



Aplicação da Engenharia Natural na Estabilização de Taludes

Tese submetida para o grau de Mestre em Engenharia Civil no Centro de Ciências Exatas e da
Engenharia (CCEE) da Universidade da Madeira

por

RÚBEN ALBERTO FERNADES DA SILVA

Orientador

Prof. Doutor Domingos Manuel Martins Rodrigues

(Universidade da Madeira – CCEE)

Setembro de 2012

Título: **Aplicação da engenharia natural na estabilização de taludes**

Autor: RÚBEN ALBERTO FERNANDES DA SILVA

CCEE – Centro de Ciências Exatas e da Engenharia

Campus Universitário da Penteada

9020-105 Funchal - Portugal,

Telefone + 351 291 705 230

Júri

Presidente de Júri

Prof. Doutor Lino Manuel Serra Maia

(Universidade da Madeira – CCEE)

Arguente

Prof. Doutor João Paulo Martins

(Universidade da Madeira – CCEE)

Orientador

Prof. Doutor Domingos Manuel Martins Rodrigues

(Universidade da Madeira – CCEE)

“A beleza de uma paisagem está no esplendor da sua ordem, que se manifesta no equilíbrio biológico dos diversos fatores que nela atuam e na sua perfeita adequação aos interesses dos Homens que nela vivem. Trabalhando com matéria viva, temos de nos sujeitar às suas leis próprias e servirmo-nos da própria interação desses fatores para conseguir os efeitos que desejamos.”

Caldeira Cabral

RESUMO

Na presente dissertação iremos demonstrar alternativas viáveis presentes na engenharia natural. Apesar da apresentação destas técnicas, não queremos defender as soluções da engenharia natural em detrimento da engenharia tradicional. Assim, vão ser descritas técnicas em ambas as áreas para uma melhor compreensão das duas técnicas, de forma a garantir uma maior otimização dos recursos e do local de construção. O objetivo é fornecer alternativas adicionais, e incentivar uma integração entre as duas técnicas. Os sistemas vivos presentes no local de construção podem ser ótimos materiais de construção. Assim a engenharia natural e a utilização de materiais vivos, para aliviar problemas ambientais, como deslizamentos em encostas e margens fluviais são uma resposta viável para estes problemas.

As ocorrências de deslizamentos de terra são muito comuns tal como os processos naturais em montanhas tectonicamente ativas, como nos Himalaias. Os taludes são áreas geralmente acentuadas, expostos a fenómenos erosivos e por isso comum a ocorrência de movimentos de vertente. Esta abordagem de estabilização de taludes requer uma verdadeira parceria entre várias disciplinas, incluindo geotecnia, hidrologia, geologia, biologia, engenharia civil, arquitetura e paisagística. Esta dissertação, visa fazer um estudo da problemática ligada à instabilidade de taludes, dando exemplos de algumas soluções realizáveis na área da engenharia natural para o controlo e estabilização de taludes e encostas

Palavras-chave: Engenharia natural, Sustentabilidade, Erosão, Movimentos de Vertente, Estabilização de Taludes, Vegetação.

ABSTRACT

In this dissertation we demonstrate viable alternatives present in natural engineering. Although the presentation of these techniques, we do not want to defend the natural engineering solutions at the expense of traditional engineering. So, techniques will be described in both areas for a better understanding of the two techniques for improved resource optimization and the construction site. The goal is to provide additional alternatives, and encourage integration between the two techniques. Living systems present on the building site can be great building materials. So the engineering and use of natural living materials, to ease environmental problems such as landslides on slopes and riverbanks are a viable answer to these problems.

The occurrences of landslides are very common as natural processes in tectonically active mountains like the Himalayas. The slopes are steep areas usually exposed to erosive phenomena therefore is common the occurrence of landslide. This approach slope stabilization requires a true partnership between various disciplines, including geotechnical, hydrology, geology, biology, civil engineering, architecture and landscape. This essay aims to do a study of the problems related to slope instability, giving some examples of feasible solutions in the area of natural engineering for control and stabilization of slopes and hillsides

Keywords: Natural Engineering, Sustainability, Erosion, Movements Strand, Slope Stabilization, Vegetation.

ÍNDICE GERAL

RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÍNDICE GERAL.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABELAS.....	xv
AGRADECIMENTOS	xvii
1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.1. Introdução	1
1.2. Objetivos.....	2
2. ESTADO DA ARTE	3
2.1. Introdução	3
2.2. Histórico de Aplicações Práticas das Técnicas de Engenharia Natural	4
3. MOVIMENTOS DE VERTENTE.....	7
3.1. Definição De Movimentos de Vertente	7
3.2. Classificação dos Movimentos de Vertente.....	8
3.3. Descrição dos Movimentos de Vertente	9
3.3.1. Queda (Fall).....	9
3.3.2. Tombamento (Topple).....	11
3.3.3. Escorregamento (Landslide).....	12
3.3.3.1. Escorregamento Rotacional (Slump).....	12
3.3.3.2. Escorregamento Translacional ou Planar.....	14

3.3.4	Extensão Lateral (Lateral Spread).....	15
3.3.5	Fluência (Flow).....	17
3.3.6	Espalhamento.....	18
3.4.	Causas da Instabilização.....	20
3.4.1.	Fatores Naturais.....	20
3.4.2.	Causas Humanas.....	20
4.	ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES.....	21
4.1.	Introdução.....	21
4.2.	Técnicas de Estabilização de Taludes.....	21
4.2.1.	Medidas de Proteção.....	22
4.2.2.	Medidas de Correção.....	24
4.2.3.	Medidas de Reforço.....	25
4.2.4.	Paredes de Contenção.....	33
5.	ENGENHARIA NATURAL NA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES E RECUPERAÇÃO AMBIENTAL.....	37
5.1.	Introdução.....	37
5.2.	Conceito de Engenharia Natural.....	37
5.3.	Origem da Engenharia Natural Pelo Mundo.....	38
5.3.1.	Nepal.....	38
5.3.2.	Itália.....	39
5.3.3.	França.....	40
5.4.	Tipos de Materiais Usados em Engenharia Natural.....	40
5.4.1.	Materiais Vivos.....	41
5.4.2.	Materiais Inertes.....	41
5.5.	Geossintéticos como Materiais Inertes.....	42
5.5.1.	Tipos de Geossintéticos.....	42
5.6.	A Vegetação como Estratégia de Construção.....	48
5.6.1.	Raízes e as suas Funções.....	50

5.6.2. Classificação da Terminologia e Estrutura.....	51
5.7. Escolha da Vegetação	51
5.8. Características da Vegetação: Efeitos Favoráveis e Desfavoráveis.....	53
5.8.1. Mecanismos Hidrológicos	53
5.8.2. Mecanismos Mecânicos.....	54
5.9. Técnicas de Engenharia Natural	55
5.9. Durabilidade das Técnicas de Engenharia Natural	66
5.10. Cuidado e Manutenção das Técnicas de Engenharia Natural	66
6. CASOS PRÁTICOS DE ENGENHARIA NATURAL.....	69
6.1. Introdução	69
6.2. O Estudo De Caso de São Vicente.....	70
6.2.1. Enquadramento Geológico	70
6.2.2. Caracterização Geomorfológico da Ilha da Madeira.....	72
6.2.3. Caracterização Climática da Ilha da Madeira.....	73
6.2.4. Vegetação	74
6.2.4.1. Critério de seleção para a escolha da vegetação.....	77
6.3. Soluções Mais Frequentes na Ilha da Madeira	79
6.4. Técnicas de Engenharia Natural mais Adequadas ao Estudo de Caso	81
6.4.1. Descrição das plantas:	87
6.4.1.1. Erica scoparia	87
6.4.1.2. Clethra arbórea	87
6.4.1.3. Myrica Faya	88
6.4.2. Aspectos Essenciais para a escolha da vegetação.....	88
6.4.3. Procedimento para o cultivo da vegetação escolhida.....	89
6.4.4. Distância das plantas	90
6.5. Dimensionamento e Estabilidade do Muro de Suporte Vivo.....	91

6.5.1. Manutenção	98
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
REFERÊNCIAS	

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1- INSTALAÇÃO DE FASCINAS VIVAS NOS EUA EM 1930 (FONTE: LEWIS, 2000).....	5
FIGURA 2- ESQUEMA DE QUEDA ROCHOSA (FONTE: HIGHLAND E BOBROWSKY,2008)	10
FIGURA 3- QUEDA ROCHOSA E DESLIZAMENTO OCORRIDO EM CLEAR CREEK CANYON, COLORADO, EUA (FOTO POR COLORADO GEOLOGICAL SURVEY). (FONTE: HIGHLAND & BOBROWSKY,2008).....	10
FIGURA 4- ESQUEMA DE TOMBAMENTO (FONTE: HIGHLAND & BOBROWSKY,2008).....	11
FIGURA 5- FOTOGRAFIA DE UM BLOCO ENVERGANDO EM FORT ST. JOHN, BRITISH COLUMBIA, CANADÁ.....	12
FIGURA 6- ESQUEMA DE ESCORREGAMENTO ROTACIONAL (FONTE: HIGHLAND & BOBROWSKY,2008)	13
FIGURA 7- “FOTOGRAFIA DE UM ESCORREGAMENTO ROTACIONAL OCORRIDO NA NOVA ZELÂNDIA. A CURVA VERDE NO CENTRO, À ESQUERDA É A ESCARPA (ÁREA ONDE O SOLO ROMPEU). O SOLO EM PEQUENAS ELEVAÇÕES NA PARTE INFERIOR, À DIREITA, É A PONTA DO DESLIZAMENTO (LINHA VERMELHA). ESTE FENÓMENO É CHAMADO ESCORREGAMENTO ROTACIONAL PELA TERRA TER SE MOVIDO DA ESQUERDA PARA A DIREITA DE MODO CURVO. A DIREÇÃO E O EIXO DA ROTAÇÃO TAMBÉM ESTÃO ILUSTRADOS”. (FOTO POR MICHAEL J. CROZIER, ENCYCLOPEDIA OF NEW ZEALAND, ATUALIZADA EM 21 DE SETEMBRO DE 2007). (FONTE: HIGHLAND & BOBROWSKY,2008)	13
FIGURA 8- ESQUEMA DE ESCORREGAMENTO TRANSLACIONAL (FONTE: HIGHLAND & BOBROWSKY,2008)	14
FIGURA 9- IMAGEM DE UM ESCORREGAMENTO TRANSLACIONAL QUE OCORREU EM 2001 NO VALE DO RIO BEATTON, BRITISH COLUMBIA, CANADA. (FOTOGRAFIA POR RÉJEAN COUTURE, CANADA GEOLOGICAL SURVEY). (FONTE: HIGHLAND & BOBROWSKY,2008).....	15
FIGURA 10- ESQUEMA DE ESPALHAMENTO LATERAL. UMA CAMADA PASSÍVEL DE LIQUEFAÇÃO ESTÁ ABAIXO DA CAMADA SUPERFICIAL. (FONTE: HIGHLAND & BOBROWSKY,2008)	16
FIGURA 11- FOTOGRAFIA DE UM ESPALHAMENTO LATERAL OCORRIDO EM UMA RODOVIA, COMO RESULTADO DO TERREMOTO LOMA PRIETA, EM 1989, NA CALIFÓRNIA, EUA. (FOTOGRAFIA POR STEVE ELLEN, U.S. GEOLOGICAL SURVEY). (FONTE: HIGHLAND & BOBROWSKY,2008).....	16
FIGURA 12- ESQUEMA DE FLUXO DE DETRITOS (FONTE: HIGHLAND & BOBROWSKY,2008)	17
FIGURA 13- “DANOS CAUSADOS POR UM FLUXO DE DETRITOS NA CIDADE DE CARABALLEDA, NA BASE DA CORDILHEIRA DE LA COSTAN, NO LITORAL NORTE DA VENEZUELA. EM DEZEMBRO DE 1999, ESTA ÁREA FOI ATINGIDA PELO PIOR DESASTRE NATURAL DO SÉCULO 20; MUITOS DIAS DE CHUVA TORRENCIAL DEFLAGRARAM O ESCOAMENTO DE LAMA, TORRÕES DE SOLO, ÁGUA E ÁRVORES QUE MATARAM APROXIMADAMENTE 30.000 PESSOAS.” (IMAGEM POR L. M. SMITH, WATERWAYS EXPERIMENT STATION, U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS). (FONTE: HIGHLAND & BOBROWSKY,2008)	18
FIGURA 14- ESQUEMA DE UM DESLIZAMENTO LENTO DE TERRA, GERALMENTE CHAMADO ESPALHAMENTO. (FONTE: HIGHLAND & BOBROWSKY,2008)	19
FIGURA 15- “ESTA IMAGEM MOSTRA OS EFEITOS DO ESPALHAMENTO, EM UMA ÁREA PRÓXIMA A EAST SUSSEX, NO REINO UNIDO, CHAMADA CHALK GRASSLANDS. TALUDES ÍNGREMES DE DEPÓSITOS DE CALCÁRIO MARINHO DESENVOLVEM UM PADRÃO ESTRIADO, HORIZONTAL, COM DEGRAUS, COBERTOS POR GRAMADO, DE 0,3 A 0,6 METROS (1 A 2 PÉS) DE ALTURA. EMBORA,	

POSTERIORMENTE, SE TORNEM MAIS DISTINTOS, DEVIDO A CAMINHOS DO GADO OU OVELHAS AO LONGO DESSAS FORMAÇÕES, (COMUMENTE CONHECIDOS POR CAMINHO DE OVELHAS), ESSES TERRENOS SÃO FORMADOS PELO MOVIMENTO DE ESPALHAMENTO, LENTO E GRADUAL DO SOLO, COLINA ABAIXO”. (IMAGEM DE IAN ALEXANDER). (FONTE: HIGHLAND & BOBROWSKY,2008)	19
FIGURA 16- ESQUEMA DE UMA VALA DE RETENÇÃO	22
FIGURA 17- ESQUEMA DE TALUDE EM BANQUETAS (FONTE: HIGHLAND & BOBROWSKY,2008).....	23
FIGURA 18- EXEMPLO DE UMA “REDE PARA ROCHAS” QUE CONTROLA AS QUEDAS ROCHOSAS EM ÁREAS PROBLEMÁTICAS. (FOTOGRAFIA POR DOUG HANSEN, HIGH ANGLE TECHRIOLOGIES, LNC). (FONTE: HIGHLAND & BOBROWSKY,2008)	24
FIGURA 19- EXEMPLOS DE EXECUÇÃO DE REPERFILAMENTO EM TALUDES.....	25
FIGURA 20- MURO DE GRAVIDADE. A- MURO DE ALVENARIA DE PEDRA B- MURO ALVENARIA DE PEDRA COM ARGAMASSA (FONTE: CARVALHO ET AL.,1991).....	27
FIGURA 21- MURO TIPO “GRAVIDADE” DE BETÃO CICLÓPICO (FONTE: CARVALHO,COORD.,1991).....	28
FIGURA 22- A. MUROS DE BETÃO ARMADO A FLEXÃO, B. MURO DE FLEXÃO CO CONTRA-FORTE (FONTE: CARVALHO,COORD.,1991)	29
FIGURA 23- MURO DE GABIÕES (FONTE: HTTP://PARQUESSUSTENTAVEIS.BLOGSPOT.PT/2012/08/GABIOES-COM-ENTULHOS-DE-CONSTRUCAO.HTML).....	30
FIGURA 24- DETALHE GABIÃO CAIXA (FONTE: HTTP://WWW.GEOBRASIL.COM.BR/COMEP.HTML).....	30
FIGURA 25- DETALHE GABIÃO MANTA (FONTE: HTTP://WWW.GEOBRASIL.COM.BR/COMEP.HTML).....	31
FIGURA 26- DETALHE GABIÃO TIPO SACO (FONTE: HTTP://WWW.GEOBRASIL.COM.BR/COMEP.HTML).....	31
FIGURA 27 MURO CRIB WALL (FONTE: HTTP://WWW.MOORE-CONCRETE.COM/CIVIL/PRODUCT/1/20/)	32
FIGURA 28- MURO DE SACOS DE SOLO-CIMENTO (FONTE: CARVALHO,COORD.,1991)	32
FIGURA 29- MURO DE CONTENÇÃO COM RECURSO A PREGAGENS FONTE: HTTP://WWW.ENGENHARIACIVIL.COM/ESTABILIZACAO-TALUDES-RECURSO-REGAGENS).....	33
FIGURA 30- MURO DE BERLIM (FONTE: HTTP://FEG.MOTA-ENGIL.PT/ATIVIDADES/CONTENCAO-TIPO-BERLIM/).....	34
FIGURA 31- CORTINA DE ESTACAS (FONTE: WWW.BYLANDENGINEERING.COM)	35
FIGURA 32- PORMENOR DE UMA ANCORAGEM (FONTE: HTTP://WWW.GERADORDEPRECOS.INFO/IMAGENES/CYA482.JPG)	35
FIGURA 33- EXEMPLO DE ALGUNS MATERIAIS VIVOS (ESTACARIA ARBUSTIVA, SEMENTES E TRONCOS).....	41
FIGURA 34 EXEMPLO DE ALGUNS MATERIAIS INERTES	42
FIGURA 35- GEOTÊXTIL (FONTE: HTTP://WWW.ABINT.ORG.BR/CTG/GEOTEXTEIS.PHP).....	43
FIGURA 36- GEOMEMBRANA (FONTE: HTTP://WWW.ABINT.ORG.BR/CTG/GEOMEMBRANAS.PHP)	44
FIGURA 37- GEOCÉLULAS (FONTE: HTTP://WWW.ABINT.ORG.BR/CTG/GEOCELULAS.PHP).....	44
FIGURA 38- GEOCOMPOSTO (FONTE: HTTP://WWW.ABINT.ORG.BR/CTG/GEOCOMPOSTOS.PHP)	45
FIGURA 39- GEOMANTAS (FONTE: HTTP://WWW.ABINT.ORG.BR/CTG/GEOMANTAS.PHP)	46
FIGURA 40- GEOTUBO DRENANTE (FONTE: HTTP://WWW.ABINT.ORG.BR/CTG/GEOTUBOS.PHP9).....	47
FIGURA 41- GEOGRELHA (FONTE: HTTP://WWW.ABINT.ORG.BR/CTG/GEOGRELHAS.PHP).....	48
FIGURA 42- REDUÇÃO DO TEOR DE HUMIDADE NAS PROXIMIDADES DE UMA ÁRVORE. (FONTE: GRAY E SOTIR,1996)	49

