dois conceitos são muito importantes para entender os processos de estabilidade nas vertentes e taludes. A tensão efetiva é que controla toda a deformação e resistência da estrutura sólida dos solos, através do contacto entre os grãos do solo.

A pressão neutra acontece devido à presença de água intersticial nos solos.

$$\sigma = \rho + \mu$$

(Equação 2)

σ = Totalidade das Pressões Tensões Aplicadas ao Solo

ρ = Tensão Efetiva

μ = Pressão Neutra

2.10.1 - Resistência ao Corte

Os processos de movimentos gravitacionais de massa envolvem, por definição, uma superfície de ruptura (Perdomo, 2010). Esta pode ser definida como o local, onde em todos os seus pontos, a tensão de corte atinge o valor limite da resistência ao corte (Vargas, 1977).

A tensão de corte é determinada pelas variáveis peso (massa + gravidade) e geometria da vertente/talude.

A resistência ao corte é influenciada pelos parâmetros de fricção e coesão. A fricção é o atrito provocado pelo contacto entre duas partículas do solo, sendo mais forte quanto mais irregularidades e angulosos o grão for (Perdomo, 2010), pois quanto maior as irregularidades menor será a área de contato entre os grãos, sendo maior a tensão normal entre esses contatos. O atrito é diretamente proporcional à força normal, ou seja, o atrito vai ser maior quanto maior for o peso que se encontra em cima do ponto analisado.

A partir das forças aplicadas ao corpo de solo é possível obter o ângulo de atrito interno, que é o ângulo formado pela resultante das forças horizontais e verticais com a força normal (Perdomo, 2010).

A coesão no solo pode ser real ou aparente. A coesão real é controlada pela cimentação química das partículas ativas do solo, ou seja, a fração fina (argila e silte). A cimentação pode ser feita por carbonato, sílica, alumínio e ferro (Perdomo, 2010). A coesão aparente é definida pela ação eletrostática da água, essa coesão acontece devido à tensão capilar entre as moléculas de água e as partículas do solo, exercendo uma tensão entre elas que age de forma atrativa (sucção), mas quando o conteúdo de água aumenta esse efeito de sucção desaparece podendo provocar rupturas em alguns solos.

Para os fenômenos de ruptura existe uma equação que representa a resistência ao corte e que leva em consideração a coesão, a força normal e o ângulo de atrito interno, que é a Equação 3, de Coulomb-Mohr.

$$s = c + \sigma \cdot \tan \phi$$

(Equação 3)

s - resistência ao corte

c - coesão (kN/m²)

σ - Tensão Normal (kN/m²)

ϕ - ângulo de atrito interno

se o material não tem coesão (arenoso) a equação 3 pode ser modificada para a Equação 4:

$$s = \sigma \cdot \tan \phi$$

(Equação 4)

2.11 - Suscetibilidade e Risco

Todos os movimentos de massa em vertentes têm que ter em conta a área onde os mesmos acontecem, estando ligados a diferentes conceitos e classificações, tais como: evento, acidente, perigo, risco, suscetibilidade e vulnerabilidade entre outros (Perdomo, 2010).

- Evento: é quando o movimento de massa não acarreta consequências socioeconómicas.
- Acidente: é todo o evento que tem consequências socioeconómicas.
- Perigo: é a probabilidade de ocorrência de um acidente (perda de vida, ferimentos, danos socioeconómicos e/ou ambientais).
- Risco: expresso o grau de perdas esperadas resultantes do possível movimento de massa.
- Vulnerabilidade: é o conjunto de processos e condições resultantes de fatores físicos, sociais, económicos e ambientais que determinam quanto uma população ou elemento em risco estão suscetíveis ao impacto dos movimentos de massa perigosos.

Suscetibilidade indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e/ou induzidos em uma dada área, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência (Perdomo, 2010).

Risco é a relação entre a possibilidade de ocorrência de um dado processo ou fenómeno, e a magnitude de danos ou consequências sociais e/ou económicas sobre um dado elemento, grupo ou população. Quanto maior a vulnerabilidade maior o risco (Perdomo, 2010).

Outra informação importante a ser incorporada na avaliação de suscetibilidade a movimentos de massa refere-se à indicação sobre quais tipos de movimentos são esperados. O conhecimento da tipologia dos processos esperados é importante para fins de planeamento, uma vez que permite a adoção de técnicas e recursos tecnológicos adequados para legislar e limitar a implantação e a ocupação do território.

Através de uma análise cuidada e científica de todas as ocorrências registadas numa vertente é possível elaborar cartas de suscetibilidades e riscos. Estas cartas assinalam onde o risco e a suscetibilidade de acontecerem um movimento de massa são de maior probabilidade, sendo um parâmetro muito importante a ter em conta em qualquer projeto de engenharia civil.

Pereira na sua dissertação de mestrado elaborou as cartas de suscetibilidade e risco geológico dos vales da ribeira de Alforfa e do vale do Zêzere (Pereira, 2010). Para tal fez um levantamento de grande parte dos movimentos de vertentes e cicatrizes dos movimentos passados que foram

possíveis registar, procedendo á sua classificação. Uma vez obtido esse registo de atividade das vertentes estabeleceu uma comparação com os números de ocorrências e periodicidade com cartas hipsométricas, mapas de declives e níveis altimétricos de perigo.

O resultado fora a carta de suscetibilidade e risco do vale da ribeira de Alforfa, Figura 39, e a carta de suscetibilidade e risco do vale do Zêzere, Figura 41.

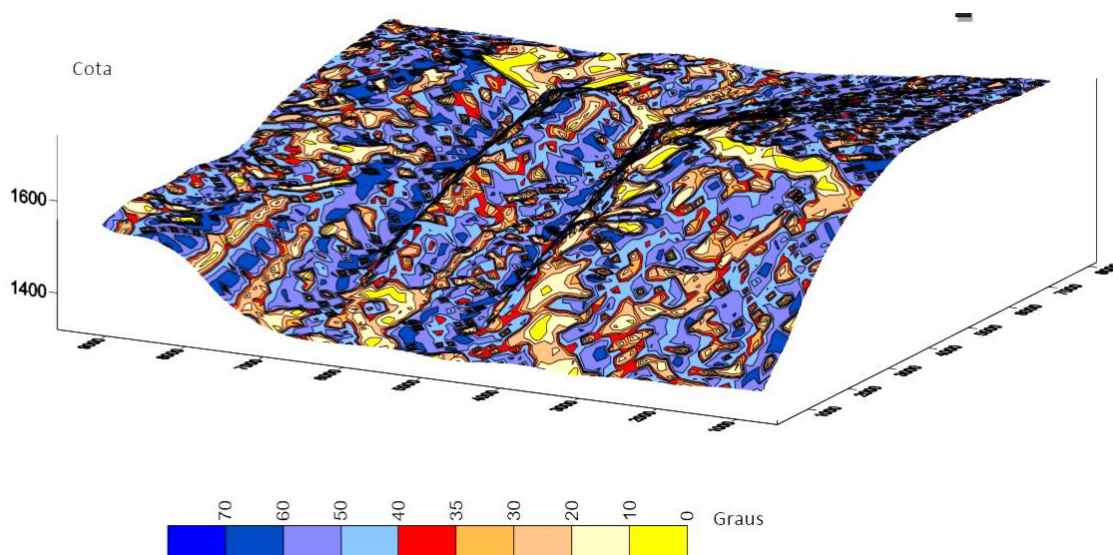


Figura 39 - Carta de Suscetibilidade e Risco do vale da ribeira de Alforfa (Pereira, 2010).

A escala de cores permite a distinção entre zonas de maior risco e suscetibilidade de menor. As cores frias representam áreas de maior declive e inclinação mais acentuadas que por sua vez têm maior suscetibilidade de gerarem movimentos de vertente, pelo contrário das cores mais quentes da escala. O vermelho é fator divisor entre uma zona de alto risco e suscetibilidade para uma de menor.

Como pode ser observado pela Carta as zonas de grande inclinação e declive predominam todo o vale, pintando-o praticamente todo em tons de azul. Isso demonstra um elevado grau de risco e suscetibilidade em todo o vale o que pode ser comprovado com uma simples travessia da estrada que liga a Nave de S. António a Unhais da Serra, visto que são inúmeros os avistamentos de queda de blocos e deslizamentos.

Para tentar prevenir que estes movimentos de massa nas vertentes do vale da ribeira de Alforfa destruam essa via de comunicação foram construídos muitos muros de gabiões por quase todo traçado da via, Figura 40. Mas sendo que a tentativa de estabilização da vertente com a aplicação dos muros tenha tido pouco sucesso, uma vez que os movimentos de vertente continuam a acontecer em grande número.



Figura 40 - Muro de Gabiões na estrada que liga a Nave de S. António a Unhais da Serra.

Perante esta situação não há muitas alternativas de solução que engenharia civil possa fornecer. Por muitos trabalhos de sustentação que sejam realizados, os eventos e acidentes desta natureza vão continuar a acontecer. Só o tempo fará que a vertente se adapte às novas condições em que se encontra.

Como acontece com o vale da ribeira da Alforfa, também o vale do Zêzere, Figura 41, é muito inclinado e declivoso. Mais uma vez, através da análise da Carta é possível observar uma divisão de risco e suscetibilidade entre os tons mais amarelos e os tons verdes. Onde mais uma vez a cor vermelha é a marcação do ângulo de talude natural que separa as zonas de maior riscos e suscetibilidades para menor.

É possível afirmar que todo o vale é de elevado risco e é possível ao longo de todo o percurso encontrar cicatrizes de movimentos recentes, quase todos reativados depois de invernos chuvosos principalmente se antecederem de verões onde aconteceram incêndios florestais.

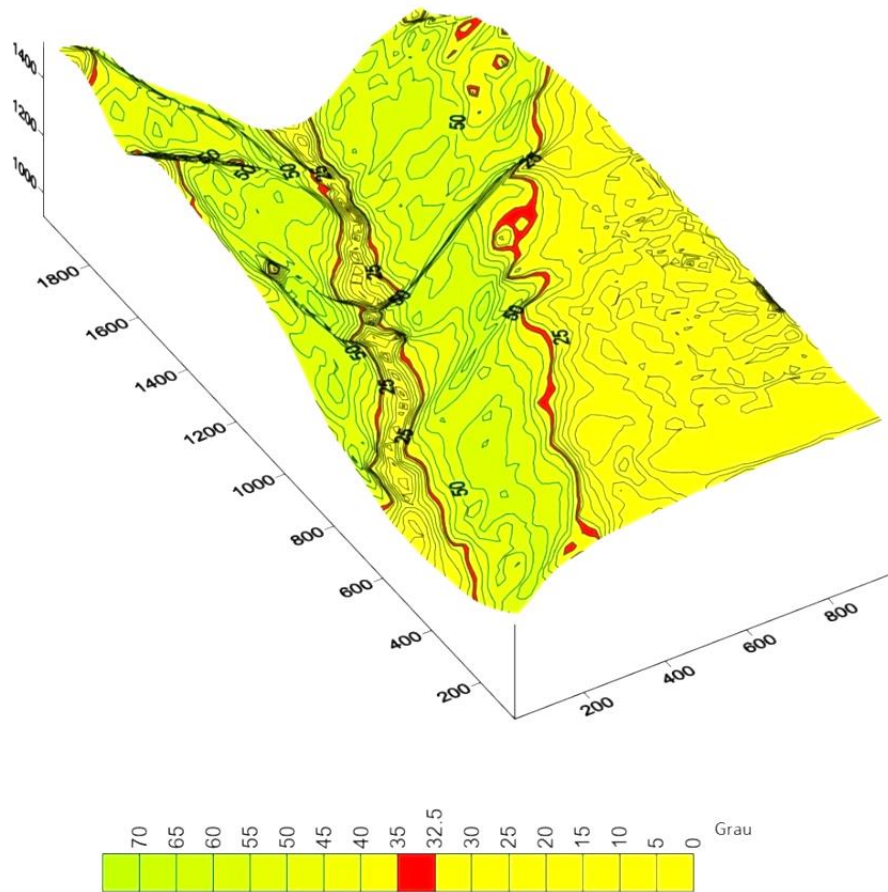


Figura 41 - Carta de Risco e Suscetibilidade do vale do Zêzere (Pereira, 2010).

Para tentar prevenir potenciais acidentes que podem acontecer devido a queda de blocos e deslizamentos, sendo que no vale passa a única ligação entre Manteigas e a Torre: EN338. Estrada com um tráfego muito mais elevado que a estrada que liga a Nave de S. António a Unhais da Serra foi construída em toda a sua extensão uma vedação metálica ancorada no solo para sustentar os grandes blocos de caiem do topo da vertente em direção ao fundo do vale, Figura 42.



Figura 42 - Vedação metálica EN338 no vale do Zêzere.

Capítulo 3

3 - Trabalho de Campo

O trabalho de campo decorreu nos meses de Outubro e Novembro de 2014 e Junho e Setembro de 2015.

Os trabalhos realizados foram o levantamento fotográfico, a recolha de amostras e a anotação das suas coordenadas GPS e a altitude, medição de blocos e calhaus e identificação dos constituintes graníticos em cada amostra.

Este estudo académico além de ser uma tentativa de classificação geotécnica de solos de alta montanha teve o cuidado de ter em conta os diversos desabamentos, derrocadas e quedas de blocos que acontecem com alguma periodicidade na serra. Tendo essa ideia em consideração foram escolhidos locais onde as vertentes e taludes estão instáveis e as derrocadas e queda de blocos são uma constante além que todas as amostragens são de depósitos glaciares. Estes depósitos têm a características de terem sido criados numa ambiente que já não existe, havendo um processo de estabilização das vertentes que decorre até aos dias de hoje.

Assim foram escolhidas 3 áreas de amostragem diferentes, porem todas situadas no lado oeste da serra.

- Vale da ribeira de Alforfa, nas vertentes junto à estrada que liga a Nave de S. António a Unhais da Serra, foram recolhidas 4 amostras;

- Vale do Zêzere, ao longo da estrada nacional EN338 onde foram recolhidas 3 amostras e no estradão paralelo à EN338 onde foi recolhida 1 amostra, perfazendo um total de 4 amostras recolhidas;

- Cidade de Manteigas, na estrada do Zorrão na margem direita do Zêzere foi recolhida 1 amostra;

3.1 - Amostragens e o seu enquadramento

Foram recolhidas 9 amostras em diferentes pontos e em 3 áreas distintas: no vale da ribeira de Alforfa, no vale do Zêzere (EN 338) e na cidade de Manteigas, Figura 43.

O número de recolhas foi limitado devido ao escasso tempo para a realização desta dissertação e os custos que esta acarreta. Mas teve-se como critério uma tentativa de máxima diversidade e expandir o máximo possível a área analisada e estudada.

As amostragens foram numeradas de 1 a 9. Seguindo a sigla de marcação AM1 até AM9, tendo sido recolhidas em solos de taludes e vertentes que demonstram sinais de instabilidade junto da estrada que liga a Torre a Unhais da Serra e a que liga a Torre a Manteigas. Para tal foram utilizados sacos de plásticos feitos no laboratório da UBI, pá e martelo geológico bem como GPS para a marcação das coordenadas.

As amostras têm uma panóplia de castanhos, indo do castanho claro até a um mais escuro e avermelhado.

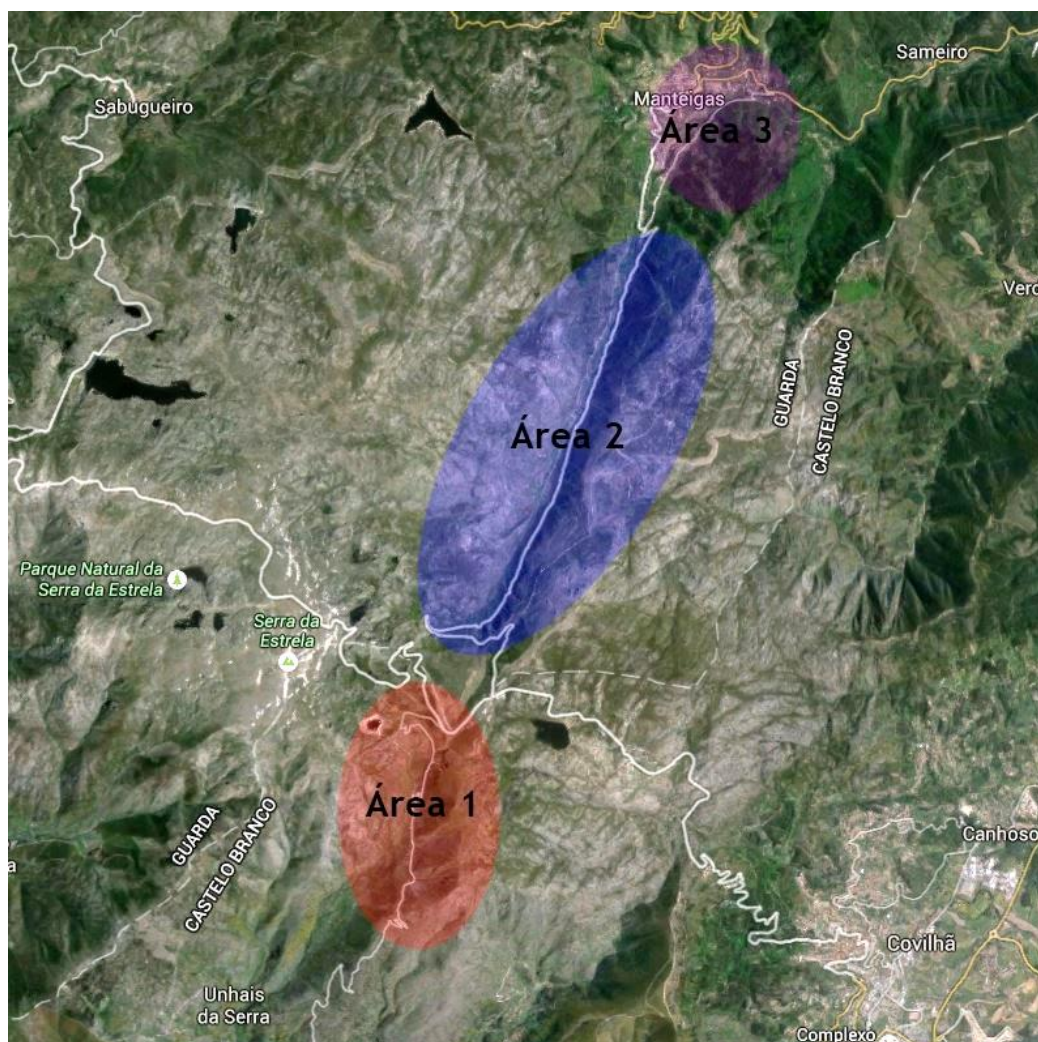


Figura 43 - Vista aérea do maciço central da Estrela com as áreas de estudo marcadas; Área 1 - Vale da ribeira da Alforfa; Área 2 - Vale do Zêzere; Área 3 - Manteigas; (Google Maps, 2015)

3.2 - Amostragens

3.2.1 - Área de amostragem 1

A Área 1, representada a vermelho, na Figura 44-A, engloba o vale da ribeira da Alforfa. Nesta área foram recolhidas 4 amostras: AM1, AM2, AM3 e AM4. As primeiras 3 no topo do vale na vertente Este e uma na cabeceira na vertente Oeste, Figura 44-A.

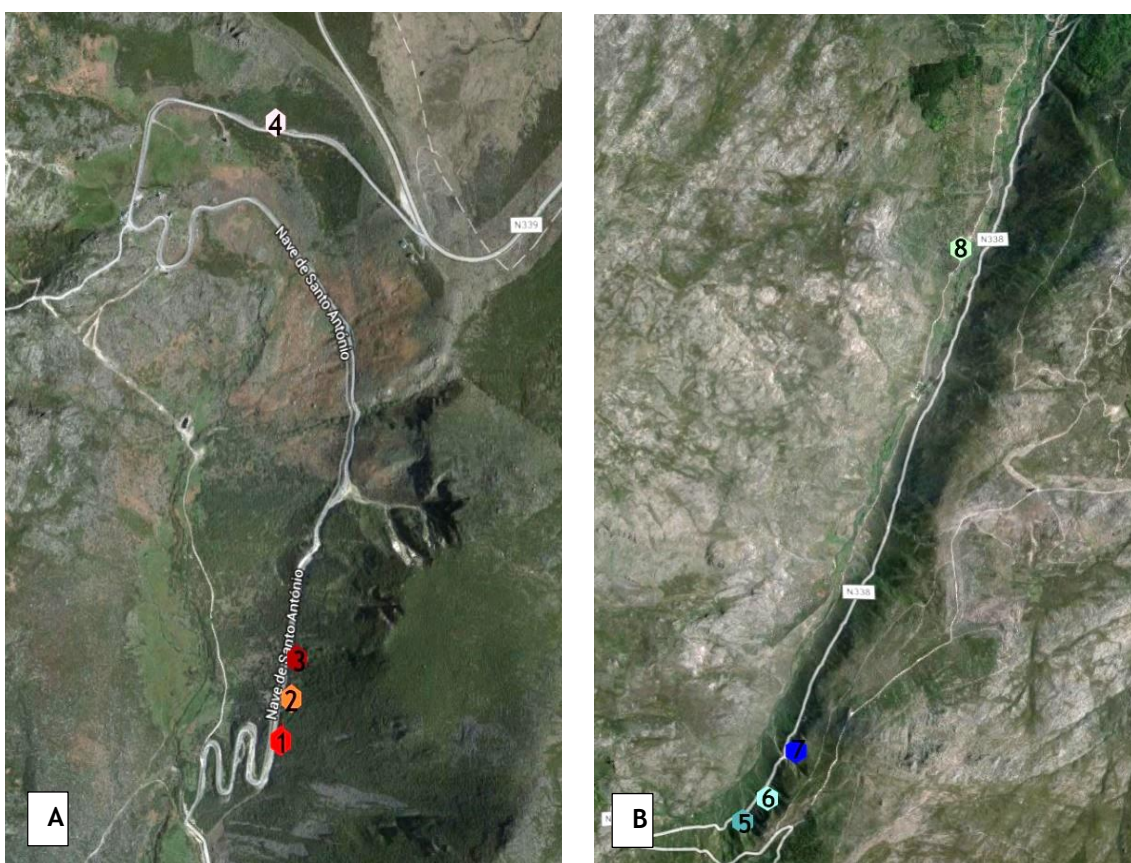


Figura 44 - A - Vale da ribeira Alforfa; 1 - AM1; 2 - AM2; 3 - AM3; 4 - AM4; B - Vale do Zêzere; 5 - AM5; 6 - AM6; 7 - AM7; 8 - AM8; (Google Mapas, 2015)

3.2.2 - Área de amostragem 2

Esta região de estudo engloba o Vale do Zêzere, onde foram retiradas 4 amostras: AM5, AM6, AM7 e AM8. As três primeiras foram retiradas na zona mais a montante do vale junto à estrada EN338 a quarta amostra, AM8, foi recolhida na vertente Noroeste do vale num estradão que corre paralelo com a EN338 na margem esquerda do rio Zêzere, Figura 44-B.

3.2.3 - Área de amostragem 3

Por último foi recolhido uma amostra na cidade de Manteigas junto ao rio Zêzere, mais precisamente na sua margem mais a Este, na tentativa de estudar solos fluvioglaciários. Esta amostra foi catalogada como AM9, Figura 45.



Figura 45 - Cidade de Manteigas; 9 - AM9; (Google Maps, 2015)

3.2.4 - Amostra 1 (AM1), Amostra 2 (AM2) e Amostra 3 (AM3)

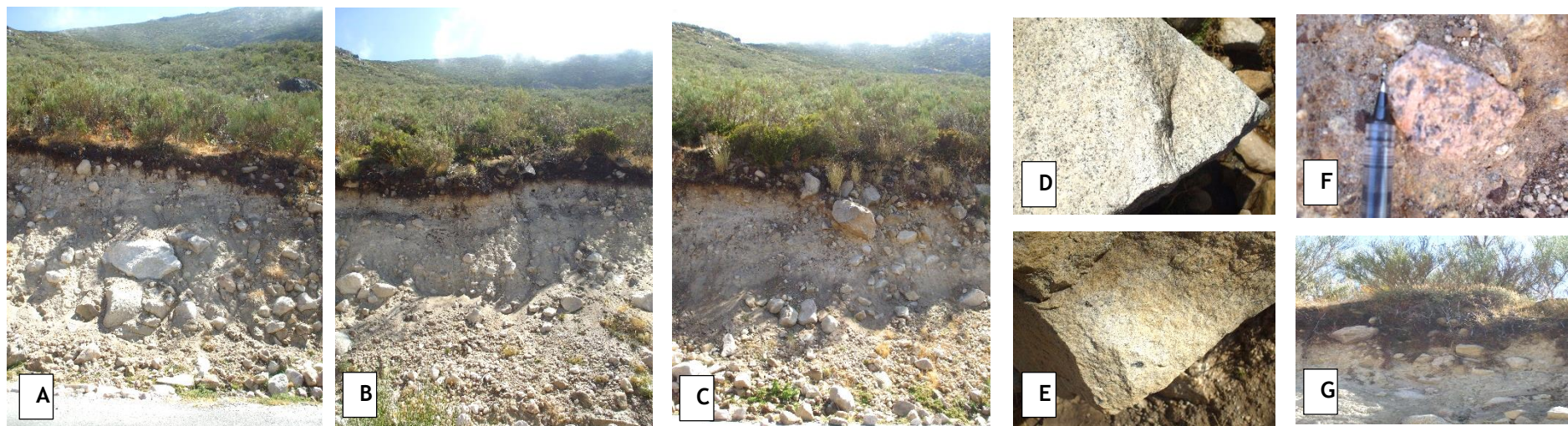


Figura 46 - A - Local da Amostra 1 (AM1); B - Local da Amostra 2 (AM2); C - Local da Amostra 3 (AM3); D - Granito da Estrela; E - Granito Cural do Vento; F - Granito Rosa; G- Camada de matéria orgânica;

Localização: Amostras recolhidas na estrada que liga a Nave de S. António a Unhais da Serra, na encosta Oeste do vale da Alforfa. Tendo as seguintes coordenadas: 40° 18' 13.37''N 7° 35' 14.77''W (AM1), 40° 18' 11.226''N 7° 35' 14.868''W (AM2), 40° 18' 17.323''N 7° 35' 12.990''W (AM3). Já as suas altitudes são: 1404.263m (AM1), 1406.434 (AM2) e 1410.390m (AM3).

Características: Depósito *till* de solo sedimentar granítico. Depósitos encontram-se na moreia do vale da Alforfa e apresentam uma cor castanha clara meia amarelada. São constituídos por blocos decimétricos a métricos de grande dimensão com aspeto polido e sub-rolados envoltos e suportados por uma matriz arenosa de cor acastanhada com alguma compactação, principalmente debaixo dos calhaus e blocos, Figura 47-B.

Não é visível uma ordenação clara dos materiais ou uma estratificação, sendo que alguns blocos encontram-se praticamente suspensos. Vários autores classificam este depósito como um till subglaciário de alojamento (Vieira, 2004).

Foram identificados 3 tipos diferentes de granitos, sendo que o granito da Estrela, Figura 46-D, e o granito de Curral do Vento, Figura 46-E, dominam o depósito com blocos de grande dimensão. Já o terceiro tipo de granito foi apenas encontrado em espécies de pequena dimensão um pouco espalhado por todo o corte, sendo um granito de cor rosada escura de grão médio, Figura 46-F.

O corte apresenta-se muito deformado com evidentes alterações devido á presença de água que é abundante por toda a vertente, sendo visível uma superfície muito lavada, Figura 47-A.

No topo da vertente forma-se uma camada de solo castanho-escuro preto com elevada matéria orgânica onde são vistas raízes e pequenos arbustos no topo. Esta camada tem espessuras que variam entre os 20 a 30cm, Figura 46-G.

Inclinação da vertente: os taludes têm uma inclinação perpendicular com a estrada e as suas vertentes têm uma inclinação que podem variar dos 45° a 55° no caso da AM1 e AM2 e 55° a 65° na AM3.



Figura 47 - A - Aspeto lavado do corte; B - Compactação da matriz por baixo do bloco;

3.2.5 - Amostra 4 (AM4)

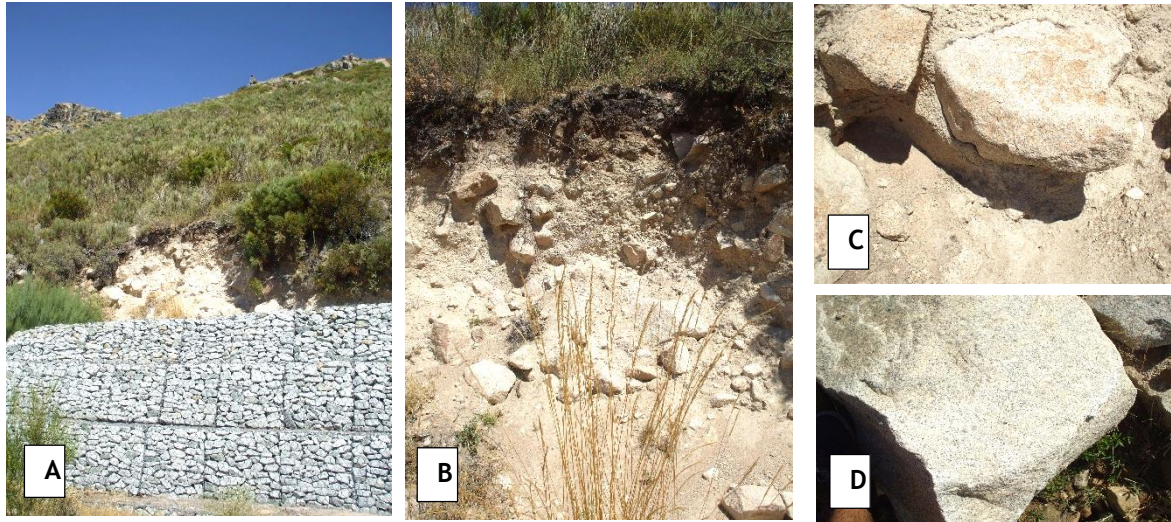


Figura 48 - Vista da vertente do local da amostra AM4; B - Local da AM4; C - Granito Curral do Vento; D - Granito da Estrela;

Localização: amostra recolhida na cabeceira do vale situada vertente frontal do vale da Alforfa a uma altitude de 1528.937m nas coordenadas: 40° 18'50.106''N 7° 35'17.274''W.

Características: Solo sedimentar de origem granítica. Corte muito heterométrico, Figura 48-B, com blocos polidos sub-rolados e angulosos envoltos numa matriz castanha clara em certas zonas perto do branco. Em AM4 os blocos são de menor dimensão, que em AM1, AM2 e AM3 não passando valores decimétricos de diâmetro. A matriz encontra-se muito compacta e menos lavada que no corte anterior, sendo a presença de água também é menor que nos sítios de amostragem acima referidos. Foram classificados dois tipos de granitos: granito da Estrela e granito do Curral do Vento, Figura 48-D/C.