FIGURA 43- EFEITOS DA VEGETAÇÃO NUM TALUDE (RETIRADO DE FERNANDES, COPPIN E RICHARDS, 1990 IN JOÃO PAULO E FREITAS, ALDO RENATO MENDES).....	50
FIGURA 44- SEMEITEIRA (FONTE: FERNANDES E FREITAS, 2011)	57
FIGURA 45- HIDROSEMEITEIRA (FONTE: FERNANDES E FREITAS, 2011).....	57
FIGURA 46- BIORROLOS (FONTE: FERNANDES E FREITAS, 2011).....	58
FIGURA 47- GEOTÊXTIS (FONTE: FERNANDES E FREITAS, 2011).....	59
FIGURA 48- ESQUEMA ILUSTRATIVO DE UMA OBRA DO TIPO PALIÇADA VIVA. A – VISTA TRANSVERSAL – VISTA B - FRONTAL. (ADAPTADO DE FERRARI, R., 2000, VOLUME 15).	60
FIGURA 49- ENTRANÇADO VIVO (FONTE: FERNANDES E FREITAS, 2011)	60
FIGURA 50- FAIXA DE VEGETAÇÃO	61
FIGURA 51- ESQUEMA DE UM MURO DE SUPORTE VIVO	62
FIGURA 52- MURO DE SUPORTE VIVO NO INÍCIO DA CONSTRUÇÃO E APÓS A SUA FINALIZAÇÃO.....	62
FIGURA 53- GRADE VIVA (FONTE: HTTP://WALLMURO.PT/INDEX.PHP?OPTION=COM_CONTENT&VIEW=ARTICLE&ID=129&ITEMID=91)	64
FIGURA 54- TERRA REFORÇADA (FONTE: FERNANDES E FREITAS, 2011)	65
FIGURA 55- GABIÃO VIVO (FONTE: FERNANDES E FREITAS, 2011)	66
FIGURA 56- CARTA GEOLÓGICA DA ILHA DA MADEIRA (FONTE: LNEC, 2009)	72
FIGURA 57- OROGRAFIA DA ILHA DA MADEIRA, (FONTE: PRAM)	73
FIGURA 58- NEVOEIRO FORMADOS SOBRE A ENCUMEADA, (FONTE: FERNANDES, 2009)	74
FIGURA 59- FAIA DAS ILHAS (MYRICA FAIA) FONTE: HTTP://OLD.ENCYCLOPEDIA.COM.PT/PRINT.PHP?TYPE=A&ITEM_ID=314	78
FIGURA 60- FOLHADO (CLETHRA ARBÓREA) FONTE: HTTP://ESCOLAS.MADEIRA- EDU.PT/LINKCLICK.ASPX?FILETICKET=6INFLSAETtA%3D&TABID=8383&MID=17884	78
FIGURA 61- URZE (ÉRICA ARBÓREA) FONTE: HTTP://ESCOLAS.MADEIRA- EDU.PT/LINKCLICK.ASPX?FILETICKET=6INFLSAETtA%3D&TABID=8383&MID=17884	79
FIGURA 62- MURO DE BETÃO PROJETADO COM PREGAGENS, FOTO DO AUTOR	80
FIGURA 63- MURO DE BETÃO CICLÓPICO, FOTO DO AUTOR.....	80
FIGURA 64- VISTA FRONTAL E LATERAL DE UMA GRADE VIVA (FONTE: VENTI, ET AL., 2003)	82
FIGURA 65- FASES DE CONSTRUÇÃO DA GRADE VIVA FONTE: (AIPIN, 2002).....	83
FIGURA 66- LOCAL ONDE É PRETENDIDO FAZER A GRADE VIVA FONTE: FOTO DO AUTOR	83
FIGURA 67- VISTA FRONTAL E LATERAL DE UM MURRO DE SUPORTE VIVO FONTE: (VENTI, ET AL., 2003).....	85
FIGURA 68- FASES DE CONSTRUÇÃO DE UM MURRO DE SUPORTE VIVO (AIPIN, 2002).....	86
FIGURA 69- LOCAL ONDE É PRETENDIDO EFETUAR O MURO DE SUPORTE VIVO FONTE: FOTO DO AUTOR	86
FIGURA 70- REPICAGEM DA PLANTA PARA LOCAL DEFINITIVO, FONTE: HTTP://CRIARBOSQUES.FILES.WORDPRESS.COM/2010/09/1- DA-SEMENTE-SE-FAZ-A-ARVORE ~	90
FIGURA 71- VISTA FRONTAL DO MURO DE SUPORTE VIVO.....	92
FIGURA 72- VISTA DA SECÇÃO TRANSVERSAL DO MURO DE SUPORTE VIVO	93

FIGURA 73- “CUSTOS COMPARATIVOS MÉDIOS DE CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO DE OBRAS VIVAS DE ENGENHARIA NATURAL E CONSTRUÇÕES INERTES (PODE ACONTECER, EM SITUAÇÕES PARTICULARES, QUE OS CUSTOS DE CONSTRUÇÃO DAS OBRAS DE EN SEJAM SUPERIORES ÀS SOLUÇÕES SÓ COM MATERIAIS INERTES)” FONTE: FERNANDES, JOÃO PAULO, ALDO, RENATO MENDES DE FREITAS, UNIVERSIDADE DE ÉVORA (ICAAM), APENA), INTRODUÇÃO A ENGENHARIA NATURAL.....99

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1- CLASSIFICAÇÃO MOVIMENTOS DE VERTENTE VARNES (1978)	8
TABELA 2- CLASSIFICAÇÃO DA VELOCIDADE DE MOVIMENTO SEGUNDO VARNES (1978).....	9
TABELA 3- EFEITOS DA VEGETAÇÃO SOBRE A ESTABILIDADE DE ENCOSTAS	55
TABELA 4- TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL	56
TABELA 5- CARACTERÍSTICAS E DISTÂNCIA ENTRE AS PLANTAS.....	91
TABELA 6- CARACTERÍSTICAS DO SOLO.....	93
TABELA 7- CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA	94
TABELA 8- IMPULSOS NO SOLO.....	95
TABELA 9- ELU DE DESLIZAMENTO	96
TABELA 10- ELU DE DERRUBAMENTO	97
TABELA 11- ELU POR RUTURA DE FUNDAÇÃO.....	98
TABELA 12- VERIFICAÇÕES DE SEGURANÇA POR FATORES GLOBAIS E SEGUNDO EC 7.....	98

AGRADECIMENTOS

À Maribel Gomes, pelo apoio nos momentos mais difíceis, pela constante motivação, pela disponibilidade e interesse demonstrado.

Ao Professor Doutor Domingos Rodrigues, orientador desta dissertação, pelos seus conhecimentos, pela vontade em ajudar, tal como pela sua orientação e apoio prestado.

À Camara Municipal de São Vicente pelo interesse e disponibilidade demonstrada em acolher este projeto no seu conselho e pela colaboração demonstrada.

Um agradecimento especial aos meus pais, avós, meu irmão e restantes familiares pela motivação fornecida e por sempre acreditarem em mim.

À minha prima Liliana Reis pela ajuda e disponibilidade.

Aos meus amigos, colegas e professores que me acompanharam no percurso académico.

À Dr.^a Cristina Medeiros e ao César Pestana por toda a ajuda disponibilizada.

A todos, muito obrigado!

1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1. INTRODUÇÃO

A engenharia natural é uma técnica de estabilização de taludes que utiliza os processos naturais e que de alguma forma imita a natureza, usando materiais disponíveis localmente e um mínimo de equipamento pesado, sendo do ponto de vista da sustentabilidade uma técnica que permite resolver os problemas ambientais locais. Estas técnicas podem também ser usadas em combinação com técnicas tradicionais de engenharia, como estruturas de betão ou rocha. A erosão do solo e das rochas é um processo frequente (Harden, 2001), especialmente em zonas de montanha (Inbar e Llerena, 2000) e em clima mediterrânico (Puigdefabregas, 1998, Lasanta,2001). O número de alternativas para a estabilização de taludes são grandes, variando de simples medidas de drenagem, para o uso de técnicas de engenharia natural. A análise destas reparações em alternativa às técnicas clássicas para os problemas de estabilização exige experiência por parte do engenheiro, ao avaliar as diversas alternativas, o engenheiro terá de ter em conta fatores como: tipo de solo e rocha, águas subterrâneas; condições de topografia; impacto ambiental; disponibilidade de materiais, mão-de-obra e equipamentos; vida do projeto e de manutenção; requisitos; estruturas adjacentes e subterrânea; confiança no projeto e construção; limitações de tempo e custos. O objetivo deste trabalho é apresentar as metodologias e técnicas de estabilização de taludes com especial relevância para a engenharia natural. Também é apresentado o uso integrado de técnicas de engenharia geotécnica que permitem a substituição das técnicas clássicas com soluções ambientais, consideradas aceitáveis e sem recurso a grandes custos.

1.2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é o de apresentar o conceito de engenharia natural como alternativa viável para estabilização de taludes. Especificamente, este trabalho fornece exemplos de técnicas de engenharia natural e restauração com o objetivo principal de estabilização de taludes com a vegetação adaptada à ilha da Madeira. Existem várias técnicas de engenharia natural, passíveis de ser usadas na estabilização ou controle de uma erosão, podendo também ser combinadas com técnicas de engenharia tradicional.

É também um objetivo a execução de uma parte prática onde se irá aplicar uma ou mais técnicas de engenharia natural, em que vamos verificar quais as técnicas mais adequadas à ilha da Madeira.

2

ESTADO DA ARTE

2.1. INTRODUÇÃO

A “vegetação tem sido utilizada na engenharia há séculos, no controle de processos erosivos e como proteção e reforço em obras de engenharia civil, sendo denominadas as técnicas que conjugam a utilização deste elemento vivo engenharia natural” (Kruedener, 1951). Engenharia natural trata de uma área da engenharia que tem como objetivo a estabilização de taludes e encostas e de cursos de água resultantes da erosão, através do emprego de materiais vivos ou combinados com materiais inertes, como a pedra, madeira, geotêxteis e estruturas metálicas. “... Devido ao seu baixo custo, os requerimentos técnicos relativamente simples para instalação e manutenção, a adequação paisagística e ambiental, têm encontrado um largo campo de aplicação em regiões tropicais e semitropicais, já que nestas regiões as condições favoráveis ao crescimento da vegetação ocorrem na maior parte do ano ”(Golfari e Caser 1977).

As técnicas da engenharia natural normalmente não precisam da utilização de muitos equipamentos ou de movimentação de terra, o que propicia uma menor perturbação durante a concretização de obras de proteção de taludes e controle de erosão. Os locais em que o acesso é difícil ou até mesmo inacessível para o uso de máquinas, as técnicas da engenharia natural podem ser a única alternativa viável para a execução da obra. O uso de vegetação como material de construção vivo é uma das principais razões para que os projetos nesta área constituam uma elevada compatibilidade na integração ambiental. São consideradas essenciais do ponto de vista funcional, adotando a cobertura vegetal uma função necessária e

fundamental na defesa do solo, impedindo a ação desagregadora de agentes externos, quer por ações de tipo hidrológico, quer por ações de tipo físico-mecânico. As ações de tipo mecânico incitadas pelas plantas sobre encostas, taludes e margens de linhas de água.

Residem na proteção do solo da erosão consequentes do impacto da chuva e das águas de escorrência. Esta função de proteção dá-se devido ao aparelho radicular que aumenta a resistência ao corte, melhora os critérios geotécnicos do solo pela aglomeração das partículas do solo e a sua união na capacidade para consolidar o solo. As ações mecânicas que as plantas desenvolvem têm um importante papel ao nível do ciclo hidrológico pois reduz a água no solo através da folhagem, raízes e ramos o que contribui para a estabilização do solo.

2.2. HISTÓRICO DE APLICAÇÕES PRÁTICAS DAS TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL

Existem indícios que as primeiras aplicações desta técnica datam desde o império romano. Na China encontram-se registos que datam o século XIX, que demonstram o emprego de plantas como forma de estabilizar taludes e encostas. Mas apenas no início do século XX, a China começou a usar técnicas semelhantes para controlar inundações e a erosão ao longo do Rio Amarelo. Os países europeus, particularmente a Alemanha, empregam soluções de engenharia natural à mais de 150 anos. Uma das técnicas mais usadas pela engenharia natural em contenção de margens fluviais, é a parede de krainer, é muito semelhante com o murus gallicus, um método de construção utilizado pelos celtas na fortificação da sua cidade (oppidum). Mas é apenas a partir do século XVII que surgem as descrições técnicas na europa desta técnica. A engenharia natural do ponto de vista científico, nasce com os trabalhos pioneiros de Hugo Meinhard Schiechtl, no início do século XX. É a partir daqui que estas técnicas passam a ser utilizadas com mais ênfase e surgem em outras regiões que não na Áustria, Alemanha e Suíça. Inicialmente, surgem, no norte de Itália e, posteriormente, aparecem em todo o território mediterrânico. Foi também neste período que tornou-se conhecida na América do Norte apesar de ser apenas nos anos 30 que estas técnicas começaram a ter mais difusão (Figura 1). Depois da Segunda Guerra Mundial, com o crescimento da maquinaria de uso na terra e o desenvolvimento de novas técnicas de estabilização de encostas e controle de erosão, as práticas de engenharia natural quase

desapareceram. É importante esclarecer que a engenharia natural não visa concorrer com as técnicas tradicionais da engenharia para a estabilização de encostas, apesar, de em algumas situações mostrar-se como uma alternativa mais econômica às obras tradicionais de engenharia. A engenharia natural atua de uma forma diversificada, como o revestimento vegetal de um espaço degradado ou a estabilização de encostas e a sua consolidação e ainda a proteção dunar, defesa de margens, entre outros. Assim, as técnicas de engenharia natural, passam a ser uma boa alternativa a algumas técnicas tradicionais. Morgan e Rickson (1995) salientam que ainda hoje, a engenharia civil está cada vez mais legitimando a relevância da vegetação nos trabalhos de construção. De acordo com os mesmos autores, a engenharia natural, é uma referência, e um exemplo, em que a arte e ciência se relacionam.



Figura 1- Instalação de fascinas vivas nos EUA em 1930 (Fonte: Lewis, 2000)

3

MOVIMENTOS DE VERTENTE

3.1. DEFINIÇÃO DE MOVIMENTOS DE VERTENTE

Os taludes são zonas de topografia acentuada, com maior ou menor declive e expostos aos fenómenos erosivos. Assim, é comum a ocorrência de movimentos de material terroso ou rochoso. Esses movimentos serão designados de “Movimentos de Vertente”. Os movimentos têm velocidade variável, dependendo da topografia, clima, litologia, etc. Estes movimentos irão sempre conduzir a uma situação de equilíbrio da vertente, embora que o equilíbrio seja sempre temporário e dependa de diversos fatores.

Com o objetivo de prevenção e avaliação do risco de instabilidade desenvolveram-se diversas metodologias, para tal o conhecimento das características geotécnicas e geológicas é essencial.

3.2. CLASSIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE

Os movimentos de vertente são classificados de forma a se poder diferenciar as várias situações de instabilidade. O sistema mais aceite internacionalmente é o de Varnes, 1978 (tabela 1 e 2) que se baseia na separação entre maciços terrosos e maciços rochosos.

Tipo de Movimento			Tipo de Material			
			Maciço Rochoso	Solos		
				Predominantemente Grosseiros	Predominantemente Finos	
1	Queda ("Fall")		De rochas	De detritos	De terra	
2	Tombamento ("Topple")		De rochas	De detritos	De terra	
3	Escorregamento ("Slide")	Rotacional	Poucas unidades	Singular de Rochas	Singular de detritos	Singular de terra
				De rochas em Blocos	De detritos em blocos	De terra em blocos
		Translacional	Muitas Unidades	De rochas	De detritos	De terra
4	Extensão Lateral ("lateral spread")		De rochas	De detritos	De terra	
5	Fluência ("flow")		De rochas (fluência profunda)	De detritos (fluência de solo)	De terra (fluxo de solo)	
6	Movimentos Complexos: Combinação de dois ou mais tipos de movimentos					

Tabela 1- Classificação movimentos de vertente Varnes (1978)

Classificação	Velocidade	Tipo de movimento
Extremamente rápido	3m/s	1 - Desmoronamentos
Muito rápido	0.3m/min	
Rápido	1.5m/dia	2 - Escorregamentos
Moderado	1.5m/mês	
Lento	1.5m/ano	
Muito lento	0.3m/ 5 anos	3 - Fluência

Tabela 2- Classificação da velocidade de movimento segundo Varnes (1978)

3.3. DESCRIÇÃO DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE

3.3.1. QUEDA (FALL)

Caracteriza-se pela queda de blocos de rocha, detritos ou solo, de discontinuidades pré-existentes, em taludes muito inclinados, o deslocamento é normalmente em queda livre ou rolamento do material, os movimentos são rápidos a extremamente rápidos. Este movimento ocorre devido a ação da erosão em formações com diferentes características de resistência, o que determina que as formações mais resistentes irão ficar com trechos em consola, e como tal, estão sujeitos ao colapso por gravidade, como se pode verificar nas figuras 2 e 3.

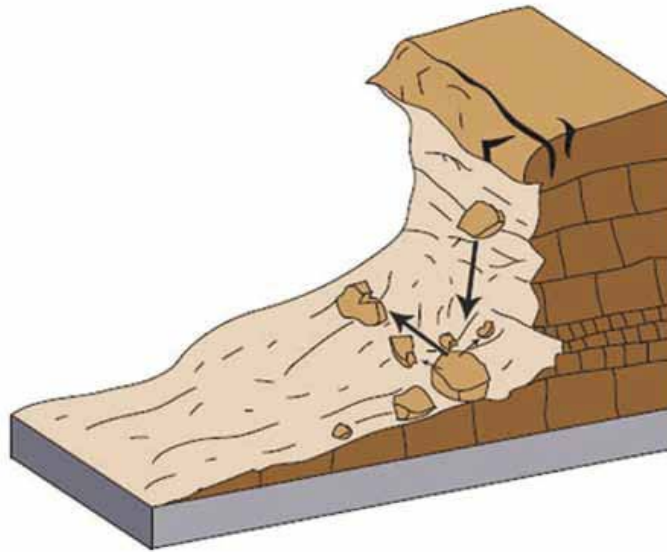


Figura 2- Esquema de queda rochosa (Fonte: Highland e Bobrowsky,2008)



Figura 3- Queda rochosa e deslizamento ocorrido em Clear Creek Canyon, Colorado, EUA (Foto por Colorado Geological Survey). (Fonte: Highland & Bobrowsky,2008)

3.3.2. TOMBAMENTO (TOPPLE)

Caracteriza-se pela ação de forças que empurram os blocos de rocha para o exterior do maciço (figura 4). Identifica-se por uma rotação frontal de uma massa de rocha ou solo para fora do talude, em torno de um eixo, abaixo do centro de gravidade da massa deslocada. O desprendimento destes blocos rochosos deve-se, a existência de fendas no maciço o que permite a infiltração de água, que irá provocar pressões hidrostáticas no interior do maciço, também à diferença de resistência do material da parte superior da escarpa com o da parte inferior, provocando tensões de tração que conseqüentemente levará à cedência da base do bloco na zona mais frágil (figura 5). As zonas exteriores do maciço são as mais afetadas, como tal irão existir assentamentos diferenciados à superfície, visto os deslocamentos se verificarem mais na zona exterior irão provocar o movimento maciço.

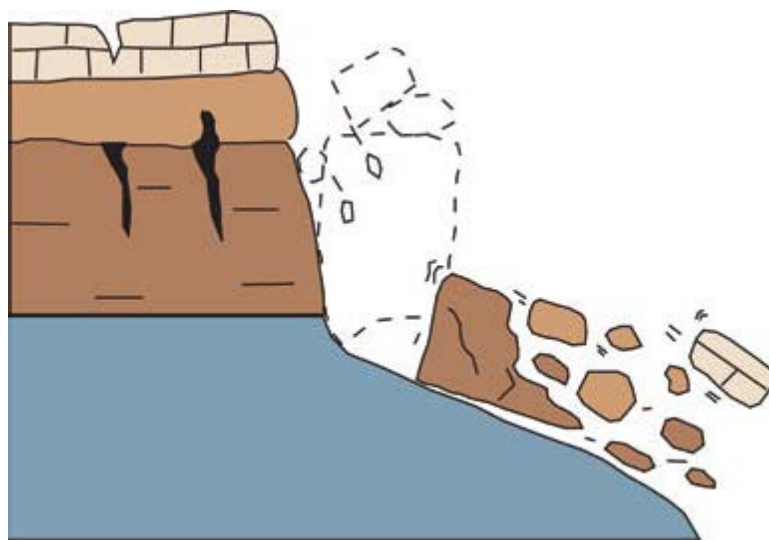


Figura 4- Esquema de tombamento (Fonte: Highland & Bobrowsky,2008)



Figura 5- Fotografia de um bloco envergando em Fort St. John, British Columbia, Canadá.
(Foto por G. Bianchi Fasani) (Fonte: Highland & Bobrowsky,2008)

3.3.3 ESCORREGAMENTO (LANDSLIDE)

Caracteriza-se pelo movimento a velocidades variáveis e por ação da gravidade. Trata-se de um movimento do solo em declive e que ocorrem sobre superfícies finas ou em rutura com deformação por cisalhamento. O movimento ocorre em planos inclinados quando as forças atuantes são superiores as resistentes, o que leva a um desequilíbrio de forças. Este movimento pode ser rotacional ou translacional de acordo com a superfície a que dão origem.

3.3.3.1 ESCORREGAMENTO ROTACIONAL (SLUMP)

É caracterizado por um movimento de massa de solo ou de rocha que através de uma ou mais superfícies de rutura são deslizadas e originadas pela perda de resistência no corte com segmento transversal curvo e concavidade voltado para cima (figura 7). Este escorregamento é um caso particular que geralmente ocorre em solos coesivos e homogêneos ou em maciços rochosos fraturados. Esta rutura pode ser profunda ou superficial que se desenvolve numa superfície curva criando uma rotação da massa instável. Quando produzido este movimento, a massa que está aglomerada poderá separar-se em diversos blocos que deslizam entre si e criam assim vários patamares em forma de escada (figura 6).

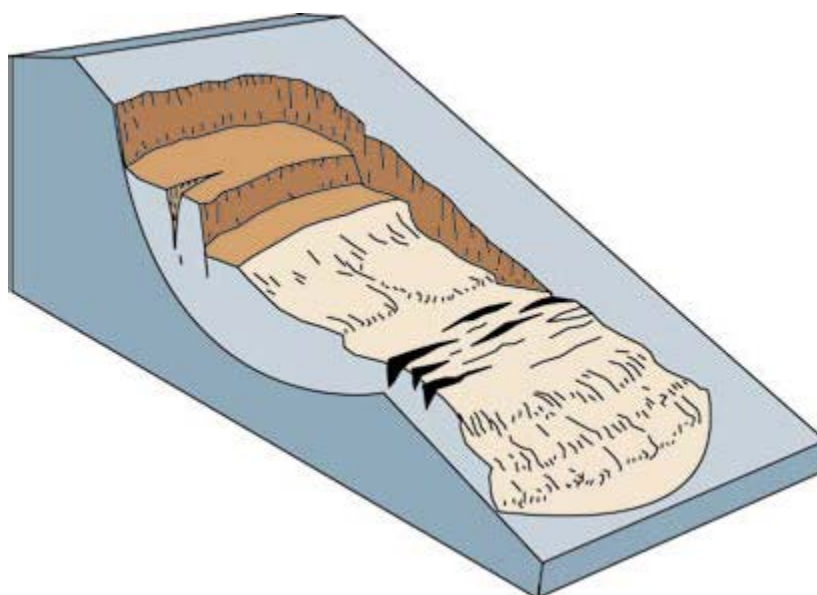


Figura 6- Esquema de escorregamento rotacional (Fonte: Highland & Bobrowsky,2008)

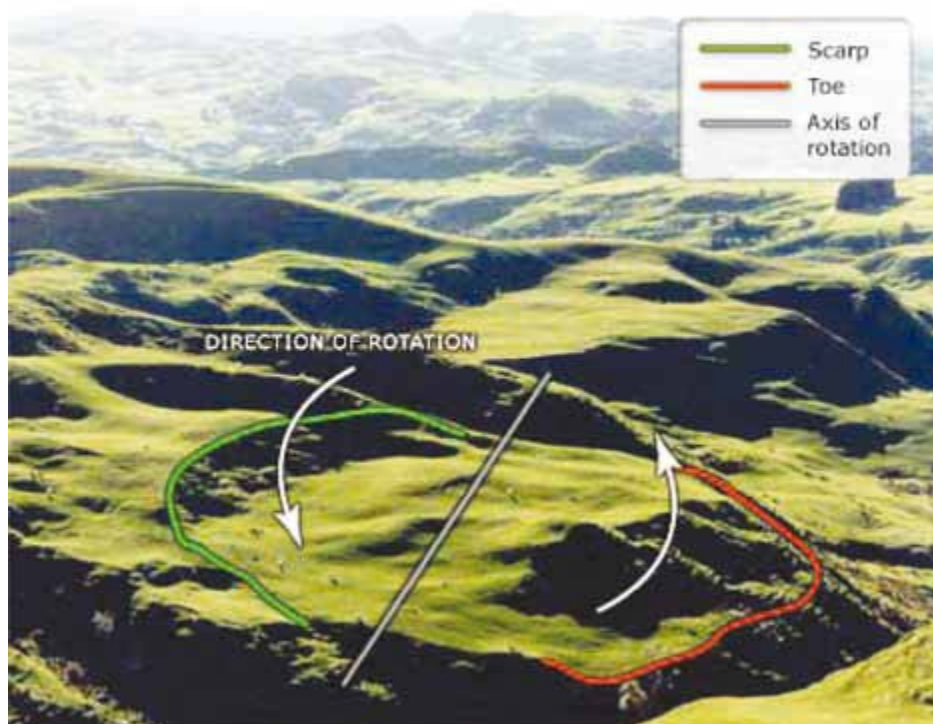


Figura 7- “Fotografia de um escorregamento rotacional ocorrido na Nova Zelândia. A curva verde no centro, à esquerda é a escarpa (área onde o solo rompeu). O solo em pequenas elevações na parte inferior, à direita, é a ponta do deslizamento (linha vermelha). Este fenômeno é chamado escorregamento rotacional pela terra ter se movido da esquerda para a direita de modo curvo. A direção e o eixo da rotação também estão ilustrados”. (Foto por Michael J. Crozier, Encyclopedia of New Zealand, atualizada em 21 de setembro de 2007). (Fonte: Highland & Bobrowsky,2008)

A massa de material deslocado move-se a uma velocidade variável podendo abranger uma grande quantidade de material. Quando não é atingido o equilíbrio na base da zona instabilizada, porque o material em movimento encontra-se em cima da base do talude, pode atingir velocidades elevadas originando um fluxo de detritos e terras. O plano de rotura é esférica de forma regular e estabelece uma topografia superficial côncava na parte superior e na parte inferior convexa.

3.3.3.2 ESCORREGAMENTO TRANSLACIONAL OU PLANAR

No escorregamento translacional ou planar a rutura acontece em superfícies de fragilidades planas que ocorrem também em superfícies de estratificação, de descontinuidades ou através de contactos entre diferentes tipos de materiais (figura 9). Este movimento acontece em rochas ou solos, ao longo de um plano de rutura que coincide com o limite inferior do nível constituído por material meteorizado. O material em movimento normalmente manifesta uma deformação e incide em várias unidades semi-independentes, dado que a massa rompe-se por cisalhamento e avança em uma superfície plana, sendo este um dos motivos por também se designar de escorregamentos planares. Estes escorregamentos normalmente são mais céleres que os escorregamentos rotacionais e ocorrendo geralmente em uma zona geralmente superficial do talude e não envolvendo grandes massas (figura 8).

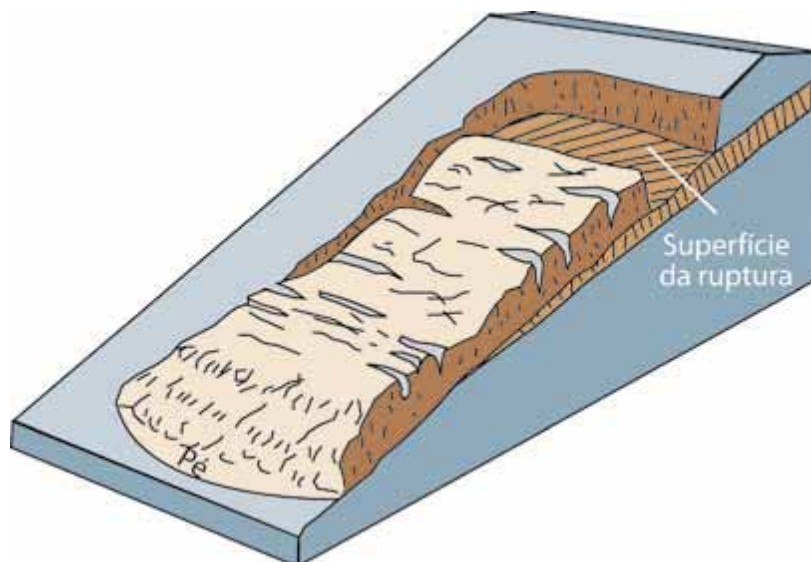


Figura 8- Esquema de escorregamento translacional (Fonte: Highland & Bobrowsky,2008)



Figura 9- Imagem de um escorregamento translacional que ocorreu em 2001 no Vale do Rio Beaton, British Columbia, Canada. (Fotografia por Réjean Couture, Canada Geological Survey). (Fonte: Highland & Bobrowsky,2008)

3.3.4 EXTENSÃO LATERAL (LATERAL SPREAD)

Caracteriza-se por um movimento muito lento, de blocos rochosos, devido a existência de material de elevada plasticidade entre as discontinuidades existentes no maciço (figura 10). Este movimento origina deslocamentos de rotação e de translação (figura 11).