Está presente uma camada de solo orgânico de cor castanho-escuro, no topo do corte. Tendo espessuras que podem variar entre os 15 a 20cm.

Inclinação: O corte encontra-se numa vertente com inclinações que variam entre o intervalo de 75° a 85°.

3.2.6 - Amostra 5 (AM5) e Amostra 6 (AM6)

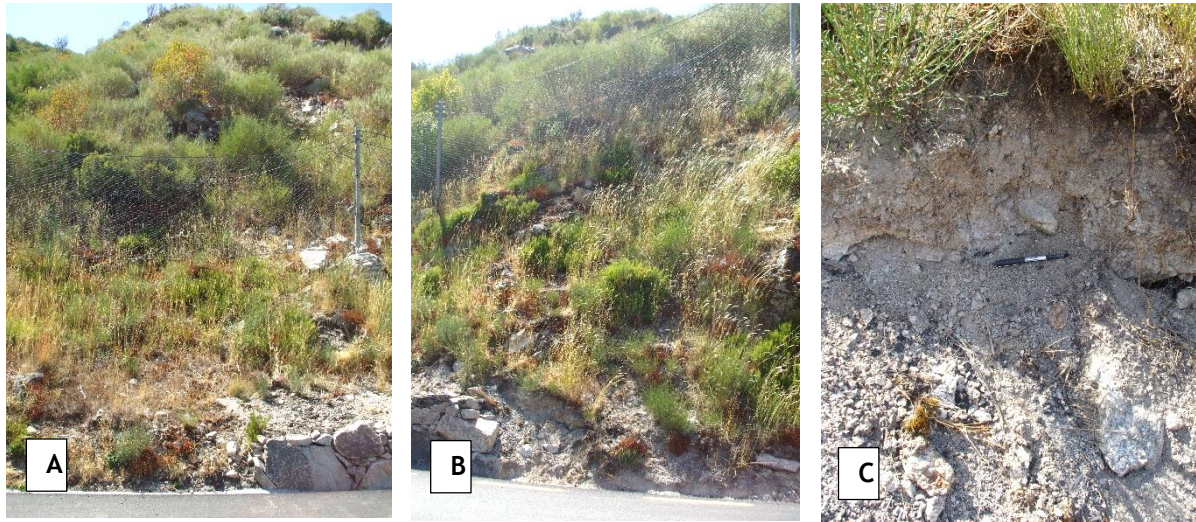


Figura 49 - A- Local da AM5; B - Local da AM6; C - Pormenor do corte de AM6

Localização: tendo o poio do judeu como referência visual, as amostras situam-se na margem esquerda do rio Zêzere junto à estrada EN338, a uma altitude de 1226m e 1226.953m, AM5 e AM6 respetivamente. As suas coordenadas são: 40°19'38.958''N 7°34'28.698''W da AM5, já a AM6 40°19'39.222''N 7°34'28.566''W. Estas duas amostram estão distanciadas 100m uma da outra.

Características: Solos sedimentares de origem granítica. Estas duas vertentes estão cobertas por um manto vegetal relativamente denso de erva e pequenos arbustos. Mas no entanto como pode ser visto na Figura 49-C a camada de matéria orgânica de cor castanho-escuro a preto é muito fina não chegando a passar os 5cm. As amostras são compostos por blocos de dimensão centimétrica, de cor castanha clara a branco, envoltos e suportados por uma matriz ligeiramente compacta de cor acastanhada.

Não é visível uma orientação dos sedimentos ou uma estratificação clara do corte.

Inclinação: A vertente de AM5 tem uma inclinação nos valores entre 55° a 65° e a AM6 de 70° a 80°.

3.2.7 - Amostra 7 (AM7)

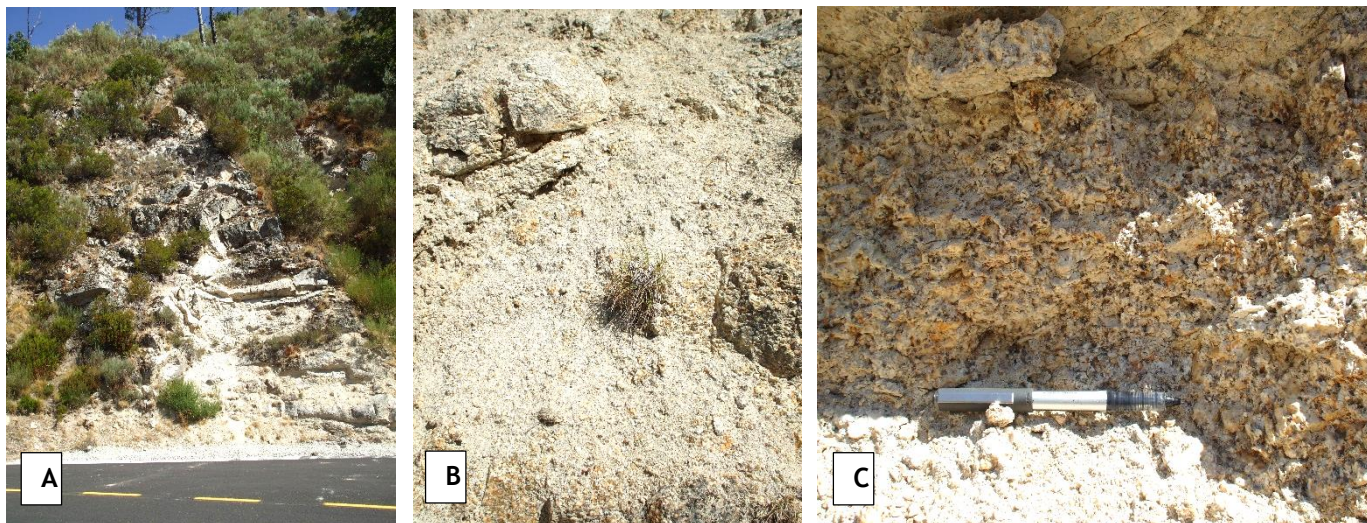


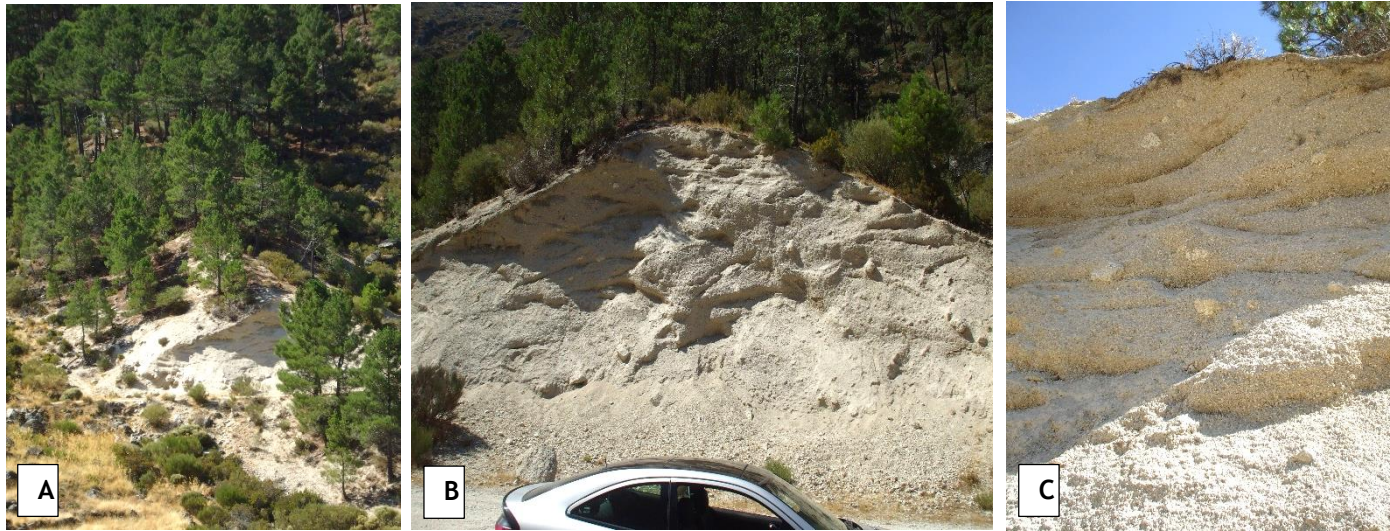
Figura 50 - A - Local de AM7; B - Pormenor da Matriz; C - Pormenor Granito;

Características: Solo sedimentar granítico. O corte de AM7 tem cerca de 6 metros de altura, tem uma cor castanha clara quase branca. Ao contrário das outras amostras não tem calhaus ou blocos mas sim uma espécie de maciço rochoso, Figura 50-A, onde entre espaços aparece uma matriz que ocupa os espaços livres entre o maciço rochoso. A matriz encontra-se em elevada compactação e tem uma cor castanha clara meia acinzentada. O granito identificado foi o granito da Covilhã. O maciço tem um aspeto polido e sub-rolado pouco anguloso junto ao fundo do corte. No topo aparece uma densa vegetação onde são observados blocos angulosos com aparência de estarem soltos.

Inclinação: O corte está praticamente na vertical em relação à estrada, variando entre os 85° e os 90°.

Localização: situado na margem esquerda do rio Zêzere, no local onde aconteceu o grande desabamento de 2005 na EN338. A uma altitude de 1185.944m e com as coordenadas: 40° 19'53.484''N 7° 34'15.15''W.

3.2.8 - Amostra 8 (AM8)



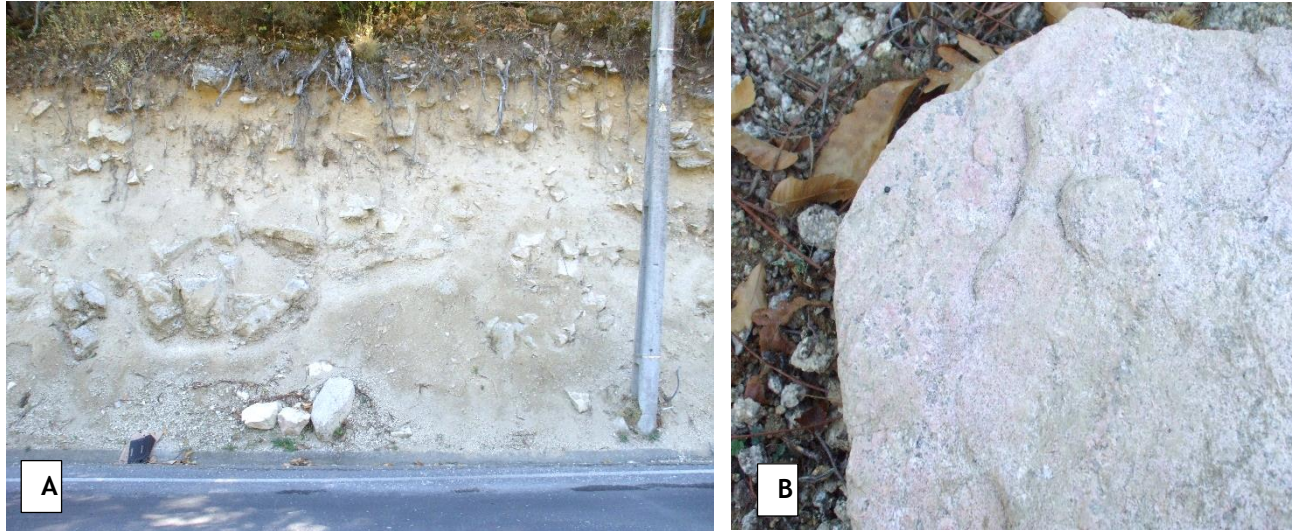
Localização: corte junto ao estradão paralelo à EN338, na margem direita do rio Zêzere. Tendo as coordenadas 40°21'58.944''N 7°33'15.384''W e uma altitude de 1033.07m.

Figura 51 - A - Vista da EN338 da AM8; B - Local da AM8; C - Topo da vertente AM8;

Características: esta formação tem a particularidade de se semelhar a uma duna, Figura 51-A. Tendo 7 metros de altura e uma cor acastanhada com tons de cinzentos. É um solo sedimentar granítico. O material que a compõe é um areão muito heterométrico com pequenos blocos centimétricos um pouco espalhados por todo o corte, Figura 51-C, porem em muita menor quantidade que nos outros locais de amostragem. O granito identificado é o granito de Seia. O areão é muito compacto e não é observado uma orientação ou estratificação. Mas no entanto pode ser encontrado marcas de erosão eólica-pluvial. Na parte superior do corte pode ser vista uma camada milimétrica de um solo preto com muita matéria orgânica, Figura 51-C, onde pode ser vistas raízes a penetrar mesmo dentro do material de cor clara. A cobertura vegetal está presente por toda a vertente e é muito densa, podendo ser observado arbustos de porte médio e árvores de grande porte, principalmente pinheiros.

Inclinação: O talude em si está perpendicular em relação ao estradão. A vertente tem uma inclinação menos acentuada de cerca 30° podendo chegar aos 40°.

3.2.9 - Amostra 9 (AM9)



Localização: Junto á estrada do Zorrão, na cidade de Manteigas. O corte encontra-se a 678.224m de altitude e tem as coordenadas 40°24'15.222''N 7°30'41.789''W.

Figura 52 - A - Local de AM9; B - Granito de Manteigas;

Características: Solo sedimentar granítico. O corte tem uma cor castanho claro com uns tons de cinzento. Foi identificado um granito de tons rosados de grão médio, pertencendo ao granito de Manteigas, Figura 52-B. Sendo visível uma desorganização dos blocos e uma inexistente estratificação.

Pode ser observado um conjunto de calhaus e blocos de superfície polida e angulosos, de tamanho centimétrico até decimétrico, envoltos e suportados por uma matriz muito compacta principalmente por de baixo dos blocos. O corte apresenta-se muito alterado por elementos hídricos.

No topo do corte encontra-se uma camada de solo preto com muita matéria orgânica. Esta camada tem 40 a 50cm de espessura. Ao longo da superfície da vertente temos uma densa vegetação principalmente constituída por árvores de médio a grande porte.

Inclinação: O corte em si perfaz um angulo de 90° com a estrada e a vertente tem inclinações entre os 65° a 75°.

Capitulo 4

4 - Trabalho de Laboratório

Os ensaios de laboratório realizados foram ensaios de identificação de solos e de resistência ao corte, para tal foi utilizados o Laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura da Universidade da Beira Interior. Laboratório este situado no Polo das Engenharias da UBI na cidade da Covilhã.

Mais especificamente foram realizados os seguintes ensaios laboratoriais:

- Preparação das amostras pela norma E195 - 1966;
- Limite de Atterberg pela norma NP143 - 1969;
- 9 ensaios granulométricos segundo a norma E196 - 1966;
- 27 ensaios para determinação da densidade das partículas pela norma NP83 - 1965;
- 9 ensaios de determinação do teor em água seguindo a norma NP84 - 1965;
- 9 ensaios do azul de metileno pela norma europeia EN 933-9;
- 27 ensaios de corte direto simples pela norma CEN/TC 341 - 2004;

4.1 - NP143-1969: Limite de Atterberg

Em relação aos limites de Atterberg tentou-se a sua realização de acordo com o proposto na Norma Portuguesa - NP143 (1969), “Determinação dos limites de consistência”, sendo de salientar que por serem solos de natureza essencialmente arenosa isso não foi possível, considerando desde logo os solos em estudo como não plásticos (Índice de Plasticidade igual a zero).

4.2 - E195-1966: Preparação por via seca das amostras

As recolhas das amostras foram feitas num dia de elevada humidade, pelo que como primeiro processo laboratorial foi espalhar o material recolhido em tabuleiros metálicos para a sua secagem ao ar. Esta secagem teve a duração aproximada de 1 semana.

Com a secagem completa foi retirado todo o material orgânico visível a vista desarmada e com um almofariz e pilão com mão revestida de borracha foi desfeito todos os torrões com o máximo cuidado para não reduzir o tamanho individual das partículas, Figura 53.



Figura 53 - Fotografia das Amostras no processo de secagem ao ar.

4.3 - E196-1966: Análise granulométrica

Os 9 ensaios granulométricos seguiram as especificações presentes na norma E196 - 1966 para análise granulométrica com peneiração a seco.

Procedimento: a norma estipula que deve haver três fases distintas na análise granulométrica. Mas antes de passar ao ensaio propriamente dito foi necessário fabricar uma solução de antifloculante, sendo que esta solução tem apenas a validade de um mês. Para tal foi misturado 33g de Hexametáfosfato com 7g de Carbonato de Sódio, a esta mistura foi acrescentada água destilada até perfazer 1000cm^3 , Figura 54.

A próxima etapa foi a fase de peneiração do material grosso, a peneiração do material fino e a sedimentação. Para a peneiração do material grosso foram utilizados os peneiros de abertura 76.10mm, 50.80mm, 37.50mm, 25.40mm, 19.00mm, 9.51mm, 4.76mm e 2.00mm, Figura 55-A. Em cada amostra foi retirado parcelas para a realização do ensaio, parcelas estas que tiveram uma amplitude de peso entre os 1843.0g e os 4174.9g tentando sempre escolher parcelas com valor heterogêneo das partículas de cada amostra.

Cada parcela foi colocada no topo da pilha dos peneiros acima descrito e colocada no agitador de peneiros durante 15 min, Figura 55-B. Podendo, no entanto, após esses 15 minutos haver uma completção da peneiração através do método manual descrito na E196-1966. A quantidade retida em cada peneiro foi pesada e registrada.

Todo o material que passou no peneiro de 2.00mm de abertura, peneiro nº10, foi considerado material fino da amostra. Há quantidade de material fino que passou o peneiro nº10 foi retirado quantidades de material que podem variar entre os 150g até 180g.

Uma vez que este processo está concluído procedeu-se à dispersão do solo. Esta dispersão consiste num gobelé misturar 100cm³ de solução antifloculante com o material fino. Esta mistura é aquecida durante 10 minutos e de seguida com um auxílio de jato de água destilada é transferida para o recipiente do agitador elétrico onde é agitada por 15 min. Com a agitação concluída a mistura é colocada no peneiro de 0.074mm e lavada com um jato de água destilada.

A suspensão que passou o peneiro é colocada numa proveta que será enchida de água destilada até perfazer 1000cm³, Figura 56-A. Nesta proveta foi realizado o ensaio de sedimentação, que consistiu na medição e registo das leituras do densímetro, Figura 56-B, nos intervalos de 1min, 2 min, 5min, 15min, 30min, 60min, 250min, 1440min e 2880min após uma mistura vigorosa da proveta por meio de uma agitação manual. Foi também registado a temperatura de cada leitura e determinada a correlação do antifloculante a 20° C.

O material que ficou retido no peneiro de 0.074mm foi seco em estufa durante 24 horas e de seguida peneirado pelos seguintes peneiros: 0.850mm, 0.600m, 0.425mm, 0.250mm, 0.106mm e 0.074mm. Todas as porções retidas em cada peneiro foram pesadas e registadas.

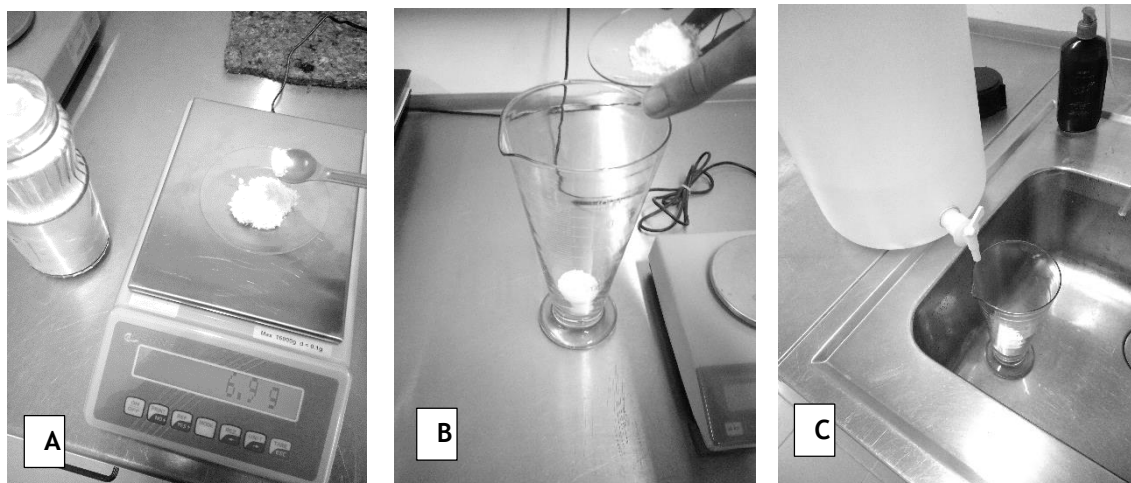


Figura 54 - Processo de fabrico da solução antifloculante. A - pesagem do Carbonato de Sódio; B - Mistura dos dois reagentes; C - Mistura com a água destilada;

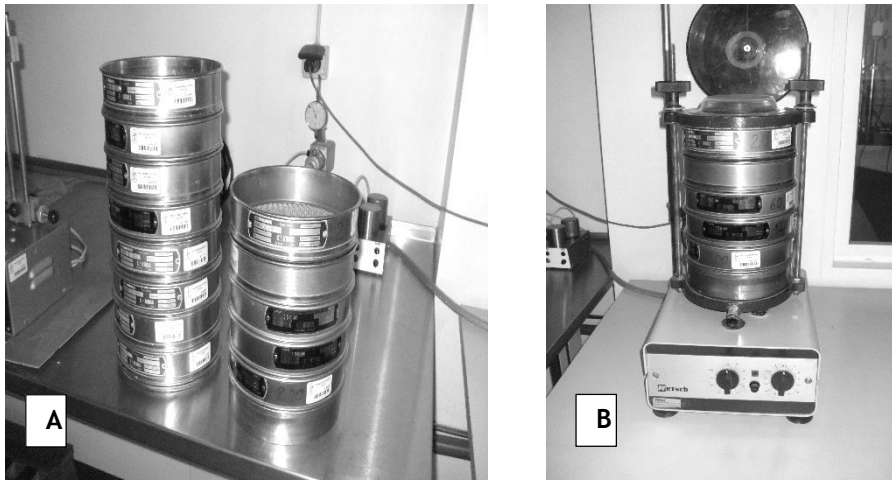


Figura 55 - Granulometria; A - Conjunto de Peneiros; B - Agitador mecânico dos Peneiros;

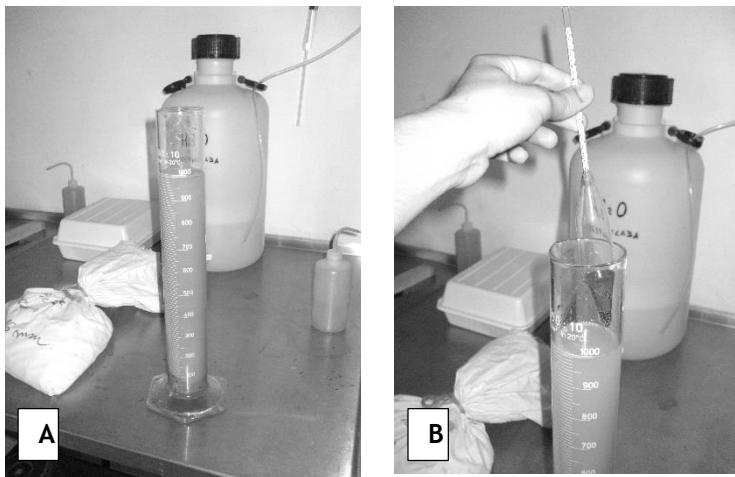


Figura 56 - Sedimentação; A - Proveta com a mistura; B - Leitura do densímetro

4.4 - NP-83-1965: Determinação da densidade das partículas

Os 27 ensaios foram realizados cuidadosamente segundo a norma NP-83 tendo sido realizados 3 procedimentos de determinação da densidade por cada amostra recolhida.

Procedimento: Como primeira etapa deste ensaio foi a calibragem do picnómetro, Figura 57-A/B. Para tal foi pesado o picnómetro lavado e seco e registou-se a sua massa (m_1). Uma vez registado m_1 o picnómetro foi cheio de água destilada até ao traço de referência e aquecido até á temperatura de 20°C, Figura 57-A, e mais uma vez foi pesado e registado (m_2). Para efeitos de cálculo foi utilizada a seguinte expressão:

$$m_3 = \frac{d_2}{d_3}(m_2 - m_1) + m_1$$

(Equação 5)

Onde d_2 é a densidade da água à temperatura do momento do ensaio e d_3 é a densidade da água a 20°C.

Após a calibração dos picnômetros foi colocada três parcelas de solo de cada amostra que passou o peneiro nº4 na estufa durante 24 horas. Concluído esse tempo as parcelas foram retiradas e deixadas arrefecer para a sua pesagem (m_4). Por ultimo, os provetes foram transferidos para os picnômetros e estes cheios de água destilada até $\frac{3}{4}$ da sua capacidade, deixando repousar por 12 horas, Figura 57-C. Ultrapassando as 12 horas é acrescentado água destilada até ao traço de referência e com a ajuda de exsicador de vácuo é retirado todo o ar do picnómetro. O picnómetro é pesado (m_5) e regista-se também a temperatura da água com o termómetro.

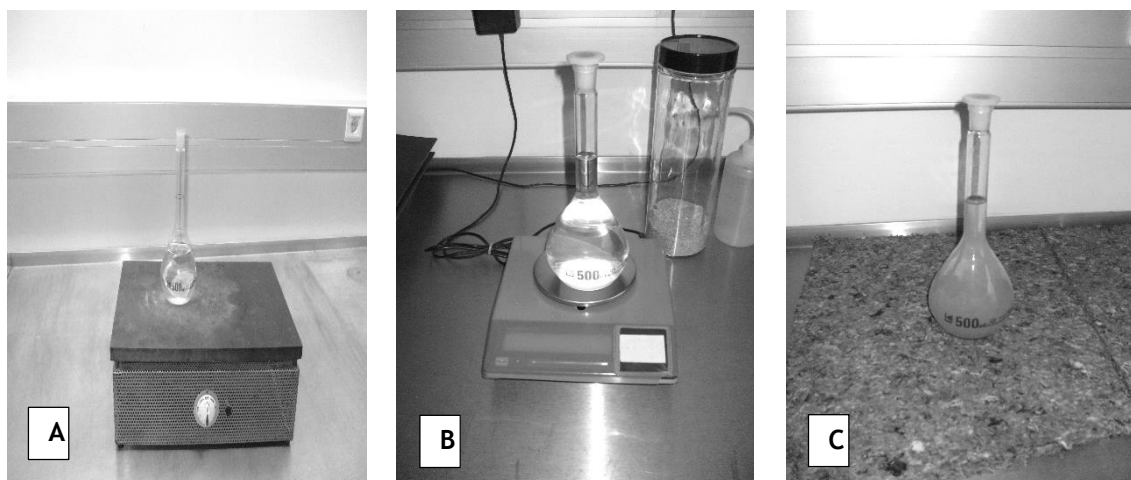


Figura 57 - Densidade das Partículas; A - Processo de aquecer a água até 20 °C; B - Pesagem após o processo A; C - Picnómetro com o provete e água;

4.5 - NP-84-1965: Determinação do teor em água

Procedimento: A tomada dos provetes correspondeu ao critério onde mais de 80% dos solos das amostras passou pelo peneiro de 19.00mm, ou seja, foram recolhidos provetes com massa nunca inferior a 30g. Para a determinação do teor de água nos ensaios granulométricos foram colhidos provetes de solo que passavam o peneiro nº10.

As cápsulas de vidro e as tampas foram secas e o seu peso foi registado, Figura 58-A. Foi colocado o provete dentro da cápsula e tapado e mais uma vez foi registado o seu peso, Figura 58-B.

A operação seguinte foi a introdução da cápsula dentro da estufa de secagem pelo período de 24 horas, Figura 58-C. Saliento que durante a secagem dentro da estufa a cápsula esteve sem a tampa colocada.

Após as 24 horas, foi colocada a tampa na cápsula antes de a retirar da estufa e deixada arrefecer.

O último processo após o arrefecimento da cápsula foi a sua pesagem e o registo da massa indicada na balança.

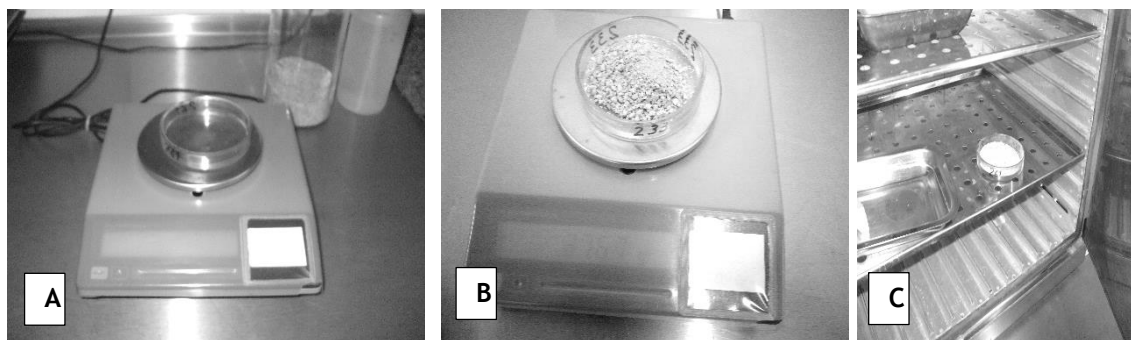


Figura 58 - Teor em água; A - Pesagem da capsula; B - Pesagem da capsula com o provete; C - Secagem do provete na estufa;

4.6 - EN 933-9: Ensaio de azul-de-metileno

Procedimento: o primeiro passo foi criar a solução corante, Figura 59-A, visto que esta solução só tem 28 dias de validade. Para tal foi utilizado azul-de-metileno em pó, $C_{16}H_{18}ClN_3S \cdot 3H_2O$, numa proporção de 10g por litro. Num gobelé foi aquecido 500ml de água destilada até uma temperatura de 40°C, de seguida o gobelé foi colocado no agitador de ventoinha e lentamente foi colocada a 10g de pó de azul-de-metileno. A mistura esteve no agitador durante 45 min, concluído esse tempo a solução foi transferida para um frasco com 1l de capacidade. Deixando a temperatura da solução estabilizar nos 20°C foi acrescentado mais água destilada até ao traço de referência de 1l.

Foram criados 9 provetes para serem ensaiados, esses provetes correspondem ao material das amostras que passava pelo peneiro nº10 e com massa superior a 200g, depois de seco na estufa. A realização do ensaio consistia num gobelé com 500ml de água destilada adicionar o provete seco, mexendo bem com a espátula e numa bureta colocar 100ml da solução de azul-de-metileno.