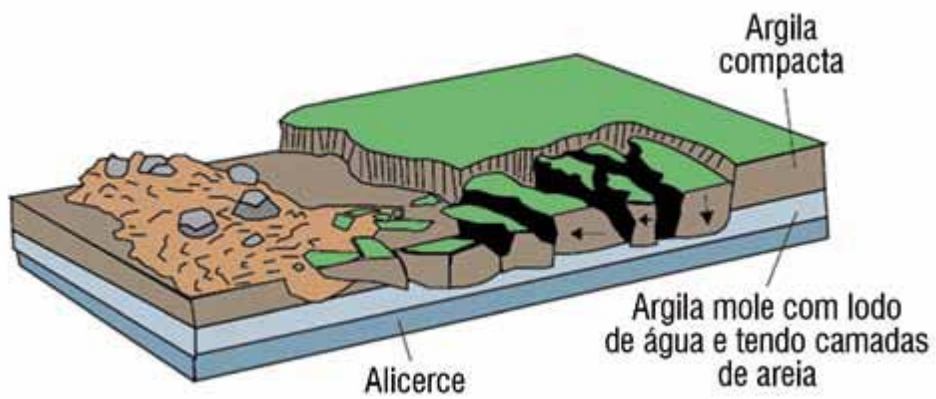


Figura 10- Esquema de espalhamento lateral. Uma camada passível de liquefação está abaixo da camada superficial. (Fonte: Highland & Bobrowsky,2008)



Figura 11- Fotografia de um espalhamento lateral ocorrido em uma rodovia, como resultado do terremoto Loma Prieta, em 1989, na Califórnia, EUA. (Fotografia por Steve Ellen, U.S. Geological Survey). (Fonte: Highland & Bobrowsky,2008)

3.3.5 FLUÊNCIA (FLOW)

Caracteriza-se pelo movimento muito rápido, de massas de terreno constituído por uma mistura de solo com fragmentos de rocha. Geralmente ocorre devido a diminuição da resistência da camada superficial do talude (figura 12). Pode igualmente ser provocado por uma percentagem elevada de água, como podemos ver na figura 13, na presença de água, o material irá se comportar como um fluido, ou seja com uma deformação continua sem superfícies de rutura definidas. A água é o fator determinante para o início do movimento sendo responsável pelo grau de saturação, pela perda de resistência e consequente fluidificação do material. Este movimento ocorre superficialmente em taludes geralmente sem cobertura vegetal, como representa a figura 13, trata-se de uma zona de habitação com poucos espaços verdes, geralmente com baixa inclinação (10°), também associados a outros fenómenos especificadamente escorregamentos ou tombamentos.

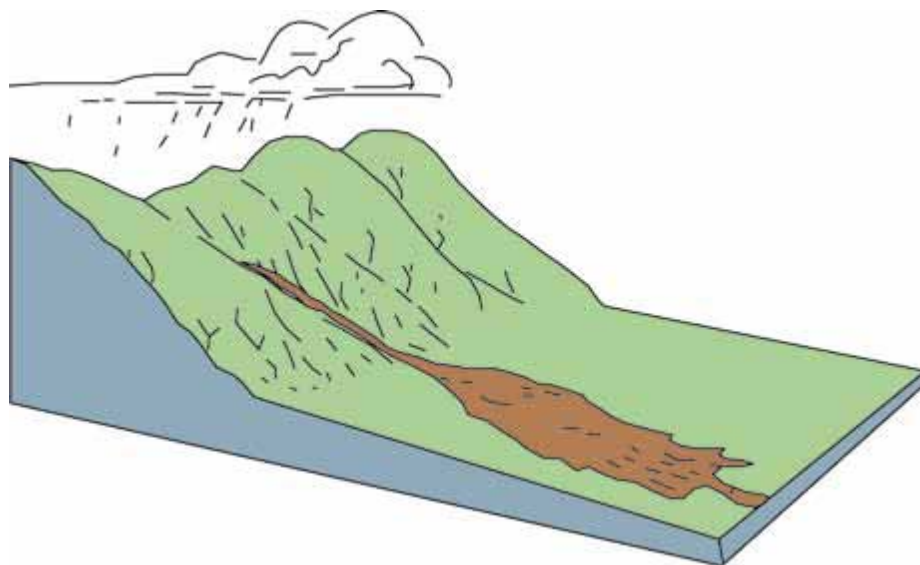


Figura 12- Esquema de fluxo de detritos (Fonte: Highland & Bobrowsky,2008)



Figura 13- “Danos causados por um fluxo de detritos na cidade de Caraballeda, na base da Cordilheira de La Costan, no litoral norte da Venezuela. Em dezembro de 1999, esta área foi atingida pelo pior desastre natural do século 20; muitos dias de chuva torrencial deflagraram o escoamento de lama, torrões de solo, água e árvores que mataram aproximadamente 30.000 pessoas.” (Imagem por L. M. Smith, Waterways Experiment Station, U.S. Army Corps of Engineers). (Fonte: Highland & Bobrowsky,2008)

3.3.6 ESPALHAMENTO

Um afundamento da superfície da massa fragmentada de material coesivo combinado com uma extensão de massa originada por solo ou rocha para uma camada inferior de material menos rígido (figura 14). O espalhamento pode resultar da liquefação ou extrusão do material menos rígido. Os espalhamentos podem ser laterais, em blocos ou por liquefação. Acontecem em taludes com baixa inclinação ou em terrenos planos (figura 15). Geralmente, existe uma camada superior de solo ou rocha que ao aumentar a sua extensão move-se para cima de uma camada menos rígida. Estas ruturas podem ser acompanhadas de um afundamento em direção a camada inferior (figura 15). Nos espalhamentos rochosos, a zona sólida estende e rompe, deslocando-se para a zona mais fraca deixando a zona mais estável. E nem sempre presenciase a uma rutura. Nos espalhamentos de terra, a camada estável estende-se pela camada inferior mais fraca que após a liquefação flui.

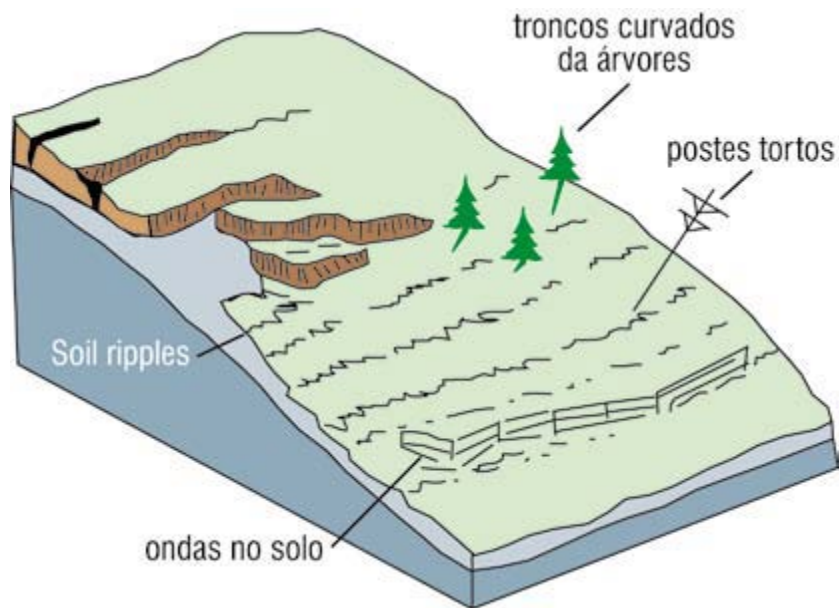


Figura 14- Esquema de um deslizamento lento de terra, geralmente chamado espalhamento. (Fonte: Highland & Bobrowsky,2008)



Figura 15- “Esta imagem mostra os efeitos do espalhamento, em uma área próxima a East Sussex, no Reino Unido, chamada Chalk Grasslands. Taludes íngremes de depósitos de calcário marinho desenvolvem um padrão estriado, horizontal, com degraus, cobertos por gramado, de 0,3 a 0,6 metros (1 a 2 pés) de altura. Embora, posteriormente, se tornem mais distintos, devido a caminhos do gado ou ovelhas ao longo dessas formações, (comumente conhecidos por caminho de ovelhas), esses terrenos são formados pelo movimento de espalhamento, lento e gradual do solo, colina abaixo”. (Imagem de Ian Alexander). (Fonte: Highland & Bobrowsky,2008)

3.4. CAUSAS DA INSTABILIZAÇÃO

Os deslizamentos podem ocorrer por duas categorias principais: causados pelo Homem e por causas naturais. Por vezes, são agravados por ambos os fatores.

3.4.1. FATORES NATURAIS

Existem três mecanismos que podem desencadear os deslizamentos, podem ocorrer isolados ou combinados: água (chuva, intempéries), características geomorfológicas (amplitude, cobertura vegetal, perfil das encostas) e atividade sísmica. Porém, essas causas podem variar os fatores como, a morfologia do terreno, a geologia, o tipo de solo, a declividade da encosta e se há estruturas sobre as zonas afetadas.

3.4.2. CAUSAS HUMANAS

A população em geral está em constante expansão, e como tal expandem-se para novas terras e a conseqüente criação de locais de habitação, as cidades, vilas e bairros. Estes são os principais fatores que levam à ocorrência de deslizamentos. Na construção destas zonas, geralmente, perturbam-se ou alteram-se os padrões de estabilização das encostas ou de drenagem e remoção da vegetação. Estes são os fatores mais usuais instigados pelo Homem. Nas zonas que outrora foram estáveis também estão sujeitos a deslizamentos, devido à irrigação, escavação, ocupação imprópria de encostas, drenagem de reservatórios.

4

ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES

4.1. INTRODUÇÃO

Quando se supõem a possível instabilidade de um talude, devem ser tomadas medidas de estabilização a fim de se evitar uma eventual catástrofe. O mesmo ocorre sempre que por razões ambientais, económicas ou construtivas, é efetuada a escavação de um talude de ângulo superior ao existente. As medidas de estabilização devem ser adotadas de acordo com condições existentes, para tal a realização de estudos geotécnicos e geológicos, irá permitir a definição das características geotécnicas dos materiais existentes bem como a definição dos possíveis mecanismos de rutura. A estabilidade de um talude pode ser alcançada de duas formas, diminuindo as forças instabilizadoras ou aumentando as forças estabilizadoras.

4.2. TÉCNICAS DE ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES

As diferentes técnicas de estabilização deverão ser adotadas tendo em conta os custos, equipamentos disponíveis, a necessidade de realizar uma intervenção e à sua magnitude. Os principais problemas de instabilidade num talude são erosão, os escorregamentos, a queda de blocos e os fluxos. As técnicas utilizadas neste tipo de instabilidade podem ser agrupadas em três categorias: medida de proteção, correção e reforço.

4.2.1. MEDIDAS DE PROTEÇÃO

- Valas de Retenção

Esta proteção consiste numa vala construída na base do talude com o objetivo de reter os blocos rochosos (figura 16). O seu dimensionamento depende da altura e da inclinação do talude. Um talude com inclinações de 90° a 70° , os blocos terão uma trajetória em queda livre, logo amontoam-se junto a base, para inclinações de 70° a 50° os blocos irão rebolar e devido aos ressaltos tenderão a amontoar-se mais distantes da base do talude. A altura do talude irá afetar a queda de forma proporcional ou seja quanto maior altura, mais distante da base irá ser o amontoamento.

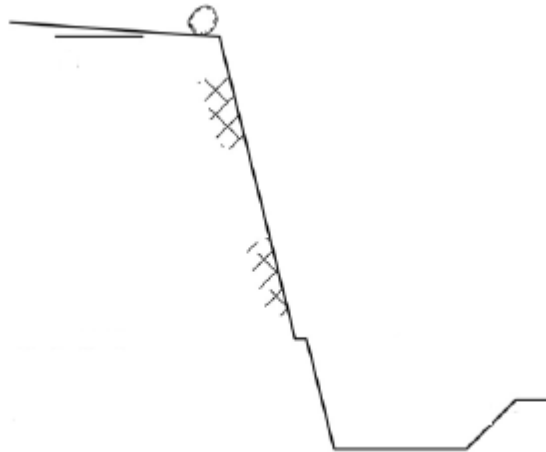


Figura 16- Esquema de uma vala de retenção

- Banquetas

Este tipo de proteção consiste no desmorte do talude de forma a criar vários degraus (figura 17). É uma proteção que pode não ser eficaz, se os blocos não se amontoarem na base de cada banqueteta. Para evitar ressaltos e rolamento dos blocos são muitas vezes utilizadas em conjunto com redes metálicas que funcionam como barreiras de retenção.

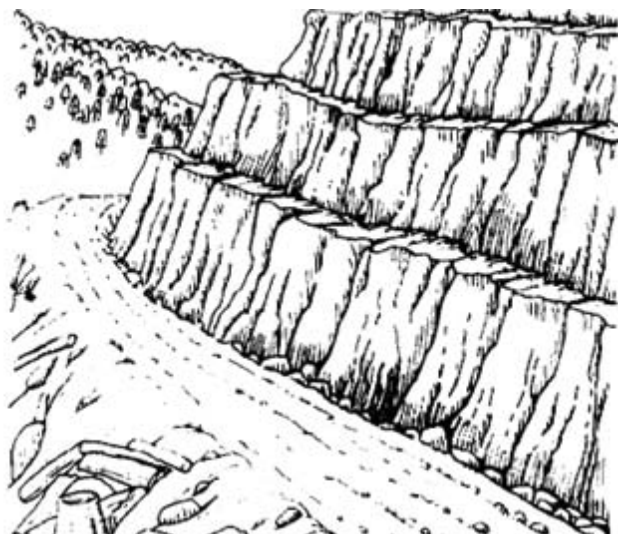


Figura 17- Esquema de talude em banquetetas (Fonte: Highland & Bobrowsky,2008)

- Redes

Este tipo de proteção é muito frequente no revestimento de taludes. A sua função consiste em evitar a queda dos blocos rochosos mais pequenos, os blocos de maior dimensão serão retidos na base do talude. Consiste numa malha de aço de grande resistência e flexibilidade, o que permite uma grande adaptabilidade às condições do talude bem como o desenvolvimento de uma cobertura vegetal que promoverá um suporte adicional (figura 18).