O passo seguinte é colocar o gobelé no agitador com a ventoinha a cerca de 10mm do fundo do gobelé. O aparelho teve a agitar a mistura durante 5 minutos a uma velocidade de 600 rotações por minuto e de seguida a velocidade foi reduzida para 400 rotações por minuto durante o tempo de duração do ensaio.

Depois de colocar o papel de filtro em cima de um gobelé vazio foi adicionado através da bureta 5ml da solução corante à mistura e aguardou-se 1 minuto para efetuar o ensaio da macha no papel, Figura 59-B.

O ensaio da macha, Figura 59-C, consiste em mergulhar a vara de vidro na mistura do gobelé e deixar cair uma gota da mistura no papel de filtro. Se no sítio da gota no papel de filtro não aparecer a auréola característica do ensaio tem que ser adiciona mais 5ml de solução corante na mistura. Assim que a aurélia for visível deixa-se de adicionar solução corante e repete-se o ensaio da macha durante mais 4 vezes, uma por minuto. Se a aurélia voltar a desaparecer antes do 5º ensaio da macha acrescenta-se mais 5ml de solução corante, se desaparecer no 5º ensaio acrescenta-se apenas mais 2ml, mas por outro lado se após os 5 ensaios a aurélia não desaparecer o ensaio está concluído.

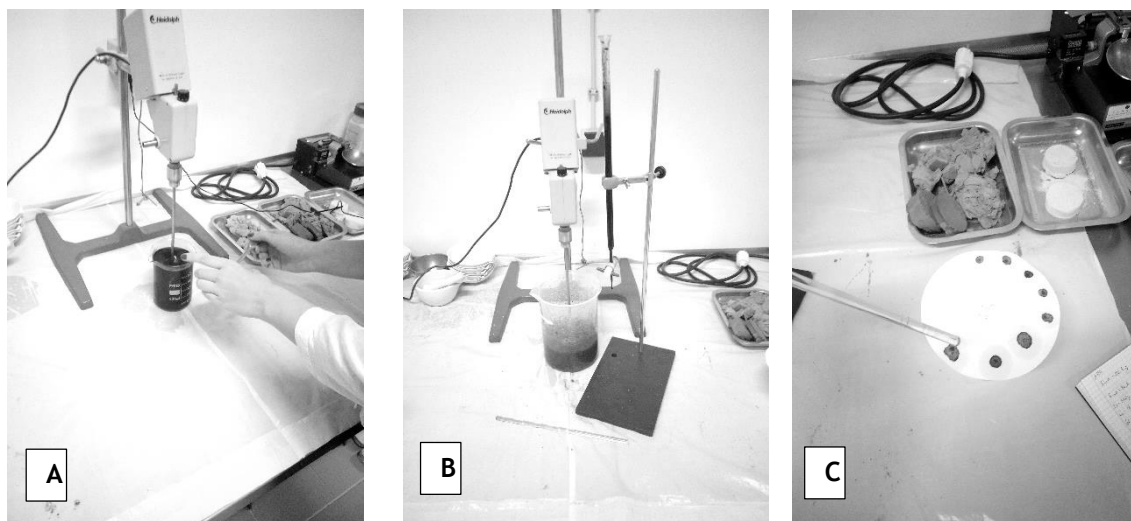


Figura 59 - Ensaio de Azul-de-metileno; A - Mistura da solução de azul-de-metileno; B - Provete a ser misturado com 5ml de azul-de-metileno; C - Teste da mancha

4.7 - CEN/TC 341 - 2004: Ensaio de corte direto simples

Procedimento: neste ensaio foi genericamente seguida a norma CEN/TC 341 utilizando a máquina de corte direto do Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Figura 60-A, e uma caixa de corte de 28.27cm^2 , Figura 60-B. Devido às dimensões reduzidas da caixa de corte algumas partículas do solo superavam a dimensão da própria caixa, para solucionar o problema foi procedido a uma peneiração manual com o peneiro nº4 para o fabrico dos provetes.

Foram criados 27 provetes, correspondendo a 3 provetes por cada amostra, Figura 60-C. Em cada amostra foi aplicada as tensões de 54.05KPa, 106.04KPa e 210,02KPa.

Os ensaios seguiram um protocolo que pode ser dividido em três fases distintas. A primeira foi a fase de saturação onde o provete é saturado em água, de seguida a fase de consolidação onde as tensões normais foram iguais às tensões utilizadas na fase de corte. Com os provetes saturados iniciou-se a fase de consolidação aplicando as tensões normais sobre a caixa de corte. Esta fase durou pelo menos 12 horas tendo sido registados os valores do deslocamento vertical na primeira hora nos seguintes intervalos de tempo: 30s, 1min, 2min, 4min, 6min, 10min, 15min, 20min, 25min, 30min, 40min, 50min e 60min.

Com a conclusão desta fase iniciou-se a fase de corte. Nesta etapa foi utilizada uma velocidade constante de 0.5 mm/min e as tensões normais acima inumeradas. Foram registados os valores dos defletómetros horizontal, vertical e do anel em intervalos de 30 em 30 segundos.

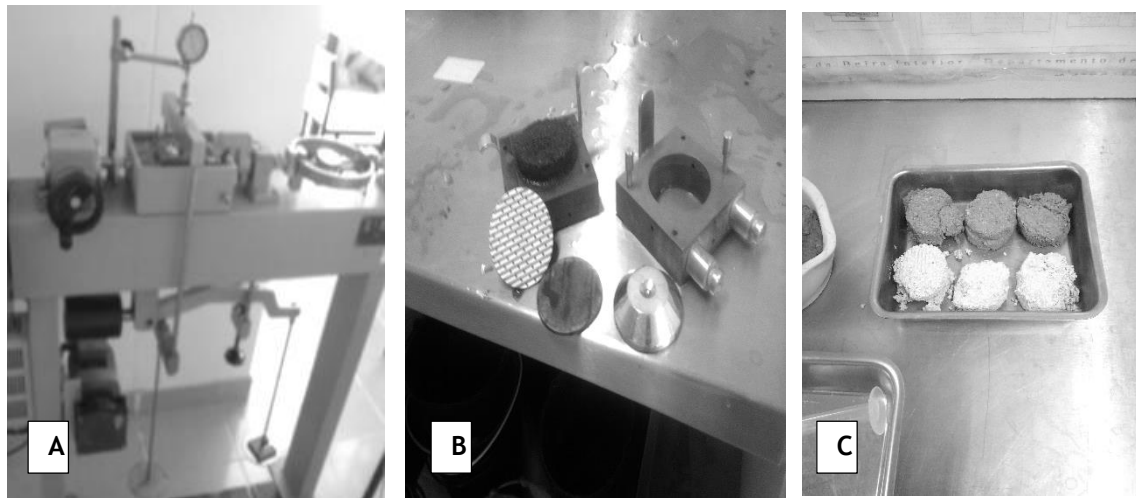


Figura 60 - Ensaio de Corte Direto; A - Máquina de Corte Direto utilizada; B - Caixa de Corte utilizada, depois do ensaio realizado; C - Provetes depois de ensaiados;

Em todos os ensaios aqui descritos o dados recolhidos foram tratados matematicamente e interpretados através do *software* Excel 2013. Este tratamento de dados é apresentado no Capítulo 5 desta dissertação.

Capitulo 5

5 - Resultados

5.1 - Resultados dos ensaios granulométricos e a sua classificação

O objetivo principal de um ensaio granulométrico é conhecer a distribuição granulométrica do solo e representar esse estudo através de curvas granulométricas. Esta curva é a distribuição em percentagem dos diversos tamanhos dos grãos e é a determinação das dimensões das partículas do agregado e das suas respectivas percentagens de ocorrência.

A Figura 61 mostra o conjunto de curvas obtidas de todos os ensaios realizados no conjunto de amostras recolhidas.

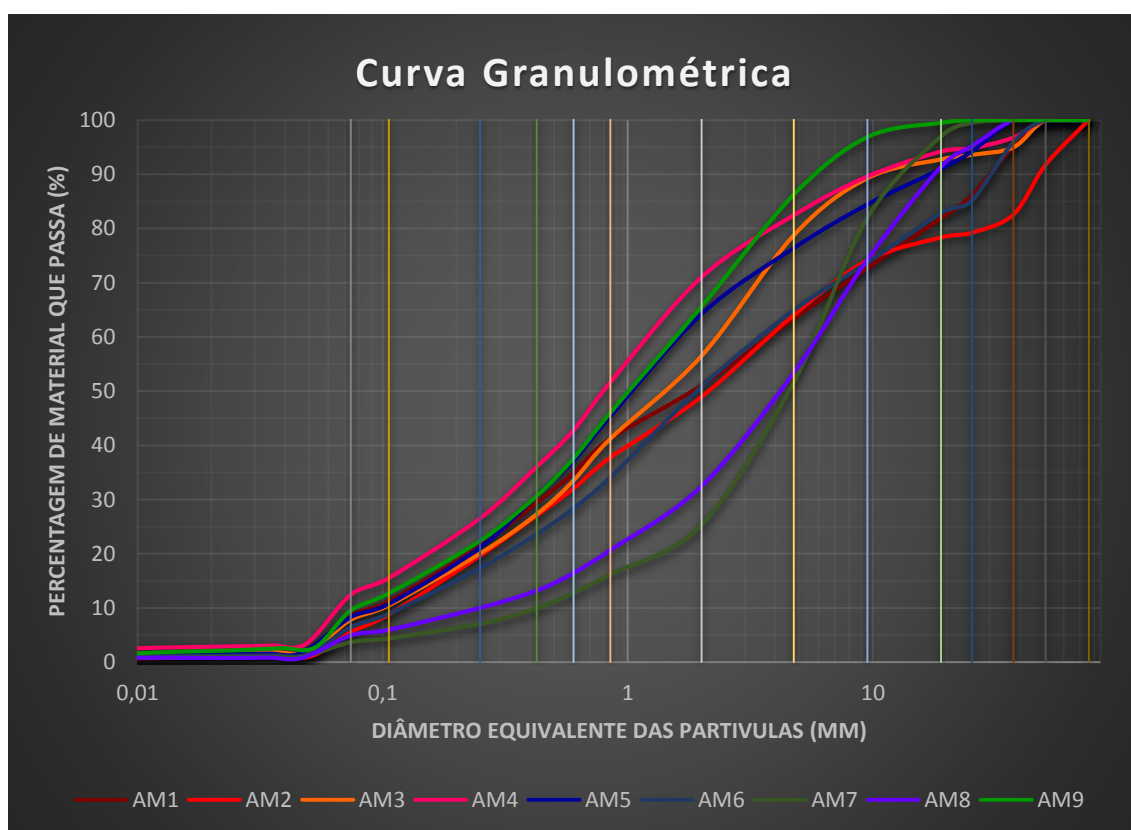


Figura 61 - Curvas granulométricas de todas as amostras recolhidas.

Por sua vez, a Tabela 4 inúmera os parâmetros granulométricos representativos de todas as 9 amostras recolhidas. Da curva foi retirada os parâmetros D_{10} , D_{15} , D_{30} , D_{40} , D_{50} , D_{60} , D_{65} e Pf. Mesmo não sendo todos utilizados, foi por opção selecionados para ter um maior conhecimento granulométrico de cada amostra. O D_{15} , como qualquer um dos outros, é uma abertura de um peneiro para o qual temos 15% em peso total de todas as partículas de menor dimensão que o peneiro, percentagem de passados, onde 15% das partículas são mais finas que o diâmetro de

abertura do peneiro. Já Pf é a percentagem de finos, ou seja, é a percentagem em relação à amostra total do peso do material que passa o peneiro nº200.

Tabela 4 - Parâmetros granulométricos das amostras; Dx - diâmetro em mm para a percentagem x de material passado; Pf - Percentagem em finos;

	D10	D15	D25	D30	D40	D50	D60	D65	Pf
AM1	0,09	0,16	0,32	0,43	0,80	1,98	3,95	5,45	8,54
AM2	0,12	0,18	0,39	0,52	1,00	2,10	3,85	5,00	5,52
AM3	0,10	0,17	0,39	0,50	0,80	1,55	2,35	2,85	7,82
AM4	0,07	0,10	0,23	0,30	0,51	0,80	1,30	1,65	12,45
AM5	0,10	0,18	0,31	0,40	0,70	1,10	1,65	2,00	8,29
AM6	0,13	0,20	0,50	0,70	1,35	1,95	3,50	4,76	6,43
AM7	0,43	0,80	2,00	2,50	3,50	4,70	5,95	6,50	3,66
AM8	0,25	0,51	1,30	1,80	2,90	4,10	6,00	7,00	4,93
AM9	0,08	0,15	0,30	0,40	0,67	1,00	1,65	2,00	9,52

Após a obtenção dos parâmetros expostos na Tabela 4 procedeu-se à sua devida classificação. Para tal foi utilizado dois diferentes tipos de classificações: a classificação AASHTO e Unificada. Estas duas classificações para os efeitos de engenharia são as mais utilizadas no ramo e aliando a sua simplicidade de utilização foram fatores importantes para a escolha destes dois métodos.

Como pode ser visto na Tabela 5 e Figuras 62 e 63, as classificações foram essencialmente do tipo A-2 e A-1-a para a AASHTO menos frequente a A-1-b, por sua vez na Unificada foi SP-SM e SW-SM a predominante, mas também foram classificados solos como SM e SW.

Estas classificações consideram os solos de muita boa qualidade, correspondendo a solos arenosos com silte, e para efeitos de obras têm boa compactação e pequena compressibilidade.

Tabela 5 - Classificações das amostras.

	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	AM7	AM8	AM9
ASSHTO	A-1-a	A-1-a	A-2	A-2	A-2	A-1-b	A-1-a	A-1-a	A-2
Unificada	SP-SM	SP-SM	SW-SM	SM	SP-SM	SW-SM	SW	SW	SW-SM

Onde representa: A-1-a: Fragmentos de pedra, pedregulho fino e areia; A-1-b: Fragmentos de pedra, pedregulho fino e areia; SP: Areia mal graduada; SW: Areia bem graduada; SM: Areia siltosa; SP-SM: intervalo de transição entre uma areia mal graduada e uma areia siltosa; SW-SM: intervalo de transição entre uma areia bem graduada e uma areia siltosa;

Com a classificação obtida foi interpretado e tratado os dados através de gráficos de barras, Figura 62 e 63.

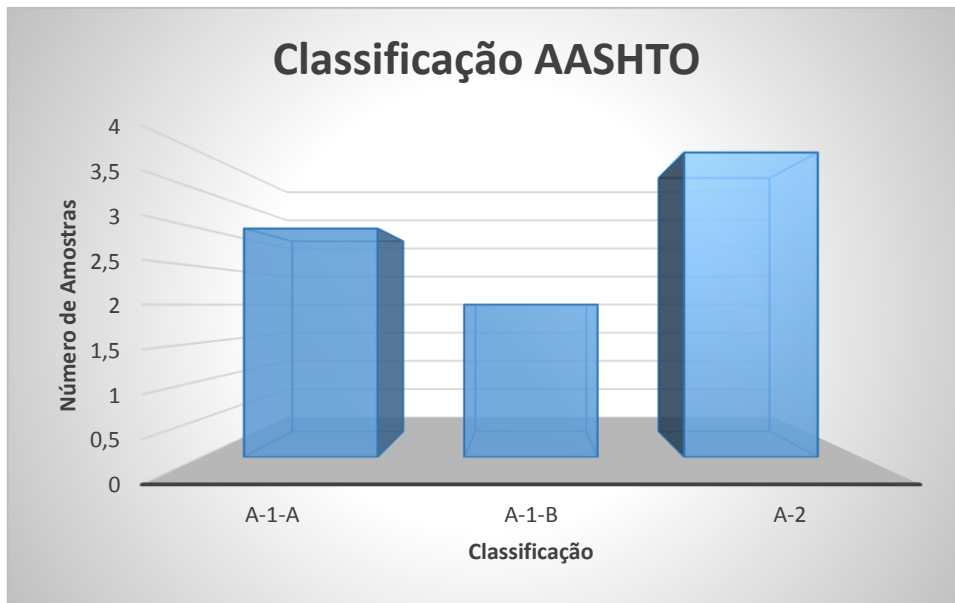


Figura 62 - Classificação AASHTO.