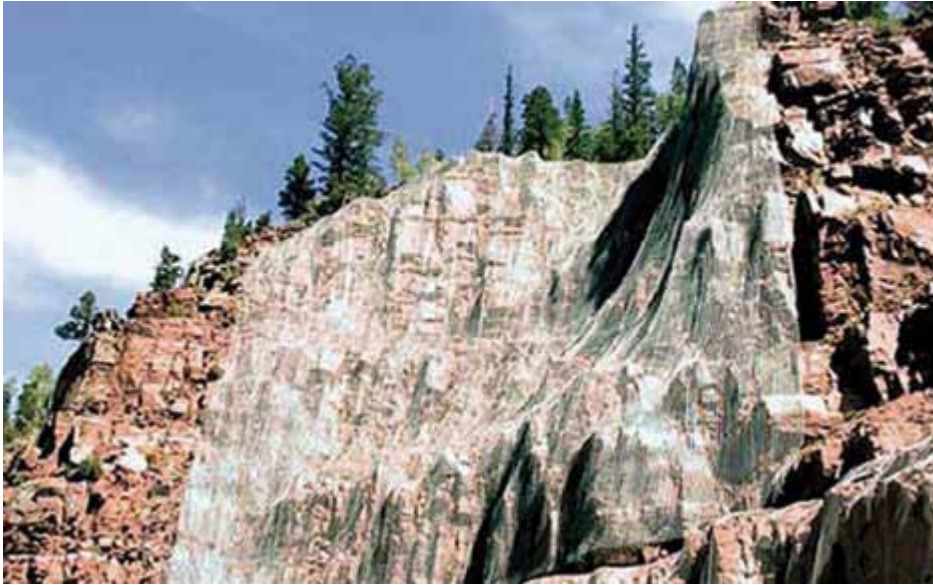


Figura 18- Exemplo de uma “Rede para rochas” que controla as quedas rochosas em áreas problemáticas. (Fotografia por Doug Hansen, High Angle Technologies, Inc). (Fonte: Highland & Bobrowsky,2008)

4.2.2. MEDIDAS DE CORREÇÃO

- Reperfilamento do Talude

Esta técnica é muito simples e eficaz, por isso, deve ser a primeira medida de correção a ser considerada. Consiste na alteração da geometria do talude recorrendo ao corte ou aterro de forma a conseguir um perfil mais estável (figura 19). É geralmente utilizada em conjunto com obras de drenagem de forma a reduzir as infiltrações e o escoamento superficial, minimizando os processos erosivos. Um dos fatores de instabilidade é a gravidade que está associada à inclinação e à altura do talude. Estes dois fatores são os mais relevantes no reperfilamento de um talude.

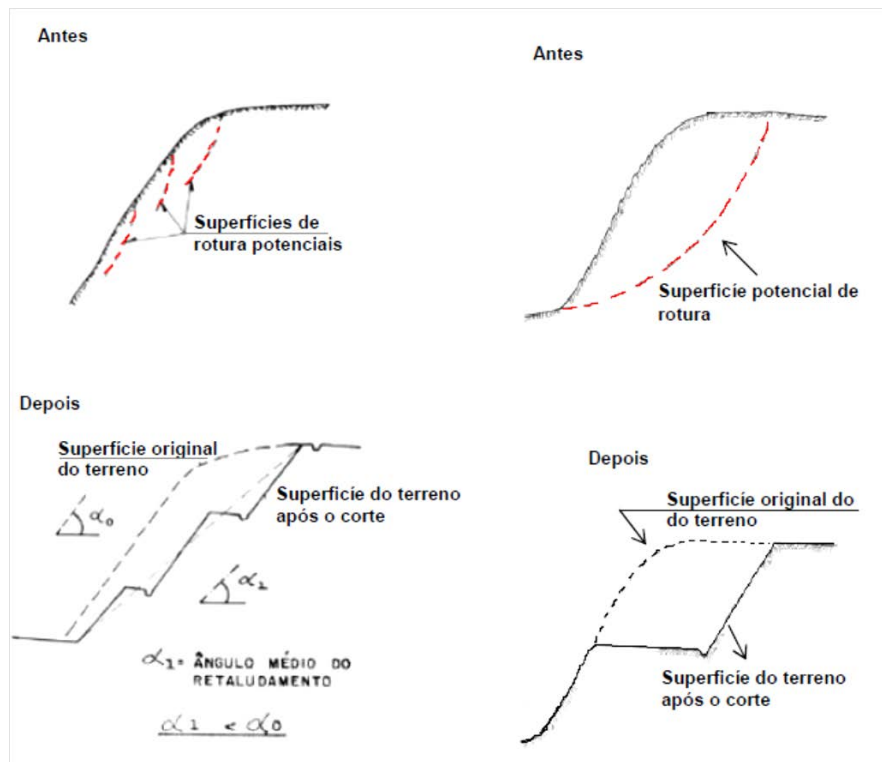


Figura 19- Exemplos de execução de reperfilamento em taludes (adaptado de Carvalho *et al.*1991).

4.2.3. MEDIDAS DE REFORÇO

- OBRAS DE CONTENÇÃO

Entende-se por obras de contenção todas as estruturas que, uma vez implantadas em um talude, oferecem resistência à movimentação deste ou à sua rutura, ou ainda que reforça uma parte do maciço, de modo que esta parte possa resistir aos esforços, independentemente da instabilidade do mesmo. As obras de contenção podem classificar-se: muros de gravidade, obras especiais de estabilização e soluções alternativas em aterros.

a) Muros de Gravidade

Muros de gravidade são habitualmente usados para conter pequenos desníveis, geralmente inferiores a 5m. Assim, são estruturas corridas que contrariam os impulsos horizontais através do seu próprio peso. Podem ser construídos por pedra ou betão, pneus usados ou gabiões.

I. Muros de Alvenaria de Pedra

Estes muros são os mais antigos e em maior número. Consistem em pedras colocadas manualmente em que a sua resistência depende exclusivamente do interligamento dessas pedras (figura 20 A). Atualmente é cada vez menos frequente o uso destes muros, especialmente em muros com maior altura, devido ao seu custo elevado. Este muro apresenta algumas vantagens, tais como a simplicidade na construção e o facto de empregar qualquer dispositivo de drenagem porque o material do muro é drenante. Pode ser vantajoso este tipo de muro quando no local estão disponíveis blocos de pedra, pois assim o seu custo é reduzido. Pode-se considerar desvantagem, o facto de para alcançar a instabilidade interna ser necessário os blocos de pedra possuírem dimensões regulares, o que causa um valor menor do atrito entre as pedras.

Os muros de alvenaria de pedra devem ser unicamente aconselhados na contenção de taludes com alturas inferiores a 2m e com base de largura mínima de 0,5 a 1,0 m. Para taludes com alturas superiores deve empregar-se argamassa de cimento e areia para o preenchimento dos espaços vazios nos blocos de pedra (figura 20 B).

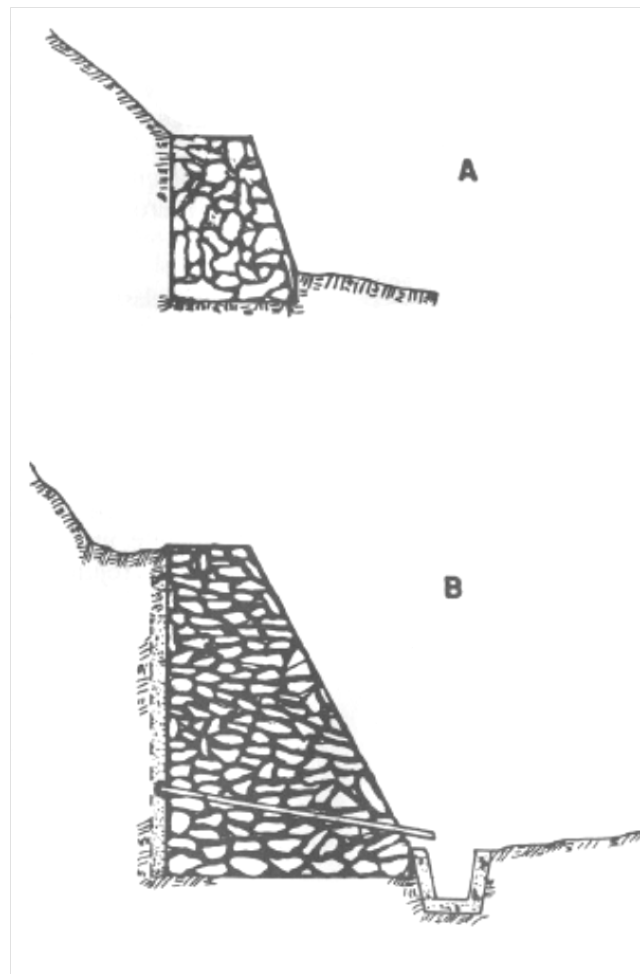


Figura 20- Muro de gravidade. A- Muro de alvenaria de pedra B- Muro alvenaria de pedra com argamassa
(Fonte: Carvalho et al.,1991)

II. Muro de Betão Ciclóptico

É uma estrutura constituída por agregados de grandes dimensões e de betão. São economicamente exequíveis quando a altura do muro não supera os 4m. A execução deste muro baseia-se no preenchimento de uma fôrma de betão e blocos de rocha com várias dimensões (figura 21). O uso de drenagem é imprescindível neste muro devido à sua impermeabilidade e pode ser feito através de barbacãs e drenos de areia. Os furos de drenagem devem ser colocados de forma a minimizar o impacto visual devido às manchas que o fluxo de água deixa na parte frontal do muro. Como alternativa, pode-se efetuar a drenagem na face posterior (tardoz) com uma manta de material geossintético. Assim, a água é colhida através de tubos de drenagem.

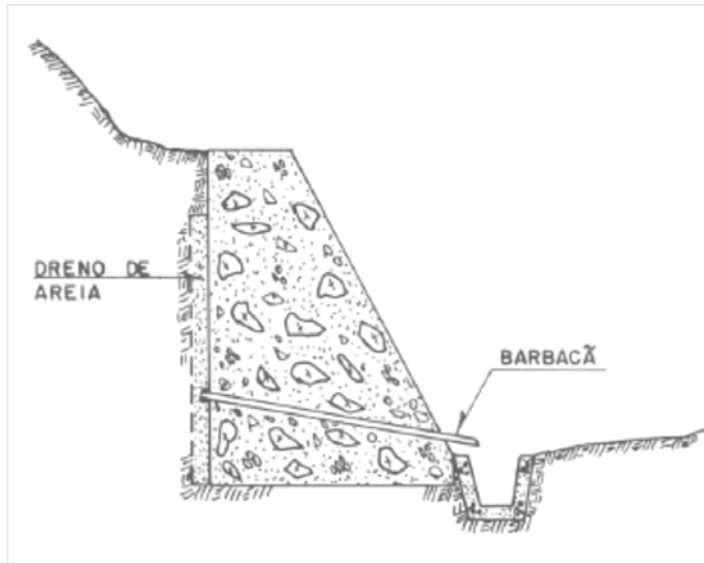


Figura 21- Muro tipo “gravidade” de concreto ciclópico (Fonte: Carvalho,Coord.,1991)

b) Muros de Betão Armado

São estruturas que resistem aos impulsos por flexão. Utilizam parte do peso do maciço apoiado sobre a base do “L” para o equilíbrio. É constituído por uma laje de fundo e outra vertical, trabalhando à flexão. A laje da base apresenta uma largura entre 50 e 70% da altura do muro (figura 22 A).

c) Muros Betão Armado com Contra Fortes

Quando os muros apresentam alturas superiores a aproximadamente 5m, é aconselhável a aplicação de contrafortes para aumentar a estabilidade contra o tombamento. Os contrafortes devem ser construídos para suportar os esforços de tração (figura 22 B). Na situação da laje externa, os contrafortes trabalham à compressão. Esta solução é menos usual, já que esta estrutura causa perda de espaço útil.

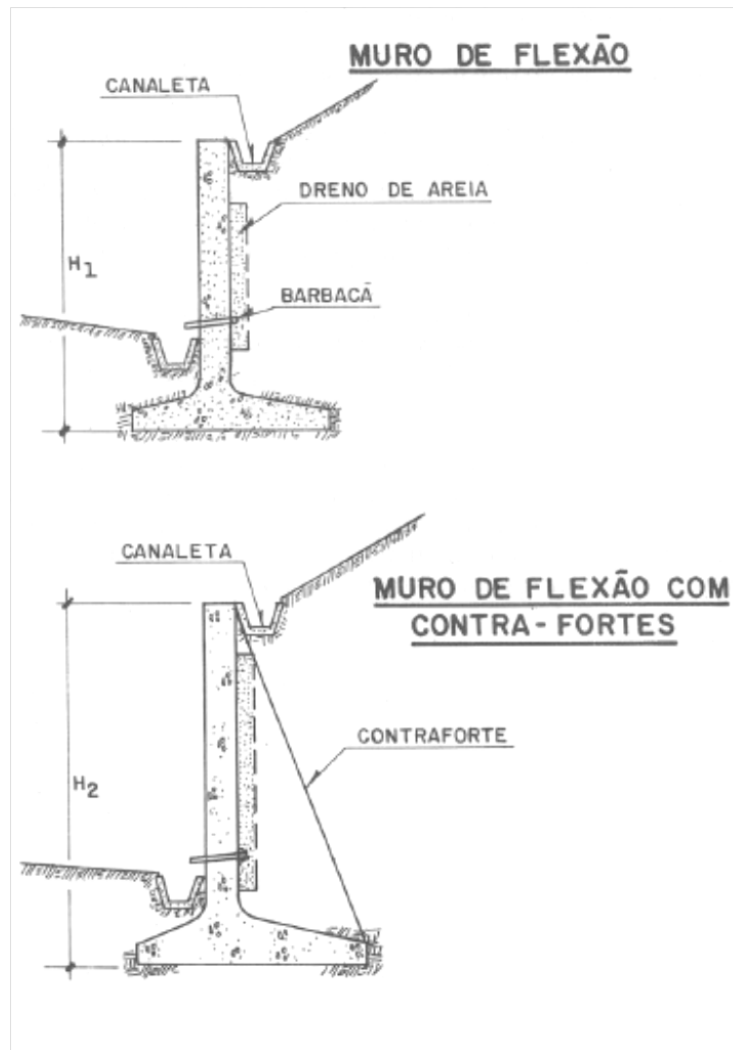


Figura 22- A. Muros de betão armado a flexão, B. Muro de Flexão co contra-forte (Fonte: Carvalho,Coord.,1991)

d) Muros de Gabiões

Este muro é constituído por gaiolas metálicas com arame galvanizado, preenchidas com pedras arrumadas manualmente e colocadas com fios de aço galvanizado em malha hexagonal criando muros com vários formatos (figura 23). São utilizados como proteção superficial de encostas, de muros de contenção e proteção de rios ou riachos. As dimensões dos muros de gabiões são normalmente de 2m de comprimento e com 1m de aresta de secção transversal quadrada. Estes muros são estruturas relativamente deformáveis e drenadas. No caso de rutura de algum dos arames, a dupla torção dos elementos resguarda a flexibilidade e a forma da malha, absorvendo as deformações excessivas o que possibilita o sua utilização em fundações que apresentem deformações inaceitáveis para estruturas rígidas. O arame dos gabiões é

preservado por uma galvanização dupla e em, alguns casos, por revestimento de uma camada de PVC.



Figura 23- Muro de gabiões (Fonte: <http://parquessustentaveis.blogspot.pt/2012/08/gabioes-com-entulhos-de-construcao.html>)

Existem três tipos de muros de gabião. Gabião Caixa, usado essencialmente na construção civil, é um elemento com forma de prisma retangular e constituído por uma rede metálica em malha hexagonal com dupla torção como está indicado na figura 24.



Figura 24- Detalhe gabião caixa (Fonte: <http://www.geobrasil.com.br/comep.html>)

Outro tipo de muro gabião é a manta, exemplificado na figura 25, com forma de prisma retangular, com uma grande superfície e uma pequena altura. O seu uso é empregue como um revestimento, que preserva taludes, canalizações, margens e plataformas de deformação.



Figura 25- Detalhe gabião manta (Fonte: <http://www.geobrasil.com.br/comep.html>)

Estes gabiões são formados a partir de um único painel de malha hexagonal de dupla torção produzida com arames de baixo teor de carbono revestidos com Galvan e adicionalmente protegidos por uma camada contínua de material plástico (aplicada por extrusão). Os gabiões tipo saco (figura 26) são usados sobretudo em obras emergenciais, em obras hidráulicas onde as circunstâncias locais requerem uma rápida intervenção ou quando a água não permite fácil acesso ao local (instalações subaquáticas) ou quando o solo de apoio mostre baixa capacidade de suporte.



Figura 26- Detalhe gabião tipo saco (Fonte: <http://www.geobrasil.com.br/comep.html>)

e) Muros Crib Walls

São estruturas formadas por componentes pré-moldados de betão armado, madeira ou aço, que são colocados no local, juntas e interligadas longitudinalmente, cujo espaço interno é preenchido com material terroso, blocos de rocha ou entulho (figura 27). São estruturas com capacidade de se ajustarem ao assentamento das fundações e operam como muros de gravidade.



Figura 27- Muro Crib Wall (Fonte: <http://www.moore-concrete.com/civil/product/1/20/>)

f) Muros de Sacos de Solo-Cimento

Os muros são compostos por camadas constituídas por sacos de poliéster ou semelhantes, preenchidos por cimento-solo da ordem de 1:10 a 1:15 (em volume). Pode ser usado para construir muros de gravidade ou para proteger a nível superficial o talude. Outra alternativa a este tipo de muro na contenção de taludes é o seu emprego compactado em camadas, de forma a originar uma faixa externa ao talude, que depois da reação do cimento, torna-se menos erodível e mais resistente, de forma a dar sustentação ao talude (figura 28).



Figura 28- Muro de sacos de solo-cimento (Fonte: Carvalho,Coord.,1991)

4.2.4. PAREDES DE CONTENÇÃO

As paredes de contenção são geralmente usadas quando não há as condições necessárias para a escavação e para o aterro tardoz. Qualquer obra de contenção deve ter em atenção no projeto a contemplação dos aspetos geotécnicos, executivos, estruturais, especificação de materiais, etc. São várias as estruturas de contenção, cuja seleção deve basear-se em aspetos técnicos, económicos entre outros, dependendo da situação a estabilizar.

a) Pregagens

Tirantes de aço são introduzidas no talude (figura 29), são diferentes das ancoragens por não serem tracionadas. Assim, a sua resistência fomenta a resistência ao corte e à tração do terreno. Esta é uma das medidas mais básicas de reforço dos maciços rochosos. Podem ser aplicadas ao longo da extensão do talude, constituindo uma estrutura armada com barras metálicas.



Figura 29- Muro de contenção com recurso a pregagens Fonte:<http://www.engenhariacivil.com/estabilizacao-taludes-recurso-regagens>)

b) Paredes Tipo Berlim

São estruturas constituídas por perfis metálicos, em que o espaçamento é determinado pela altura, onde são colocados painéis de betão armado ou pranchas de madeira (figura 30). Este tipo de solução oferece custos moderados quando o desnível de terras a conter não supera os 12m ou quando os terrenos a conter manifestam a grande compacidade. É uma solução a ser usada quando se pretende uma contenção provisória e de rápida execução. Nas situações em que se pretenda um carácter definitivo podem-se empregar os painéis de betão armado através da efetuação de betonagens “in situ” entre os perfis metálicos. A principal desvantagem deste tipo de parede é a possibilidade de poder suceder a descompressão dos terrenos durante as operações de escavação.



Figura 30- Muro de Berlim (Fonte: <http://feg.mota-engil.pt/actividades/contencao-tipo-berlim/>)

c) Cortina de Estacas

Este género de estrutura de contenção baseia-se na possibilidade da redistribuição de pressões que acontecem entre as zonas mais rígidas e menos rígidas de um determinado meio. As estacas são colocadas com um alinhamento tangencial contínuo, que atravessa pela zona instável e estabelece-se na zona estável (figura 31).



Figura 31- Cortina de estacas (Fonte: www.bylandengineering.com)

d) Paredes Ancoradas

Fornecem com uma força adicional contrária à direção de movimento. São compostas por cabos de aço (figura 32), que proporciona uma resistência apropriada às forças e pressões que ocorrem quer na altura da sua colocação quer posteriormente nas ações sujeitas pelo terreno.

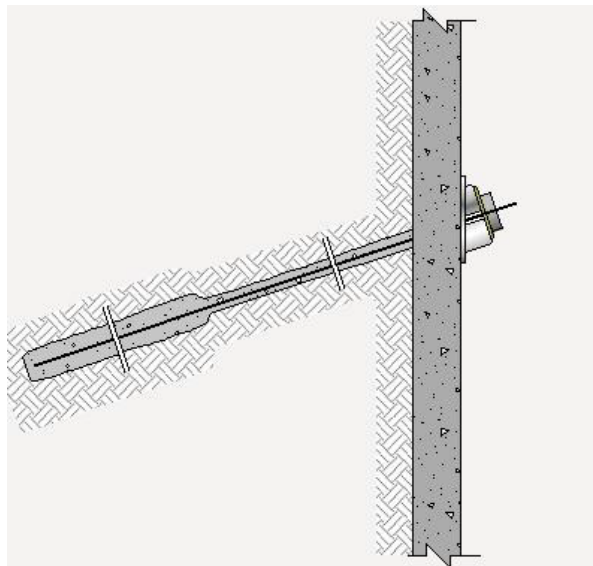


Figura 32- Pormenor de uma ancoragem (Fonte: <http://www.geradordeprecos.info/imagenes/CYA482.jpg>)

5

ENGENHARIA NATURAL NA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES E RECUPERAÇÃO AMBIENTAL

5.1. INTRODUÇÃO

A necessidade de proteger os recursos naturais e encontrar um equilíbrio entre as atividades humanas com o sistema ecológico tem vindo a ser cada vez mais imperativo. O pensamento de melhorar as intervenções humanas no ambiente preconiza a inserção excessiva de sistemas artificiais em construções que contrariam o processo natural da natureza. Por isso, é importante garantir a funcionalidade e o equilíbrio das zonas naturais promovendo um menor impacto do Homem. É num contexto de sustentabilidade que a engenharia natural atua. Pretende conjugar as técnicas tradicionais com algumas técnicas em que incluam um processo mais natural, usando a vegetação visando o menor impacto no ambiente.

5.2. CONCEITO DE ENGENHARIA NATURAL

A engenharia natural é uma disciplina da engenharia civil e teve início como disciplina, no final do séc. XIX e início do séc. XX. Durlo e Sutili (2002) acreditam que a engenharia natural possui objetivos económicos, tecnológicos e ecológicos, bem como de design. Abrange uma aplicação diversificada como, o revestimento de uma área deteriorada, a estabilização de encostas, consolidação de taludes, a proteção dunar e a defesa das margens de

cursos de água. Procura atingir estes objetivos, fazendo uso, principalmente, de materiais vivos, fazendo uso dos elementos que os constituem, como estacas, raízes e rizomas, em intervenções e de consolidação e anti erosivas, usualmente combinadas com outros materiais como, pedra, madeira, palha, mantas orgânicas e redes metálicas (Schiechtl, 1980).

De acordo com a Federação Europeia de Engenharia Natural (EFIB), engenharia natural é uma disciplina da engenharia civil com base em princípios biológicos, que intervêm em aspetos geotécnicos e mecânicos dos solos, na área da engenharia florestal, fluvial e hidráulica. Ambas definições visam o mesmo objeto de estudo, sendo esse, a estabilização de taludes e escarpas, diques, aterros, margens, assim como todos os espaços que necessitem de proteção contra a erosão. A engenharia natural pode, por vezes, ser um substituto para a engenharia clássica. No entanto, na maioria dos casos é um método útil e necessário para complementar a última. As intervenções baseadas na engenharia natural distinguem-se daquelas efetuadas pela engenharia clássica, essencialmente, devido à importância dada às condições do período ecológico, especialmente, aos parâmetros ligados com o desenvolvimento da vegetação. Habitualmente, neste tipo de utilização são usados métodos fitossociológicos, tendo como preferência as vegetações que se encontram em território nacional.

5.3. ORIGEM DA ENGENHARIA NATURAL PELO MUNDO

5.3.1. NEPAL

Devido à escassez de terras aráveis e férteis, há uma elevada dependência da população desta região em produtos florestais, na prevenção e reabilitação rápida de deslizamento de terra em superfícies, e por isso, fundamental para o estilo de vida da população rural. Assim, o conhecimento da influência da vegetação na estabilidade de taludes e de vegetação como medida viável em superfícies de falha, que muitas vezes apresentam condições adversas ao crescimento das plantas, é importante para o gerenciamento de encostas instáveis e à recuperação da produtividade local.

O uso de plantas vivas, a fim de melhorar efetivamente a estabilidade de taludes ou erosão está ganhando reconhecimento mundial, como uma disciplina complementar as abordagens convencionais de engenharia civil (Stangl, et al. 2009). Em comparação com outras abordagens, engenharia natural proporciona uma boa relação custo-eficiência, mas implica algum trabalho de manutenção, uma vez que pode ser aplicada em áreas remotas com a participação da população local (Lammeranner, et al. 2005), e porque não exigem um alto grau de conhecimento técnico. O interesse na investigação sobre a adequação das plantas para estabilização de encostas tem sido continuamente crescente nos países em desenvolvimento (Ghmire e Karki 2004; Petrone e Preti 2008, 2009). Algumas medidas para a estabilização de taludes têm vindo a ser realizadas no Nepal nos últimos anos. No entanto, a maioria destes, não têm sido descritos cientificamente (Howell, 2001). Por esta a razão a pesquisa nesta área a longo prazo está ainda por monitorar. Como já foi dito, a importância dos terrenos cultivados, os agricultores possuem um detalhado conhecimento do local e por isso o conhecimento de algumas técnicas de conservação. A necessidade de minimizar o impacto ambiental tem levado a um maior conhecimento da engenharia natural. A maioria dos estudos sobre o Nepal, referem-se a experiências práticas ou focam-se às condições geológicas (Clark e Hellin, 1996), apesar de haver ainda uma lacuna nas pesquisas sobre o desempenho das plantas na sua eficiência a longo prazone estabilização de taludes.

5.3.2. ITÁLIA

A primeira abordagem italiana na engenharia natural ocorreu em 1984, na execução de pedreiras e estradas na Província Autónoma de Trento e conta com publicações específicas sobre o tema. Desde 1988, foram emitidas uma série de normas ambientais e em particular sobre o impacto ambiental, que forneceu em alguns tipos de conceção de intervenções na engenharia natural. Na lei de 2 de Maio de 1990, n.º 102, é citado pela primeira vez e explicitamente o termo engenharia natural, embora na altura fosse apelidada de bioengenharia. Em 1989, foi fundada a Associação em Itália para engenharia italiana (AIPIN), presidido pelo professor Julian Sauli. As primeiras publicações com o rigor científico apareceram em 1990 na revista Acer e hoje existem várias publicações em engenharia natural. Em 1990, foram adotadas pela Região da Sicília, pela Região de

Basilicata e pela Província autónoma de Bolzano, os primeiros capítulos sobre obras de engenharia natural.

A definição de engenharia natural nasceu no mesmo ano, durante o Primeiro Congresso de engenharia natural em Turim. Com o tempo, esta iniciativa foi seguida por outros, em seminários, excursões visitas técnicas, workshops, etc. Foram estabelecidos, além disso, alguns Comitês Técnicos como a AIPIN, prepararam uma lista preliminar das principais técnicas de engenharia natural e a unificação da nomenclatura técnica, para a preparação de artigos com cerca de 100 técnicas de intervenção. Desde 1993 foram elaborados os primeiros manuais técnicos de engenharia natural, nascido da colaboração entre os profissionais e as regiões (Região Emilia-Romagna, região de Veneto).

5.3.3. FRANÇA

O conceito de engenharia natural foi lançado na França por Philippe Lagauterie no ano de 1980. Na França, o CNRS tem uma engenharia "interdisciplinar" ambiental "(Ingecotech - Engenharia Ecológica) - CNRS"¹. Este programa segue a abordagem iniciada em 1995 pelo Ministério do Meio Ambiente (através de projetos intitulados de "Recriando a natureza." Foi pensando nisso que Comité de Sistemas de Engenharia Ecológica da Articulação de incentivo do Ministério da Investigação ("Ecologia quantitativa"), e várias iniciativas, práticas nos últimos anos, resultado de observações ancestrais, usaram técnicas naturais com plantas vivas para estabilizar taludes.

5.4. TIPOS DE MATERIAIS USADOS EM ENGENHARIA NATURAL

A génese da engenharia natural, segundo Gray e Leiser (1989), consiste na utilização de sistemas vivos, e através de um método dinâmico, sem gastos de energia que possam se desenvolver através da seleção equilibrada entre os materiais inertes e os materiais vivos que obtém uma alta sustentabilidade.

¹ Sitio especializado na divulgação das técnicas da engenharia natural

5.4.1. MATERIAIS VIVOS

Os materiais vivos são plantas, partes de plantas, sementes e todas as associações vegetais (estacaria de arbustivas autóctones, sementes de herbáceas, plantas em torrão, representados alguns exemplos na figura 33). Geralmente, no local de construção, são usadas as vegetações que se encontram no local, dado que estas estão adaptadas às características locais. Possuem uma função estabilizadora, que anteriormente era executada por materiais inertes.

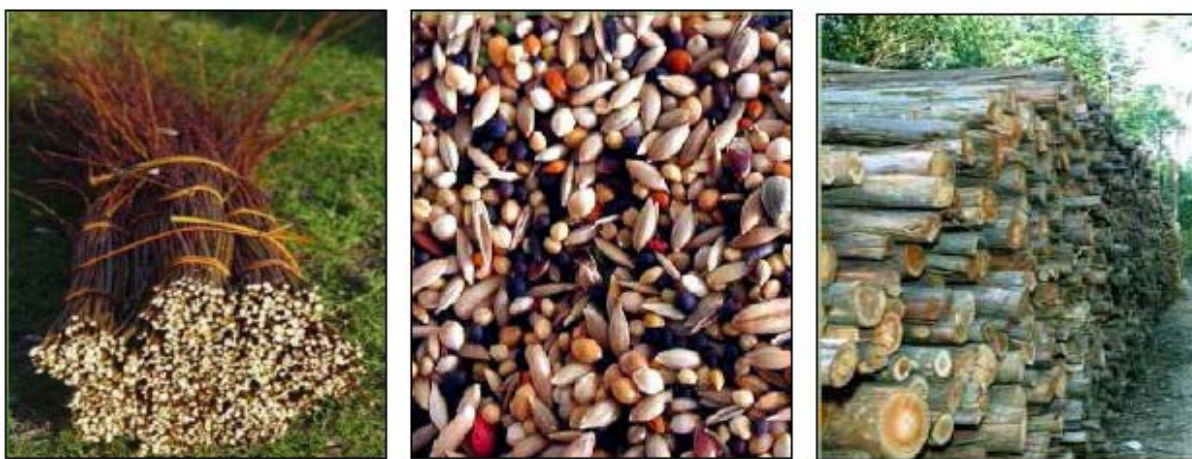


Figura 33- Exemplo de alguns materiais vivos (estacaria arbustiva, sementes e troncos)

5.4.2. MATERIAIS INERTES

São usados como preparação do terreno para a receção das plantas, sendo utilizados uma série de Técnicas de Engenharia Natural (mais comuns neste tipo de construção: madeira, pedras, geotêxteis, metais e fibras, figura 34). Os materiais inertes, devem ser selecionados pelas suas características técnicas, abundância na região, pela facilidade de aquisição e em função do seu custo. Esses materiais podem ser alvenaria, restos culturais, madeira, ou pedras (Durlo e Sutili, 2003). Os materiais inertes têm como função assegurar a estabilidade do local enquanto a vegetação se desenvolve.



Figura 34 Exemplo de alguns materiais inertes

5.5. GEOSSINTÉTICOS COMO MATERIAIS INERTES

Os geossintéticos são produtos manufaturados, obtidos a partir de materiais poliméricos, ficando em contato com o solo, rocha e/ou outro material utilizado nas obras de engenharia civil. Em obras geotécnicas e de proteção ao meio ambiente, o elemento geossintético pode cumprir várias funções, dentre as quais se pode destacar a separação entre materiais, a drenagem, filtração, proteção, reforço e controlo da erosão superficial.