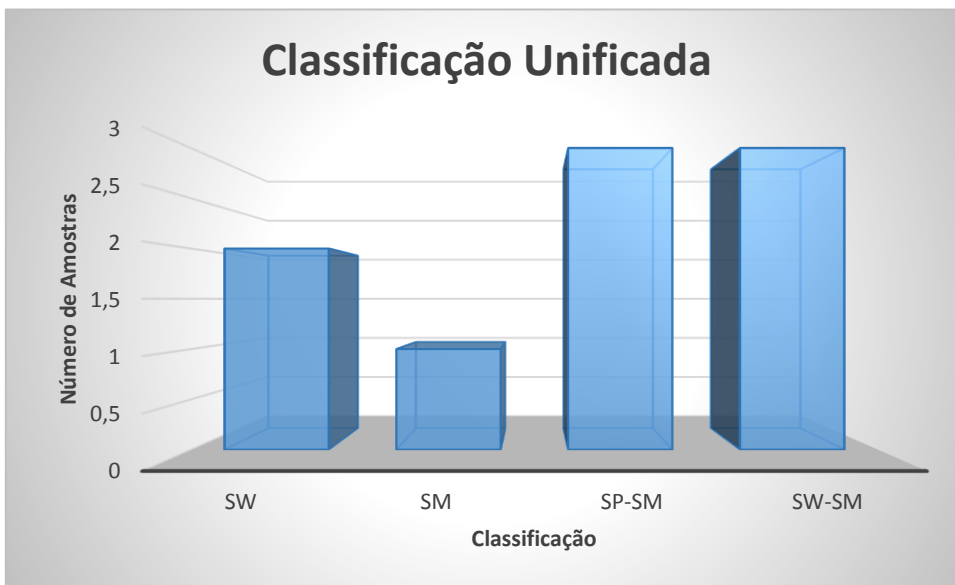


Figura 63 - Classificação Unificada

5.2 - Resultados do ensaio de Azul-de-metileno

Este método avalia a suscetibilidade dos solos à variação do teor em água pela determinação da superfície específica das argilas.

A adsorção do azul-de-metileno pelos minerais argilosos permite medir a sua superfície hidrófila e, deste modo, avaliar a capacidade que os minerais possuem para fixar a água.

Essa capacidade, através da norma EN 933-9, é classificada em 6 níveis de comportamentos diferentes, Tabela 6.

Tabela 66 - Classificação EN 933-9; MBv - Valos MB, expresso em gramas de corante por quilograma da fração granulométrica 0/2 mm;

MBv	Descrição
0 - 0,1	Limiar de insensibilidade à água
0,11 - 0,2	Limiar acima o qual o solo é certamente sensível à água
0,21 - 1,5	Limiar entre o arenoso-siltoso e solos arenoso-argiloso
1,51 - 2,5	Limiar entre o solo siltoso ligeiramente plástico e solo siltoso moderadamente plástico
2,51 - 6	Limiar entre solo siltoso e argiloso
6,1 - 8	Limiar entre solos moderadamente argilosos e muito argilosos

Quanto maior é a percentagem de argilas no solo em estudo maior é a necessidade de acrescentar solução corante durante o ensaio para obter um teste da mancha positivo.

Em todas as amostras ensaiadas tal nunca foi necessário, pois a quantidade de argilas presentes nas amostras era muito reduzida. A maior quantidade de solução empregue nos ensaios foi de 25ml de corante na AM4, o que faz sentido pois é de longe a amostra com maior percentagem de finos, Tabela 4. No entanto a média de corante utilizado foi 15ml por ensaio.

A Tabela 7 mostra os resultados obtidos e a sua classificação:

Tabela 7 - Resultados Azul-de-metileno; MBv - Valos MB, expresso em gramas de corante por quilograma da fração granulométrica 0/2 mm;

	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	AM7	AM8	AM9
MBv	0,71	0,25	0,43	1,13	0,7	0,48	0,49	0,83	0,7
Classificação									

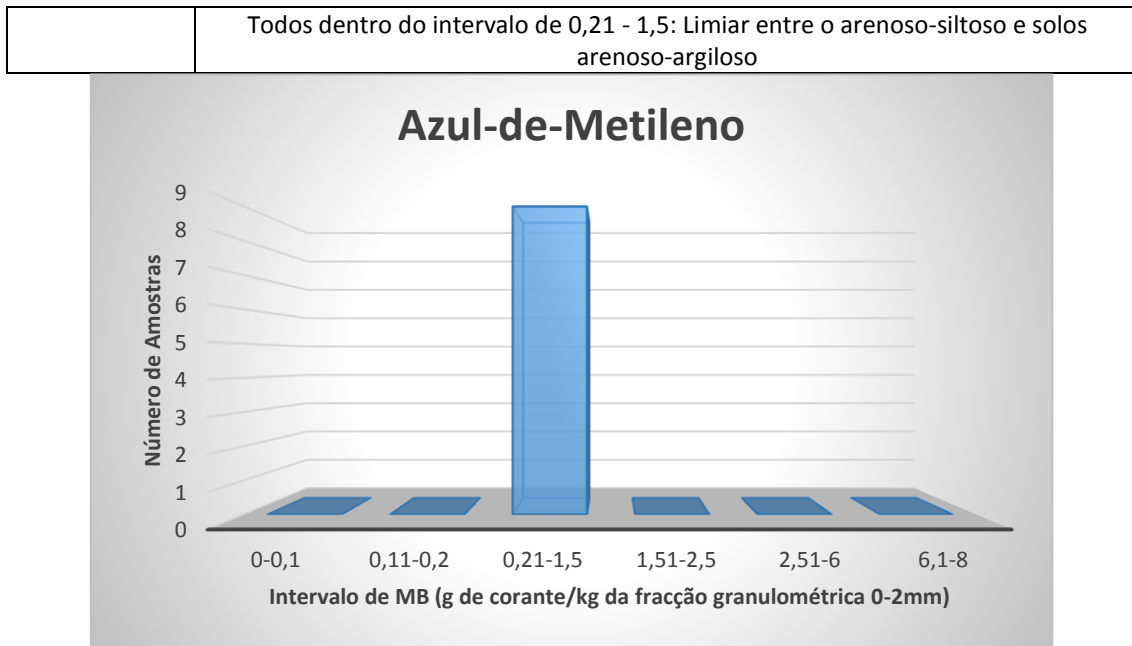


Figura 64 - Resultados Azul-de-metileno.

Através da análise da Figura 64 e da Tabela 7 podemos concluir que todas as amostras estão dentro do intervalo de MBv 0.21-1.5 o que traduz que estamos presentes a solos no limiar entre o arenoso-siltoso e arenoso-argiloso.

Esta classificação vai ao encontro do tipo de solo classificado através dos métodos AASHTO e Unificada.

O ensaio de azul-de-metileno permite também classificar a atividade da argila. Para tal faz uma relação entre o índice de plasticidade em percentagem e a percentagem de solo que passa pelo peneiro 0.002mm, Equação 6.

$$A = \frac{\%IP}{\% \leq 0.002}$$

(Equação 6)

O índice de atividade é dado pela Tabela 8:

Tabela 8 - Classificação das argilas quanto à atividade (Antão, 2007).

Argila	A
Muito ativa	>1,25
Normal	0,75-1,25
Pouco ativa	<0,75

Como o IP de todas as amostras é inferior a 1 sendo todos muito próximos do 0, classificados como NP, e a percentagem de finos inferior a 0.002mm é muito baixa próxima do 0 também. Em todas as amostras o índice de atividade é menor que 0.75, logo muito **Pouco ativa**.

5.3 - Determinação da densidade das Partículas

As densidades das partículas, à temperatura tx, em relação à da água destilada a 20°C, das amostras apresentam-se na Tabela 9.

Tabela 9 - Determinação da densidade das partículas; Todos os valores estão apresentados em g/cm³;

	AM1			AM2			AM3		
Densidade	2,66	2,61	2,54	2,56	2,51	2,54	2,48	2,61	2,75
Média Ponderada	2,60			2,54			2,61		

	AM4			AM5			AM6		
Densidade	2,73	2,72	2,74	2,76	2,78	2,78	2,66	2,63	2,68
Média Ponderada	2,73			2,77			2,66		

	AM7			AM8			AM9		
Densidade	2,74	2,71	2,76	2,75	2,75	2,74	2,46	2,49	2,55
Média Ponderada	2,74			2,75			2,50		

5.4 - Ensaio de corte direto

Como foi especificado no capítulo anterior, os ensaios de corte direto tiveram três fases distintas: Fase de Saturação, Fase de Consolidação e Fase de Corte.

Na Figura 65 é apresentado os gráficos da Fase de Consolidação para os 3 provetes realizados para a AM8.

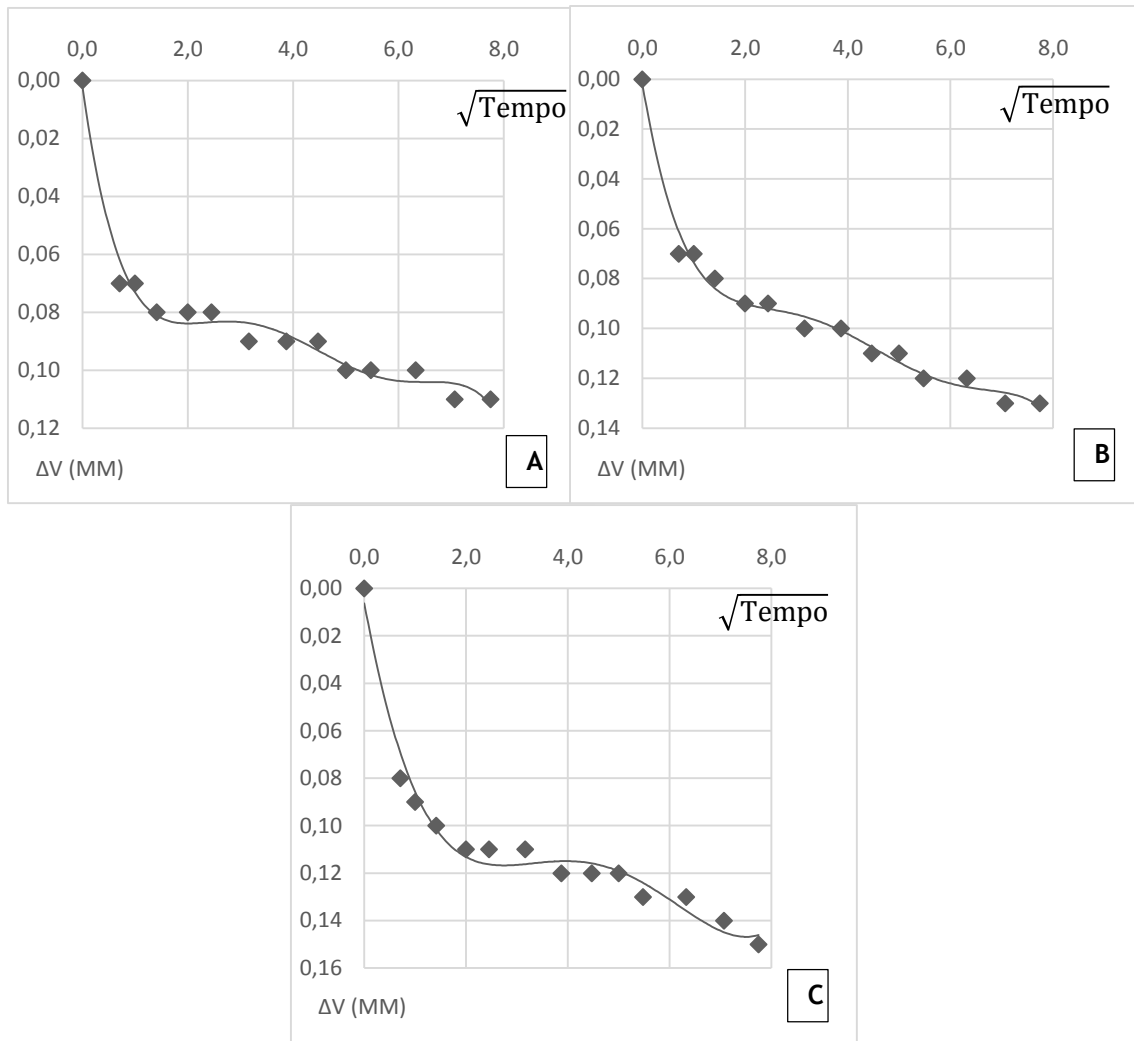


Figura 65 - Gráficos Fase de Consolidação; A - Tensão 54.05kPa; B - Tensão 106.04kPa; C - Tensão 210.02kPa;

As curvas típicas da Fase de Corte da AM8 podem ser vistas na Figura 66, 67 e 68. Uma vez que as curvas no que diz respeito às tensões de corte essencialmente têm progressão de sucessivos aumentos até atingirem uma estabilização para as grandes deformações.

Este facto vem provar que estamos na presença de um solo solto e que pode ser equiparado a um solo normalmente consolidado, onde as tensões máximas de corte não dependem da compactidade do mesmo e sim das características e tamanhos dos grãos que constituem o solo. Esse fator pode justificar os ângulos de atrito superiores a 40° , uma vez que a caixa de corte era de dimensões reduzidas uma granulometria um pouco mais grossa poderá ter originado pequenas influências nos resultados.

Na Tabela 10 e Figura 69 estão expostos todos os resultados finais de todos os ensaios realizados.

Saliento que os dados apresentados consideram uma área não corrigida e o ângulo de atrito último. Estes valores encontram-se no intervalo de 26.18° até 43.80° . Não foi utilizado os ângulos com a área corrigida pois estes davam valores em média superiores ao da não corrigida na ordem de 4° a 5° , sendo que tal situação não parece lógica além de não ser conservadora.