5.5.1. TIPOS DE GEOSSINTÉTICOS

Existem vários tipos de geossintéticos que possuem diferentes composições e funções. De seguida, estes são apresentados de forma sucinta:

a) Geotêxtis

São materiais têxteis, tecidos ou não tecidos, formados por filamentos contínuos ou fibras cortadas, mono filamentos, laminais ou fios (figura 35), distribuídos aleatoriamente de modo a construir uma amnta de alta resistência, cujas propriedades mecânicas e hidráulicas permitem que desempenhe várias funções numa obra geotécnica, tais como separação (evitar que materiais de granulometria diferentes se misturem); drenagem (permitir o livre escoamento de água ou gases através da sua espessura); filtragem (permitir uma rápida percolação de água); proteção (proteger o material envolvente contra eventuais perfurações e/ou desgastes); reforço (aumentar a resistência mecânica do material envolvente e uma eficiente transmissão de esforços).

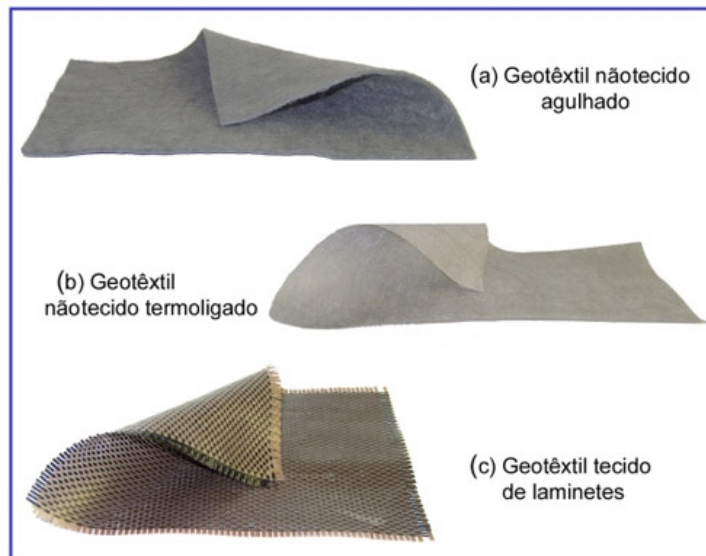


Figura 35- Geotêxtil (Fonte: <http://www.abint.org.br/ctg/geotexteis.php>)

As características deste tipo de geossintético dependem essencialmente da natureza e das propriedades intrínsecas da matéria constituinte das fibras de geotêxtil e do modo como essas fibras se combinam entre si. Tem como vantagens o facto de ser leve, económico e de fácil aplicação, o que permite uma elevada resistência à tração. Os maiores fatores de degradação dos geotêxtis baseiam-se com a sua exposição aos raios ultravioletas, e com os efeitos provenientes da poluição do solo ou da atmosfera.

b) Geomembranas

São de material planar, de composição polimérica (sintética ou natural, figura 36), usado em contato com o solo, rocha, betão, etc., é ligeiramente impermeável. Por isto, a sua principal função é impermeabilizar um determinado meio. Estas são, portanto, um produto bidimensional, de reduzida permeabilidade, compostas principalmente por asfaltos, elastómeros, podendo ser utilizadas para a separação, como também para o controlo de fluxo. A escolha do tipo de geomembrana é função das solicitações químicas e mecânicas e da vida útil esperada para a obra.



Figura 36- Geomembrana (Fonte: <http://www.abint.org.br/ctg/geomembranas.php>)

c) Geocélulas

São materiais compostos por unidades (células) que confinam o solo (ou cimento) no seu interior (figura 37). Possuem uma estrutura tridimensional aberta, permeável, polimérica, alveolar, constituída por tiras de geossintéticos interligados. Podem ser superpostas umas às outras, permitindo a construção de estruturas de proteção de gravidade ou ainda, serem instaladas sobre taludes como fixador de vegetação contra erosão superficial, sendo assim, estas estruturas têm como função, o reforço e o controlo da erosão.

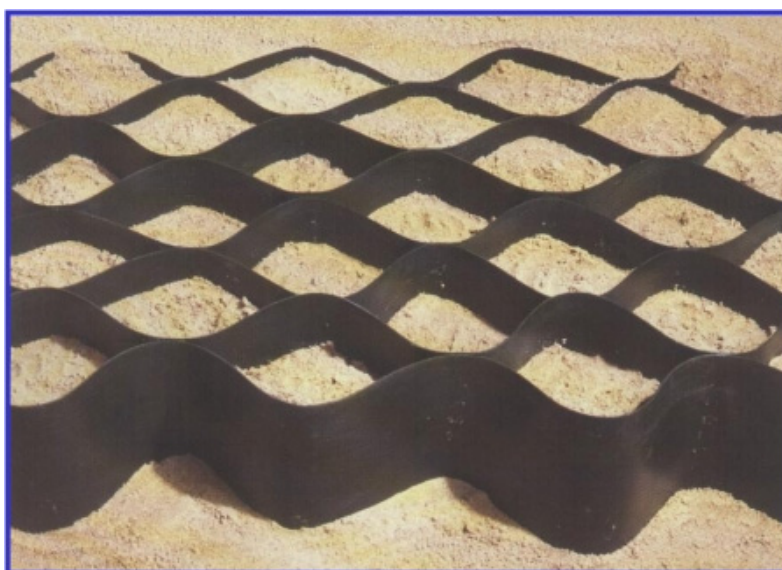


Figura 37- Geocélulas (Fonte: <http://www.abint.org.br/ctg/geocelulas.php>)

d) Geocomposto

São produtos industriais formados pela associação ou sobreposição de geossintéticos entre si, ou com outros produtos (figura 38), com várias funções.

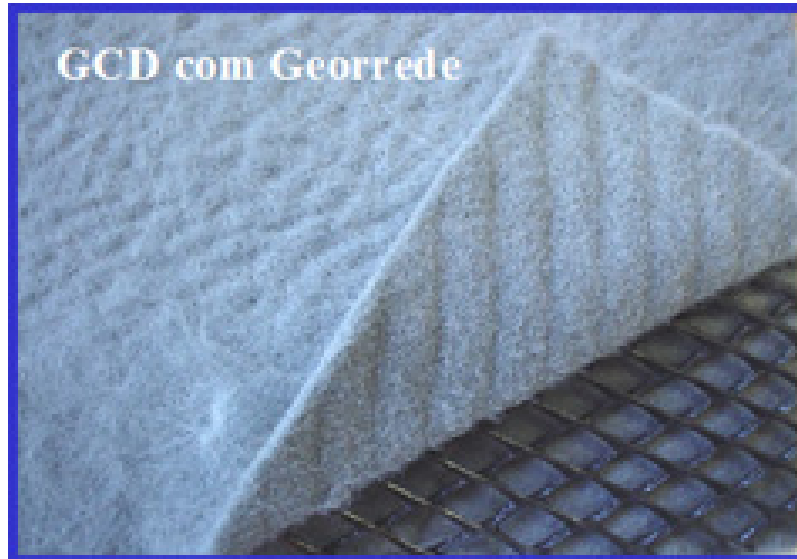


Figura 38- Geocomposto (Fonte: <http://www.abint.org.br/ctg/geocompostos.php>)

e) Geomantas

São produtos com estrutura tridimensional permeável (figura 39), utilizado para o controlo da erosão da superfície dos solos, sendo esta uma das suas principais funções/aplicações, baseando-se portanto, na sua colocação sobre o solo para o controlo temporário da erosão, nomeadamente em taludes de composição arenosas e silto-arenosas, sendo que a proteção vegetal é reforçada com geomantas, com o objetivo de controlar a erosão originada pelo escoamento superficial.



Figura 39- Geomantas (Fonte: <http://www.abint.org.br/ctg/geomantas.php>)

f) Geossintéticos de Drenagem

Os geossintéticos que têm efeitos de drenagem são os geoespaçadores, sendo estes produtos com estrutura tridimensional, construídos com o objetivo de serem utilizados como núcleo drenante, para que seja possível criar um grande volume de vazios, e assim, ser possível substituir os materiais – pedra britada, argila, cascalho e outros – empregados nos drenos convencionais. As georredes são produtos com estrutura plana em forma de grelha e têm uma função drenante. A georrede é um material que pode atuar na melhoria da estabilidade de taludes, além de permitir uma alta capacidade de escoamento sob carregamento. Estes produtos resumem-se a duas séries de elementos paralelos que se cruzam, formando desta maneira, ângulos constantes, os geotubos – produtos de forma tubular, também com função drenante figura 40).

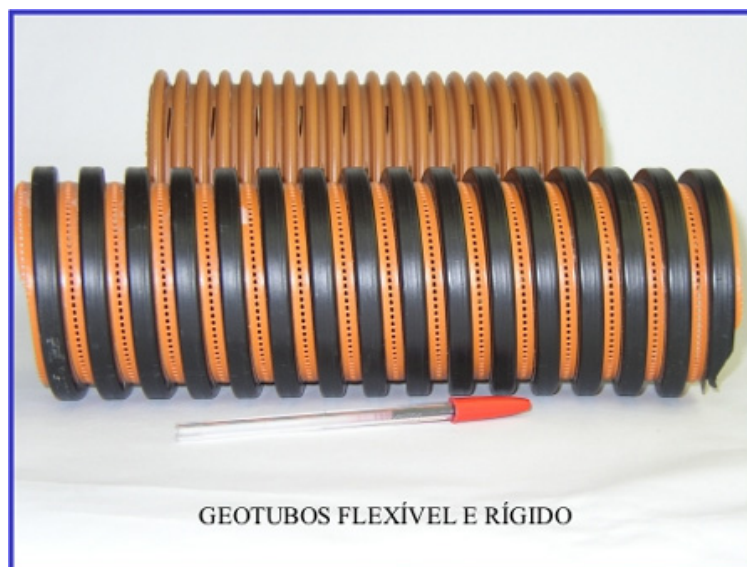


Figura 40- Geotubo drenante (fonte: <http://www.abint.org.br/ctg/geotubos.php9>)

g) Geossintéticos de Reforço

Nesta categoria existem vários tipos de geossintéticos, como por exemplo a geobarra – produto em forma de barra com função principal de reforço; a geotira – produtos em forma de tira; e as geogrelhas. As geogrelhas são materiais planares, poliméricas, em forma de grelhas, com grandes aberturas ou vazios. Estes são produtos constituídos por uma grelha aberta regular de elementos resistentes à tração, ligados entre si por colagem ou entrelaçamento, em que as aberturas têm dimensões superiores à grelha formada pelo elemento que o compõe (figura 41). Tanto as propriedades físicas quanto as mecânicas são influenciadas pelo tipo de tela da geogrelha.

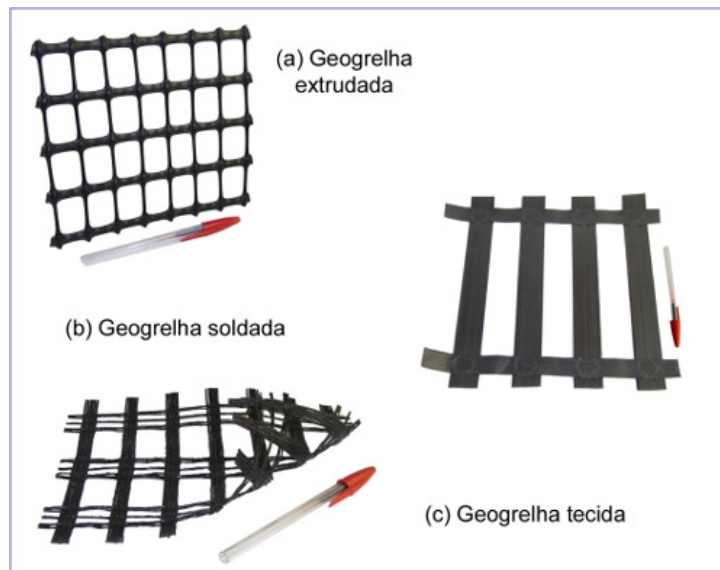


Figura 41- Geogrelha (Fonte: <http://www.abint.org.br/ctg/geogrelhas.php>)

5.6. A VEGETAÇÃO COMO ESTRATÉGIA DE CONSTRUÇÃO

As plantas desempenham no solo uma função de estabilização. Esta função revela-se, quer ao nível de proteção contra a ação de agentes internos (encharcamento, instabilidade, falta de coesão, etc.), quer externos (vento, coesão, precipitação, temperatura, etc.)

A vegetação assegura não só a estabilização e a proteção do terreno, como também, desenvolver de um modo equilibrado, com os fatores de desequilíbrio, quando devidamente cuidada, adaptando-se dentro de determinados limites. Os benefícios desta estabilidade dependem tanto do tipo de vegetação como do tipo de processo de degradação atuante. A vegetação utilizada como material de construção possui algumas vantagens em detrimento de materiais inertes. Algumas das vantagens são, por exemplo, a vegetação não passar por um processo de degradação, oferecendo uma estabilização crescente. Trata-se de uma estratégia biológica e ecológica que permite uma valorização estética e paisagística da construção. Algumas das desvantagens apontadas a esta técnica é a de não satisfazer em todas as situações, os requisitos de segurança exigidas e apenas atinge a sua eficiência após um determinado intervalo de tempo. Em relação aos materiais inertes são-lhes apontados vantagens como maior estabilidade, independência das características do local e da aplicação menos limitada temporalmente e a funcionalidade a curto prazo. As desvantagens prendem-se

a sua perda de eficiência devido à sua degradação e a falta de capacidade de regeneração, que não cumprem qualquer função biológica e normalmente constituem elementos estranhos na paisagem. Muitas vezes, são usados sistemas combinados, aproveitando assim, as vantagens de ambos os materiais.

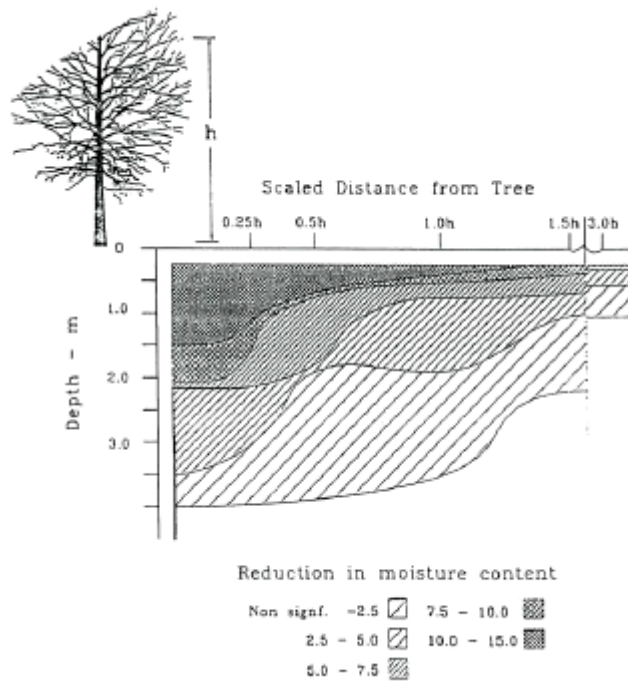


Figura 42- Redução do teor de umidade nas proximidades de uma árvore. (Fonte: Gray e Sotir,1996)

A vegetação na sua função de estabilizadora, intercepta, primeiramente, a água das chuvas através da folhagem, ramos, e tronco, que criam uma cobertura densa, reduzem significativamente, o amortecimento do impacto da chuva, diminuindo assim a erosão na superfície do solo, além de que a retenção da água nos seus troncos para posterior evaporação, reduz o caudal de escoamento da superfície (figura 42 e 43). Através da evapotranspiração, as raízes recolhem a água do solo, reduzindo a hipótese de ocorrer pressões positivas nos seus vazios. As raízes desempenham também um papel de melhorar a agregação das partículas do solo e auxiliar a sustentação para aumentar a sua resistência ao corte, aumentando a coesão do solo. As ramificações que penetram no solo vão criar uma malha, que agregará todas as partículas. Uma das desvantagens do uso da vegetação é o efeito do vento. Este pode causar algumas instabilidades na vegetação que se encontra no talude, podendo originar um

desenraizamento, por rotação da árvore, além de que o emprego de vegetação lenhosa pode causar instabilidades devido ao aumento de carga no talude e que este pode não suportar.