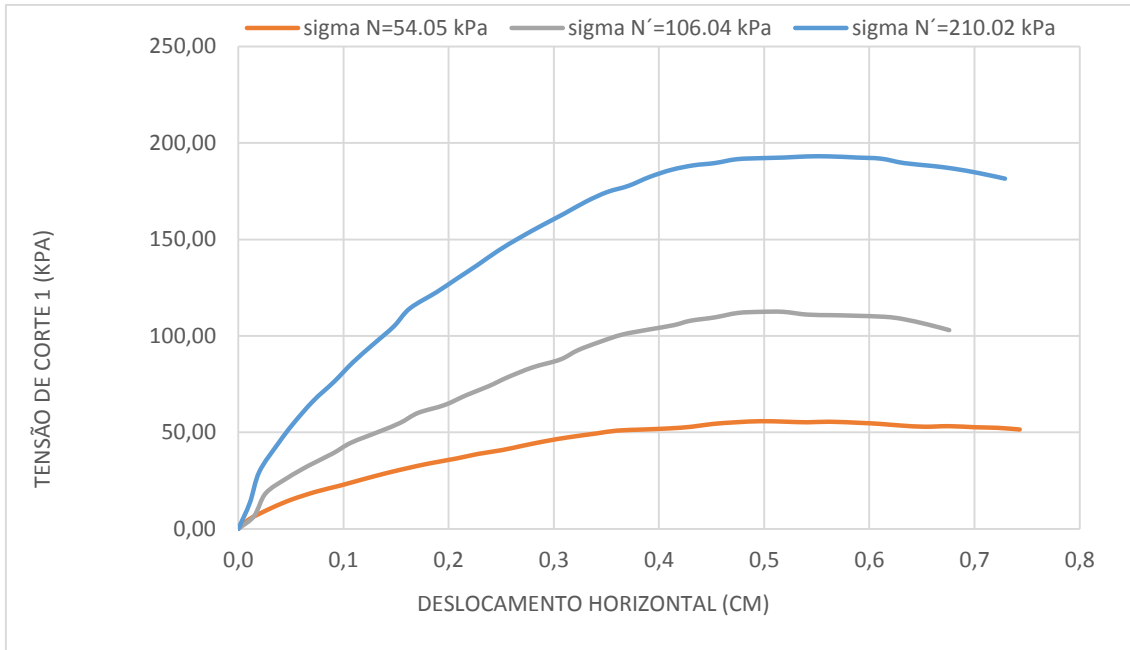


Figura 66 - Gráfico da Tensão de Corte Não Corrigida em relação ao Deslocamento Horizontal; Amostragem 8;

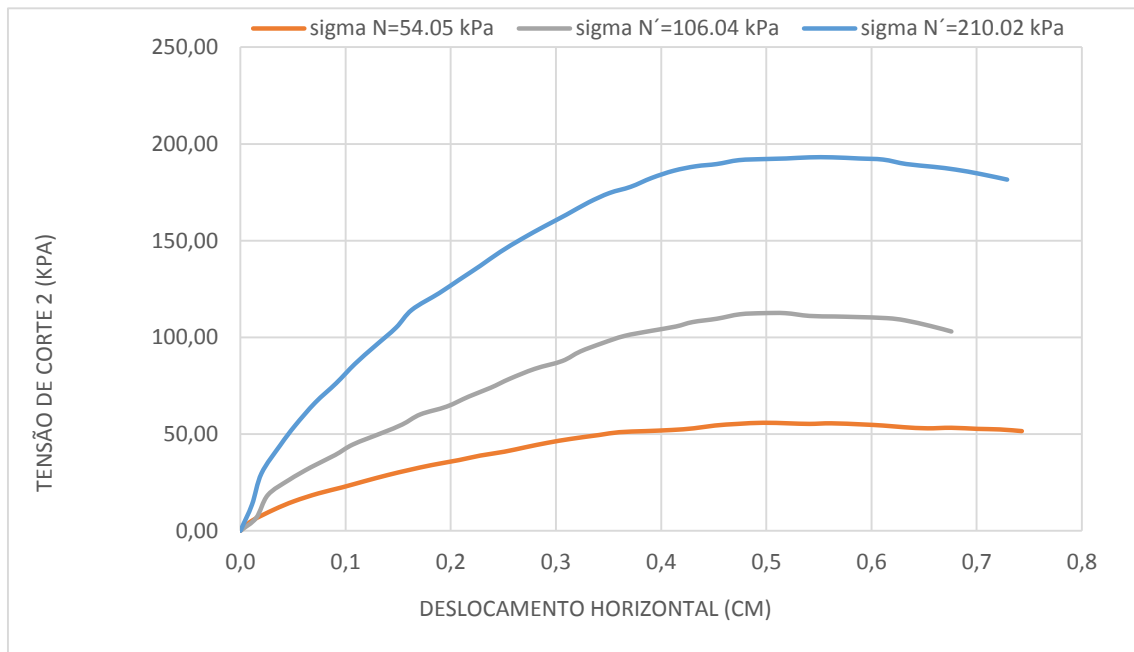


Figura 67 - Gráfico da Tensão de Corte Com Área Corrigida em relação ao Deslocamento Horizontal; Amostragem 8;

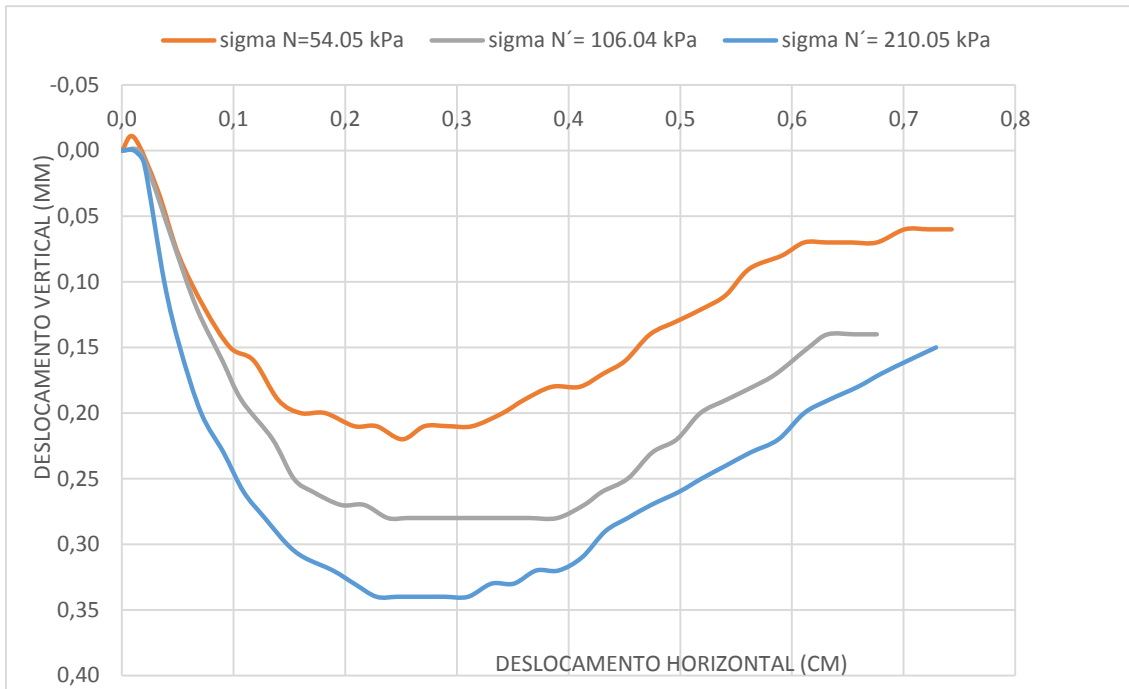


Figura 68 - Gráfico que relaciona o Deslocamento Vertical com o Deslocamento Horizontal; Amostragem 8;

Tabela 10 - Síntese dos resultados dos ângulos de atrito.

	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	AM7	AM8	AM9
ϕ	39,80°	42,84°	38,80°	28,75°	26,78°	39,33°	37,39°	41,65°	33,48°
Nota	Dados da envolvente de rotura-T Não Corrigida; Ângulo de Atrito Último								

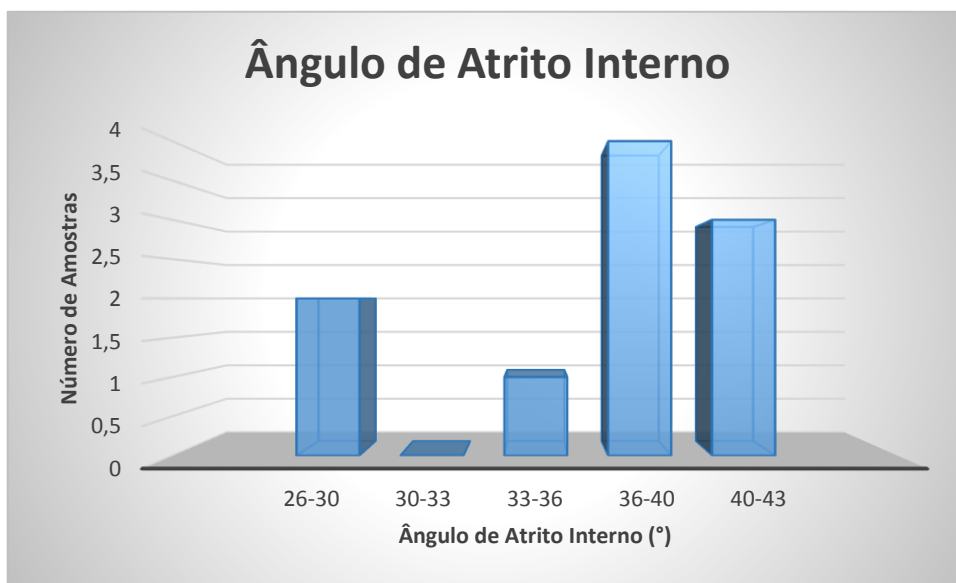


Figura 69 - Resultados do Ensaio de Corte.

5.5 - Tabela Síntese

Em forma de conclusão é apresentada em baixo, Tabela 11, uma tabela que contem todos os resultados dos diferentes ensaios realizados.

Tabela 11 - Tabela Síntese;

Amostra	Densidade	D10	D15	D25	D30	D40	D50	D60	D65	Pf	Cu	Cc	ASSHTO	USCS	Azul-de-Metileno	ϕ	IP
AM1	2,60	0,09	0,16	0,32	0,43	0,8	1,98	3,95	5,45	8,54	43,89	0,52	A-1-b	SP-SM	0,71	39,80°	NP
AM2	2,54	0,12	0,18	0,385	0,52	1	2,1	3,85	5	5,52	32,08	0,59	A-1-a	SP-SM	0,25	42,84°	NP
AM3	2,61	0,1	0,165	0,385	0,5	0,8	1,55	2,35	2,85	7,82	23,5	1,06	A-2	SW-SM	0,43	38,80°	NP
AM4	2,73	0,068	0,1	0,225	0,3	0,51	0,8	1,3	1,65	12,45	19,12	1,02	A-2	SM	1,13	28,75°	NP
AM5	2,77	0,1	0,175	0,31	0,4	0,7	1,1	1,65	2	8,29	16,5	0,97	A-2	SP-SM	0,7	26,78°	NP
AM6	2,66	0,13	0,2	0,5	0,7	1,35	1,95	3,5	4,76	6,43	26,92	1,08	A-1-b	SW-SM	0,48	39,33°	NP
AM7	2,74	0,425	0,795	2	2,5	3,5	4,7	5,95	6,5	3,66	14	2,47	A-1-a	SW	0,49	37,39°	NP
AM8	2,75	0,25	0,51	1,3	1,8	2,9	4,1	6	7	4,93	24	2,16	A-1-a	SW	0,83	41,65°	NP
AM9	2,50	0,08	0,145	0,3	0,4	0,67	1	1,65	2	9,52	20,63	1,21	A-2	SW-SM	0,7	33,48°	NP

Capítulo 6

6 - Discussão/Conclusão

O trabalho de campo mostrou que a serra da Estrela tem um carácter geológico e geotécnico peculiar a nível nacional e digno de estudo.

Os levantamentos fotográficos dos locais de amostragem provam isso mesmo, mostrando uma constituição *diamicton* silto-arenoso com a presença generalizada de blocos e calhaus de pequena dimensão centimétrica até grandes dimensões métricas.

Os locais de amostragem situam-se todos em vertentes de grande inclinação. O declive das vertentes chegam a atingir inclinações de 85° a 90°, como no caso da AM5 e AM6.

Sendo uma montanha granítica por excelência com um passado glacial detém vários tipos de granitos, como se observa na Figura 34. Os granitos encontram-se bem organizados por grande parte da área da montanha com exceção dos depósitos glaciares onde podemos encontrar vários tipos de granitos no mesmo corte. Essa diversidade de granitos tem mais significado no vale da ribeira da Alforfa onde foram detetados três diferentes tipos, este fator é explicado devido aos processos erosivos que aconteceram a cerca de 20 mil anos na UMGSE, onde os glaciares fraturam e arrancaram granito ao longo do seu leito e depositaram esses sedimentos em vales como a ribeira da Alforfa e o Zêzere.

Os estudos realizados nas amostras serranas mostram que em todos os cortes foram encontrados solos sedimentares graníticos pouco evoluídos, sendo que através de ensaios granulométricos a maior parte deles são classificados como SP-SM e SW-SM e mais raramente como SM e SW segundo a classificação Unificada, Anexo I, e essencialmente por A-2 e A-1-a e pontualmente como A-1-a pela classificação AASHTO, Anexo I.

São portanto solos de carácter arenoso de granulometria extensa e grande heterometria.

Uma análise mais profunda das partículas arenosas revelou partículas muito angulosas e rugosas.

Sendo solos com pouca percentagem de material fino atingindo o máximo na AM4 com 12.45% e o mínimo na AM7 com apenas 3.66% de finos. Através dos ensaios de Azul-de-metileno e do teste da macha foram obtidos valores de MBs entre o 0.25 e o 1.13 o que classifica os finos entre o limiar do silto e o argiloso não plásticos. Já em termos de atividade foram classificadas como Pouco Ativos.

A partir dos ensaios de corte direto em amostras saturadas e com tensões normais na fase de corte iguais às da fase de consolidação, considerando os resultados em termos de tensões residuais, levaram a obter ângulos de atrito interno considerados válidos entre os 26.78° e os 42.84°, sendo que os mais frequentes estão no intervalo entre os 36° e 40°.

Salientamos o registo de dois valores de 41.65° e 42.84°, AM8 e AM2 respetivamente. Tendo em conta o carácter silto-arenoso das amostras eram esperados valores na ordem dos 30° a 40° e não superiores a esse intervalo, sendo que o registo dos valores referidos podem ter acontecido devido à dimensão da caixa de corte ser muito reduzida o que aliando ao ensaio de provetes com uma granulometria um pouco mais grossa, existindo a possibilidade de estarem grãos maiores no plano de corte o que pode ter falseado um pouco o resultado na ordem de 1° a 2° (Andrade Pais, 2015).

A densidade das partículas é um pouco elevada atingindo o valor máximo na AM5 com 2.77g/cm³ sendo o local de amostragem com menor densidade a AM2 com 2.54g/cm³. O intervalo mais frequente de densidade de partículas por todas as amostras situa-se entre os 2.71g/cm³ e 2.75g/cm³ perfazendo 3 amostras dentro desse intervalo, 1/3 de todas as amostras estudadas. No entanto os valores são próprios de solos graníticos.

Os dados obtidos pelos ensaios deixam algumas questões pertinentes por esclarecer, como por exemplo como é que o ângulo de atrito interno esteja situado entre os 30° a 40° quando foram retiradas de vertentes onde grande parte delas tem inclinações superiores a 60°, onde algumas alcançam inclinações praticamente perpendiculares: AM4, AM5 e AM6.

Tal situação pode ter muitas razões e parâmetros intervenientes, como:

- A presença de blocos e calhaus de grande dimensão: uma vez que em todos os locais de amostragem foi encontrado o mesmo cenário, excetuando AM8, de uma matriz envolvendo e suportando grandes blocos e calhaus de rocha sólida. Essa característica pode explicar a relativa estabilidade das vertentes, uma vez que os grandes blocos têm um comportamento diferente da matriz quando aplicada uma tensão de corte (Perdomo, 2010). Ou seja, tem que ser aplicada uma maior tensão de corte para atingir o estado de rotura e acontecer o movimento de massa. Esse fator vai aumentar exponencialmente o ângulo do atrito interno do solo quando o considerado como um todo.

Alguns blocos observados podem chegar ao peso de algumas toneladas, esse peso vai aplicar uma tensão normal elevada sobre a componente mais fina, promovendo assim uma maior compactação da matriz principalmente por baixo dos blocos, situação muito comum e registada durante todo o trabalho de campo. Com tensões normais elevadas aliando uma compactação e imbricação da matriz que envolve o bloco vai aumentar a resistência ao corte, aumentando o ângulo de atrito.

- Vegetação: em todas as vertentes pode ser observado uma densa vegetação, principalmente de arbustos e pontualmente de árvores de médio a grande porte. Este coberto vegetal, através das suas raízes, funciona como fixador natural do solo além de aumentar a tensão normal sobre a vertente. Quanto maior é a tensão normal maior será o atrito entre as partículas do solo, logo maior será a sua resistência ao corte.

A vegetação além de funcionar como fixador também impede que a água, proveniente da precipitação, seja totalmente absorvida pelo solo já de si com presença de água constante o ano inteiro em alguns cortes estudados, AM1, AM2 e AM3 nomeadamente. A água até uma determinada quantidade estabelece uma coesão aparente através de uma ação eletrostática das moléculas de H₂O exercendo uma força de sucção entre os grãos do solo e as moléculas de água, mas com o aumento de água no solo esse efeito desaparece podendo provocar roturas no solo originando movimentos de massa.

O coberto vegetal ajuda a equilibrar a balança de água infiltrada no solo, por esse motivo sempre que existe grandes áreas ardidadas no verão com a chegada das chuvas do inverno acontecem deslizamentos e derrocadas, como aconteceu na EN338 no inverno de 2005 após o grande incendio no verão desse mesmo ano.

Assim sendo podemos considerar que os solos analisados, através dos ensaios granulométricos e de azul-de-metileno, têm, para parâmetros da Engenharia Civil, uma qualidade Regular a Excelente como solos para receber fundações com uma Boa Compactação e Pouca ou Nenhuma compressibilidade e expansão, segundo SUCS (Anexo I).

Porém os pequenos ângulos de atritos internos obtidos em laboratório em relação ao declive das vertentes onde se encontram tornam muito vulnerável qualquer construção implantada no local, sendo que qualquer projeto de construção deve ter isso em conta.

Por consequência desse fator é fundamental aumentar a estabilidade das vertentes, sendo que para o efeito já foram aplicados algumas técnicas como a construção de muros de gaviões no vale da Alforfa, embora com resultados pouco eficazes, e a implantação de uma rede metálica ancorada no solo em manteigas mas sendo um método mais defensivo do que propriamente um método estabilizador de vertentes. Consideramos que uma reflorestação dos dois vales, uma drenagem de águas eficiente e uma prevenção constante contra incêndios pode ser métodos eficazes e de relativo baixo custo para uma maior prevenção de movimentos de massa.

Bibliografia

- Almeida, P. G. (2005). *DEFORMAÇÃO EM COMPORTAMENTO FRÁGIL NA REGIÃO DA SERRA DA ESTRELA*. Covilhã. Tese de Doutoramento, UBI.
- Andrade Pais, L. J. (23 de Setembro de 2015). (Filipe Ferreira, Entrevistador)
- Antão, A. M. (2007). *Sebenta da Poluição dos Solos*. Guarda: Instituto Politecnico da Guarda.
- ASTM. (1973). *Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes (D3282-73)*. ASTM.
- ASTM. (1989). *Classification of soils for engineering purposes*. Philadelphia: ASTM.
- Batista, J. D. (1993). *Do Ermínio à Serra da Estrela*. Manteigas: Câmara Municipal de Manteigas/Parque Natural da Serra da Estrela.
- Cavaleiro, V. (2001). *Condicionantes Geotécnicas à Expansão do Núcleo Urbano da Covilhã*. Covilhã: UBI - Universidade da Beira Interior. Tese de Doutoramento
- CEN/TC 341. (2004). *Geotechnical investigation and testing - Laboratory testing of soil - Part 10: Direct shear tests (ISO/TS 17892-10:2004(E))*.
- Daveau, S. (1971). *La glaciation de la Serra da Estrela*. Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia.
- E195. (1966). *Classificação por via seca de amostras para ensaios de identificação*. Lisboa: LNEC.
- E196. (1966). *Análise granulométrica*. Lisboa: LNEC.
- Elorza, M. G. (2008). *Geomorfología*. Zaragoza: Pearson Educación, S.A.
- EN 933-9. (1998). *Ensaio das propriedades geométricas dos agregados - Parte 9: Determinação do teor de finos - Ensaio do azul de metileno*. CEN - Comité Europeu de Normalização.
- Fernandes, G., Brigas, J., Lopes, A., & Castro, E. (2005). *Dinâmicas Demográficas e Transformação da Paisagem nos Concelhos do Parque Natural da Serra da Estrela (PNSE)*. Guarda: Escola Superior de Educação da Guarda - IPG.

- Ferreira, N., & Vieira, G. (1999). *Guia Geológico e Geomorfológico do Parque Natural da Serra da Estrela*. Parque Natural da Serra da Estrela.
- Google Mapas. (2 de Setembro de 2015). *Google Mapas*. Obtido de Google Mapas: <https://www.google.pt/maps/@40.3509691,-7.5708678,15887m/data=!3m1!1e3>
- Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. (23 de Julho de 2015). *Parque Natural da Serra da Estrela*. Obtido de <http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/ap/p-nat/pnse>
- Instituto Nacional de Estatística. (23 de Julho de 2015). *CENSOS 2011*. Obtido de Instituto Nacional de Estatística: <http://mapas.ine.pt/map.phtml>
- LNEG. (12 de Agosto de 2015). *geoPortal LNEG*. Obtido de LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia: <http://geoportal.lneg.pt/geoportal/mapas/index.html>
- Migon, P., & Vieira, G. (2014). Granite geomorphology and its geolical controls, Serra da Estrela, Portugal. *Geomorphology*, 1-14.
- Mora, C. (2010). A synthetic map of the climatopes of the Serra da Estrela (Portugal). *Journal of Maps*, 591-608.
- NP143. (1969). *Determinação dos limites de consistência*. Lisboa: LNEC.
- NP83. (1965). *Determinação da densidade de partículas*. Lisboa: LNEC.
- NP84. (1965). *Determinação do teor em água*. Lisboa: LNEC.
- Perdomo, C. V. (2010). *Influência das Propriedades Físico-Mecânicas e Hídricas do Solo na Susceptibilidade e Escorregamentos em Vertente Declivosa na Serra do Mar em Ubatuba, São Paulo*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas.
- Pereira, J. C. (2010). *Carta de Susceptibilidade e Risco Geológico do sector Sudoeste da Serra da Estrela*. Porto: FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Pinto, C. S. (2002). *Curso básico de mecânica dos solos*. São Paulo: Oficia de Textos.
- Priberam. (23 de Julho de 2015). *Priberam Dicionário*. Obtido de Priberam: <http://www.priberam.pt/DLPO/glaciar>

Vieira, G. B. (2004). *GEOMORFOLOGIA DOS PLANALTOS E ALTOS VALES DA SERRA DA ESTRELA*.
Lisboa. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa.

ANEXOS

Anexo I - Classificação de Solos

Tabela 12 - Classificação de solos segundo a U.S.C.S. (ASTM, 1989).

Solos de granulometria grossa mais de 50 % do solo retido na peneira n° 200	Pedregulhos mais que 50 % da fração grossa	Pedregulhos limpos Menos que 5 % de finos ^C	$Cu \geq 4$ e $1 \leq Cc \leq 3$ ^E $Cu < 4$ e/ou $1 > Cc > 3$ ^E	GW	Pedregulho bem graduado ^F
		Pedregulhos com finos Mais que 12 % de finos ^C	Finos classificam-se como ML ou MH	GP	Pedregulho mal graduado ^F
		Areias limpas Menos de 5 % de finos ^D	$Cu \geq 6$ e $1 \leq Cc \leq 3$ ^E $Cu < 6$ e/ou $1 > Cc > 3$ ^E	GM	Pedregulho silto ^{F, G, H}
		Areias com finos Mais de 12 % de finos ^D	Finos classificam-se como CL ou CH	GC	Pedregulho argiloso ^{F, G, H}
Solos de granulometria fina 50 % do solo ou mais passa na peneira n° 200	Siltos e argilas Limite de liquidez menor que 50	Inorgânicos	$IP > 7$ e sobre ou acima da linha "A" $IP < 4$ e abaixo da linha "A"	CL	Argila pouco plástica ^{K, L, M}
		Orgânicos	$\frac{LL - \text{seco em estufa}}{LL - \text{não seco em estufa}} < 0,75$	ML	Silte
				OL	Argila orgânica ^{K, L, M} Silte orgânico ^{K, L, M, O}
		Inorgânicos	IP sobre ou acima da linha "A" IP abaixo da linha "A"	CH	Argila muito plástica ^{K, L, M}
		Orgânicos	$\frac{LL - \text{seco em estufa}}{LL - \text{não seco em estufa}} < 0,75$	MH	Silte elástico ^{K, L, M}
				OH	Argila orgânica ^{K, L, M, P} Silte orgânico ^{K, L, M, Q}
Solos altamente orgânicos	Principalmente matéria orgânica, escura na cor e com odor orgânico			PT	Turfa

Tabela 13 - Classificação dos solos segundo a HRB (ASTM, 1973).

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES (35% OU MENOS PASSANDO NA PENEIRA N° 200)							MATERIAIS SILTO-ARGILOSOS (MAIS DE 35% PASSANDO NA PENEIRA N° 200)			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5 A - 7 - 6
Classificação em Grupos	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Granulometria: % passando na peneira: N° 10 (2,0 mm.) N° 40 (0,42 mm.) N° 200 (0,074mm.)	50 máx.		51 mín.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Característica da fração passando na peneira no. 40: Limite de Liquidez (%) Índice de Plasticidade (%)			NP	40 máx. 10máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.
Índice de Grupo (IG)	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedra, pedregulho fino e areia		Areia fina	Pedregulhos ou areia siltosas ou argilosas				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

* O IP do grupo A - 7 - 5 é igual ou menor do que o LL menos 30; se maior será A - 7 - 6 .

Tabela 14 - Características dos solos segundo a HRB (ASTM, 1973).

Classificação geral	Grupo	Subgrupo	Característica
Materiais granulares (35% ou menos passa pela malha N° 200)	A-1		Mistura de pedregulhos, areias e siltes com pouca ou nenhuma plasticidade. Boa graduação. Inclui-se também no grupo dos solos grossos sem finos.
		A-1-a	Materiais formados por pedregulhos e, em geral, partículas grossas com ou sem siltes
		A-1-b	Material formado por areias grossas com ou sem siltes
	A-3		Areias finas e uniformes, sem quantidades importantes de siltes ou argilas. Tipo de areias de praia e areias de dunas.
	A-2		Inclui todos os materiais granulares que não estiverem classificados em A-1 nem em A-3
	A-2-4 A-2-5		Correspondem a solos tipo pedregulhos e areias grossas, com conteúdo de finos cujos índices de plasticidade são maiores que os dos indicados em A-1. A fração sob a malha N°40 tem as características de A-4 e A-5, respectivamente.
		A-2-6 A-2-7	Características similares aos A-2 e A-2-5. A fração sob a malha N°40 tem características similares às de A-6 e A-7 respectivamente.
Siltes argilosos (Mais do 35% passa pela malha N° 200)	A-4		O material corresponde a um sítio de moderada ou nenhuma plasticidade. Na presença de água perde grande parte da sua estabilidade e é propenso à erosão.
	A-5		Solo parecido com o A-4, com a exceção de ter um caráter micáceo e limite líquido muito alto. É altamente elástico e em presença da água, perde sua estabilidade e é muito propenso à erosão.
	A-6		O material é uma argila plástica que pode conter algumas quantidades de pedregulhos e areia. Tem uma resistência alta no estado seco que diminui significativamente ao absorver água
	A-7		É similar ao A-6, exceto pelo seu alto limite de liquidez, o que faz com que seja elástico e propenso a consideráveis mudanças volumétricas.
	A-7-5 A-7-6		Inclui os materiais com moderado índice de plasticidade em relação com o limite de liquidez. Podem ser elásticos e expansivos.
			Inclui os materiais com alto índice de plasticidade em relação com o limite de liquidez e que estão ligados a grandes movimentos de contração e expansão.

Tabela 15 - Comportamentos esperados dos solos, SUCS (Pinto, 2002).

GRUPO	COMPACTAÇÃO	COMPRESSIBILIDADE E EXPANSÃO	DRENAGEM E PERMEABILIDADE	QUALIDADE COMO ATERRO	QUALIDADE COMO SUBLEITO	QUALIDADE COMO BASE	QUALIDADE COMO FUNDAÇÃO	γ_{sat} (kN/m ³) wt(%)	ISC (%)
GW	Boa	Quase nenhuma	Boa drenagem Permeável	Muito estável	Excelente	Boa	Excelente	$\gamma_{sat} > 20,0$ wt < 10	>50
GP	Boa	Quase nenhuma	Boa drenagem Permeável	Razoavelmente estável	Excelente boa	Regular a ruim	Excelente	$\gamma_{sat} > 18,4$ wt < 12	25 - 60
GM	Boa	Pequena	Drenagem ruim semi-Permeável	Razoavelmente estável	Excelente boa	Ruim a regular	Excelente a boa	$\gamma_{sat} > 19,2$ wt < 12	> 20
GC	Boa a regular	Pequena	Drenagem ruim semi-Permeável	Razoavelmente estável	Boa	Bom a regular	Excelente	$\gamma_{sat} > 20,8$ wt < 10	> 40
SW	Boa	Quase nenhuma	Boa drenagem Permeável	Muito estável	Boa	Regular a ruim	Excelente	$\gamma_{sat} > 19,2$ wt < 12	20 - 60
SP	Boa	Quase nenhuma	Boa drenagem Permeável	Razoavelmente estável se denso	Boa a regular	Ruim	Boa	$\gamma_{sat} > 16,0$ wt < 20	10 - 30
SM	Boa	Pequena	Drenagem ruim Impermeável	Razoavelmente estável se denso	Boa a regular	Ruim	Regular a Boa	$\gamma_{sat} > 16,8$ wt < 16	8 - 30
SC	Boa a regular	Pequena a média	Drenagem ruim Impermeável	Razoavelmente estável	Boa a regular	Regular a ruim	Excelente	$\gamma_{sat} > 20$ wt < 10	20 - 60
ML	Boa a ruim	Pequena a média	Drenagem ruim Impermeável	Estabilidade regular	Regular a ruim	Não adequado	Regular a ruim	$\gamma_{sat} > 16$ wt < 16	6 - 25
CL	Boa a regular	Média	Sem drenagem Impermeável	Boa estabilidade	Regular a ruim	Não adequado	Boa a ruim	$\gamma_{sat} > 16$ wt < 16	4 - 15
OL	Regular a ruim	Média a alta	Drenagem ruim Impermeável	Não deve ser usado	Ruim, não adequado	Não adequado	Regular a ruim	$\gamma_{sat} > 14,4$ wt < 25	3 - 8
MH	Regular a ruim	Alta	Drenagem ruim Impermeável	Estabilidade regular a ruim	Ruim	Não adequado	Ruim	$\gamma_{sat} > 16$ wt < 20	< 7
CH	Regular a ruim	Muito alta	Sem drenagem Impermeável	Estabilidade regular	Ruim a muito ruim	Não adequada	Regular a ruim	$\gamma_{sat} > 14,4$ wt < 25	< 6
OH	Regular a ruim	Alta	Sem drenagem Impermeável	Não deve ser usado	Muito Ruim	Não adequado	Muito ruim	$\gamma_{sat} > 16$ wt < 20	< 4
Pt	Não adequada	Muito alta	Drenagem regular a ruim	Não deve ser usado	Não adequado	Não adequado	Extremamente ruim	Impraticável	Impraticável