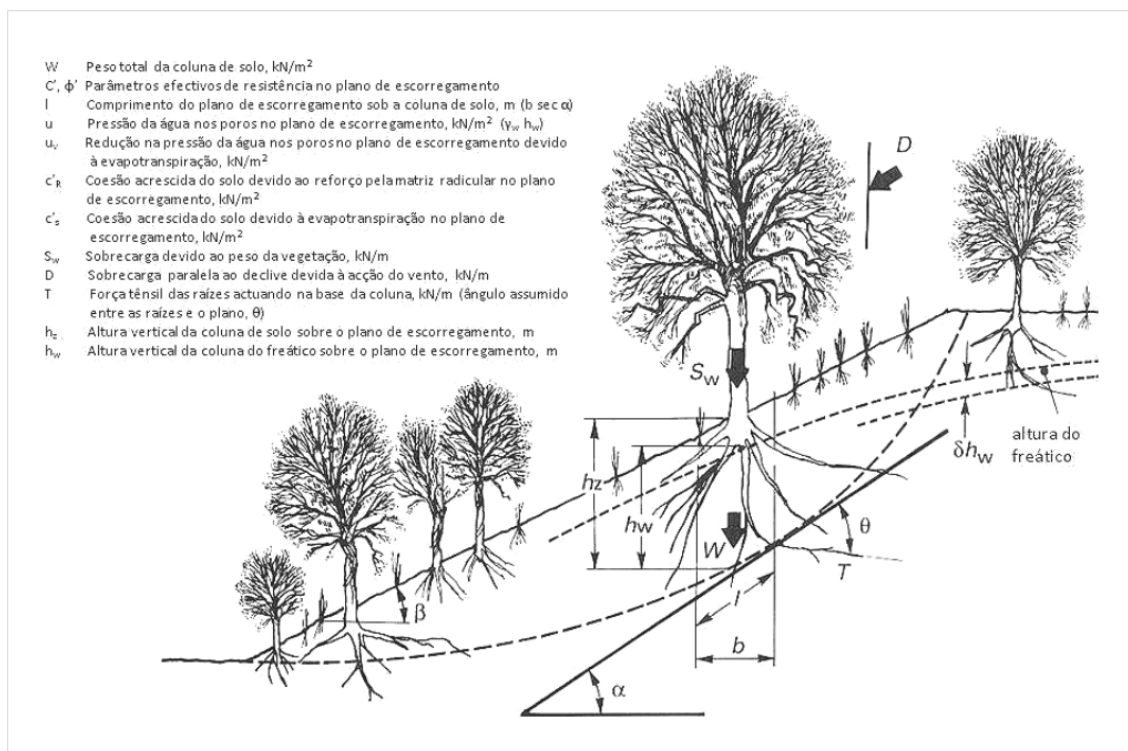


Figura 43- Efeitos da vegetação num talude (retirado de Fernandes, Coppin e Richards, 1990 in João Paulo e Freitas, Aldo Renato Mendes)

5.6.1. RAÍZES E AS SUAS FUNÇÕES

A camada radicular da vegetação tem um papel importante, tanto na sustentação e na alimentação das próprias plantas, como também na agregação dos solos. Diferentes morfologias da parte radicular, com diferentes funções, beneficiam as plantas de várias formas. As raízes de menores dimensões, com menor diâmetro têm uma capacidade de captar água nos vazios dos solos, conferindo-lhes um maior grau de agregação, enquanto as de maiores dimensões conferem uma maior estabilidade.

A vegetação afeta a estabilidade dos solos por intermédio das raízes, devido ao aumento da resistência de corte e da coesão das partículas. O aumento da resistência de corte depende da tensão exercida pelas e sobre as raízes, bem como das propriedades da interface das próprias raízes com o solo, e da concentração destas no mesmo. Existe uma necessidade de

compreender as características locais, com o objetivo de escolher mais acertadamente as espécies vegetais a implementar para a obtenção de uma estabilização mais efetiva, visto que as raízes e a sua arquitetura são governadas tanto pela genética, variando de espécie para espécie, como também pelas características locais.

5.6.2. CLASSIFICAÇÃO DA TERMINOLOGIA E ESTRUTURA

Numa mesma espécie vegetal existem diferentes tipos de raízes, em que cada um caracteriza-se por uma determinada função e localização distinta no sistema radicular. Pode-se enumerar três tipos diferentes de raízes: raiz central (localizada diretamente abaixo do tronco da árvore, com função penetrante), raízes secundárias (crescem da raiz central com uma direção radial) e as de terceira ordem (menor dimensão, com uma direção vertical, captando a humidade dos vazios do solo).

As raízes de menor dimensão (terceira ordem) aumentam a resistência a pequenos deslizamentos, enquanto as centrais são penetrantes. A distribuição das raízes de uma mesma planta é vigorosamente influenciada pelas propriedades físicas do solo, principalmente pela densidade aparente e estabilidade estrutural. O sistema radicular desenvolve-se profundamente e abundantemente em solos bem drenados. A infiltração da água e a oxigenação do solo são facilitadas pela maior porosidade dos horizontes superficiais em relação aos subjacentes.

5.7. ESCOLHA DA VEGETAÇÃO

Para a seleção da vegetação na aplicação numa estrutura, deve-se ter o cuidado na escolha da vegetação, pois deve-se optar pela vegetação autóctone, visto que estas espécies, geralmente adaptam-se melhor às condições existentes em um determinado local. Esta escolha baseia-se em diversos critérios, como as características biotécnicas das plantas (propagação, crescimento, e a sua disponibilidade no local) e as características do local da obra. A vegetação deve ser o mais heterogéneo possível, evitando assim a formação de comunidades de apenas uma espécie, que contribuem muito pouco para a dinâmica da vegetação.

a) Vegetação Herbácea

Geralmente, o emprego de vegetação herbácea possibilita uma boa proteção contra escorregamentos superficiais e da erosão do vento (Gray e Sotir, 1996). Podem ser conseguidas através de sementeiras ou por raízes desenvolvidas. Na sementeira, as sementes devem ser uma combinação de herbáceas anuais e de geminação rápida. Assim promovem a proteção a curto prazo mas também o desenvolvimento de herbáceas de crescimento lento que contribuem para a proteção a longo prazo.

b) Vegetação Arbustiva

A escolha da vegetação arbustiva é essencial ter em consideração ao tipo de cobertura que esta promove no solo, as raízes que a planta desenvolve e a dimensão. Uma planta com um tronco denso diminui a velocidade das gotas de chuva, reduzindo a erosão do solo.

c) Vegetação Arbórea

Nas técnicas de engenharia natural, o emprego de vegetação arbustiva não é aconselhável, devido ao elevado peso sobre o talude. O peso, associado à rigidez dos troncos e ação erosiva dos ventos e da chuva, podem proporcionar danos a um talude, podendo originar queda e consequente desenraizamento e assim criando novas formas de erosão.

d) Remoção da Vegetação

Ao remover a vegetação de um solo, este torna-se mais fraco e ajudam na destabilização dos taludes. Em estudos efetuados por Bishop e Stevens (Gray e sotir 1996), verificou-se um aumento da frequência de deslizamentos e nos espaços afetados por estes deslizamentos. O desaparecimento do sistema radicular ou a sua destruição são das principais razões para o aumento destes deslizamentos.

5.8. CARACTERÍSTICAS DA VEGETAÇÃO: EFEITOS FAVORÁVEIS E DESFAVORÁVEIS

De acordo, com Florineth e Gerstgraser (2000), a vegetação pode aumentar a tensão de erosão sustentada pelo subsolo. A estabilidade do talude depende das espécies mas também das técnicas utilizadas. Wolle (1986) defende que a vegetação pode ter efeitos desfavoráveis e favoráveis em relação à estabilidade dos taludes. O autor diz que, logo depois de retirar as árvores que estão sobre os taludes, há um aumento na sua estabilidade. Isto dá-se porque não ocorrem efeitos negativos de sobrecarga. Porém, caso a vegetação não renasça, este aumento de estabilidade tende a ser perdido com o tempo, pois as raízes apodrecem. O uso de vegetação como material de construção vivo é uma da principal razão para que os projetos nesta área constituam uma elevada compatibilidade na integração ambiental. São consideradas essenciais do ponto de vista funcional, adotando a cobertura vegetal uma função necessária e fundamental na defesa do solo, impedindo a ação desagregadora de agentes externos, quer por ações de tipo hidrológico, quer por ações de tipo físico-mecânico. As influências da vegetação na estabilidade de taludes podem ser divididas em mecanismos hidrológicos e mecânicos (tabela 3 sintetiza os efeitos da vegetação nos mecanismos hidrológicos e mecânicos):

5.8.1. MECANISMOS HIDROLÓGICOS

- Interceção na folha (reduz a precipitação por adsorção e evaporação)
- Capacidade de infiltração aumenta devido ao aumento da rugosidade da superfície do solo e permeabilidade
- Transpiração de água-absorção pelas raízes baixa a pressão da água dos poros

5.8.2. MECANISMOS MECÂNICOS

- Reforço do solo pelas raízes aumenta a resistência ao cisalhamento
- Ancoragem da camada superficial do solo em estratos firmes (justaposição e arqueando)
- Aumento da sobretaxa de peso vegetação (aumento das forças normais e downhill)
- Erosão reduzida por teias de raízes densas

Efeitos Hidrológicos	Efeitos Mecânicos
Folhas	
<ul style="list-style-type: none"> - Conservam (evaporam) parte do volume de água, diminuindo a precipitação efetiva; - Diminuem a força de impacto das gotas da chuva e, concludentemente reduzem a erosão; - Aumentam a dimensão das gotas, o que origina um maior impacto localizado; - Reduzem a infiltração no talude, por causa da evapotranspiração. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumentam a força normal, pelo peso da folhagem e do tronco; - Protegem o solo da ação direta do vento e dos raios solares; - Captam as forças do vento e é transmitido ao talude através do tronco e do sistema radicular.
Manta morta	
<ul style="list-style-type: none"> - Aumenta a rapidez e a capacidade do armazenamento de água; - Reduz a celeridade do escoamento superficial da água. 	<ul style="list-style-type: none"> - Absorve, parte, do impacto mecânico que advém do trânsito de animais e máquinas; - Protege o solo de outras forças erosivas;

Raízes	
<ul style="list-style-type: none"> - Aperfeiçoam a infiltração superficial da água no solo; - Com o aumento da porosidade do solo, melhoram a sua permeabilidade; - Retiram parte da água infiltrada que posteriormente será transformada - Criam pressões neutras nos poros criando uma maior coesão do solo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ajudam na criação dos aglomerados do solo por ação física e biológica; - Aumentam a resistência do solo ao cisalhamento; - Distribuem as tensões originadas nos pontos críticos; - Limitam os movimentos e auxiliam a suportar o peso do talude.

Tabela 3- Efeitos da vegetação sobre a estabilidade de encostas

Mecanismos benéficos para a estabilidade de taludes claramente superam influências adversas. Investigações estatísticas mostraram que, em encostas nuas (sem vegetação), as falhas ocorrem com mais frequência do que em encostas comparáveis em áreas arborizadas. Para cálculos geotécnicos, aumenta em declive a estabilidade por evapotranspiração e outros benéficos mecanismos hidrológicos. Para os cálculos de estabilidade, o principal fator é o reforço mecânico do solo por raízes. Dependendo das condições climáticas do local e requisitos especiais, é apropriado o sistema radicular profundo, em que as plantas são selecionadas.

5.9. TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL

Quando usadas em taludes, estas técnicas são aplicadas em casos de instabilidade pouco profundas e em que não se presencie o envolvimento de massas de terreno de grande dimensão. Estas técnicas podem ser aplicadas quer na estabilização de taludes e escarpas quer para a estabilização de margens fluviais. As técnicas de engenharia natural podem ser divididas segundo os seguintes termos: revestimento, consolidação e estabilização (tabela 4). Podem também ser combinadas, em que são usados elementos inertes e vegetais. Nestes casos

os materiais inertes funcionam como estabilizadores até que as plantas fiquem capazes de realizar essa função.

Técnicas de Revestimento	Técnicas de Estabilização	Técnicas de consolidação
a) Sementeira	e) Paliçada Viva	h) Muro de Suporte Vivo
b) Hidrosementeira	f) Entrançado vivo	i) Grade Viva
c) Manta orgânica	g) Faixa de Vegetação	j) Terra Reforçada
d) Geotexteis		k) Gabiões Vivos

Tabela 4- Técnicas de engenharia natural

a) Sementeira

A sementeira possibilita a consolidação e o revestimento de superfícies em erosão, conseguido através de uma distribuição manual de sementes de diferentes espécies herbáceas (figura 44) adaptadas às condições climáticas do local da aplicação (AIPIN, 2002). Depois de aplicar as sementes no solo, devem ser cobertas com terreno. A sua aplicação deve ser efetuada no período de atividade vegetativa, procedendo ao posterior cuidado com as irrigações, cortes periódicos e adubações. Podem se aplicadas em superfícies planas ou em sulcos, devem ser espécies anuais e com um crescimento rápido. A sementeira pode ajudar na limitação de água no solo, permitindo assim, uma redução de pressões neutras.



Figura 44- Sementeira (Fonte: Fernandes e Freitas, 2011)

b) Hidrosementeira

É uma técnica que prende-se no revestimento rápido e fácil de superfícies em erosão com espécies herbáceas, através da distribuição de equipamentos mecânicos (hidrossemeador) de uma mistura de água, sementes, mulch (fibras de madeira), fertilizantes e aditivos/corretivos biológicos do solo (figura 45). Geralmente esta técnica é usada em complemento a outras medidas estabilizadoras



Figura 45- Hidrosementeira (Fonte: Fernandes e Freitas, 2011)

c) Biorrolos

As mantas orgânicas são compostas por uma malha geossintética leve de reforço, e independentemente, da aplicação, têm inclusões de fibras de origem vegetal, como a fibra de coco e palha (figura 46). Pode ser utilizada em conjunto com a hidrossementeira na proteção de taludes contra a erosão hidráulica e eólica melhorando o especto paisagístico.



Figura 46- Biorrolos (Fonte: Fernandes e Freitas, 2011)

d) Geotêxteis

Estes tecidos destinam-se a revestir o solo para evitar a erosão directa de agentes erosivos e reduzir perdas de água por evaporação, contribuindo para o melhor desenvolvimento das plantas. Os geotêxteis desempenham várias funções devido às suas propriedades hidráulicas e mecânicas, nomeadamente, funções de drenagem, filtração, de separação, reforço e protecção. E por isso, podem ajudar na regulação da temperatura do solo, facilitando uma vez mais o desenvolvimento da vegetação. É constituído por feltro de fibras de polipropileno ou polyester (figura 47). Trata-se de uma aplicação leve, económica e de fácil aplicação. A aplicação é semelhante à de uma manta orgânica.



Figura 47- Geotêxteis (Fonte: Fernandes e Freitas, 2011)

e) Paliçada Viva

É uma estrutura viva, é aplicada em taludes de substratos argilosos ou/e arenosos. São cravadas estacas vivas verticalmente (figura 48). Cada estaca deve ser enterrada no solo, com uma profundidade mínima de 1/3 do seu comprimento. A união destas estacas é feita por estacas horizontais de espécies lenhosas com particularidades vegetativas.

A ordenação em socalcos reduz a inclinação do talude e diminui a erosão provocada pelas águas superficiais que removem os depósitos superficiais dos resíduos que estejam soltos. O material vivo, uma vez enraizado e desenvolvido, vai possibilitar a consolidação dessas terras. Esta técnica deve ser efectuada durante a época de repouso vegetativo. Para a manutenção, é necessário, realizar o corte da vegetação, sendo assim, um aspecto importante a ter em atenção aquando a seleção das espécies a empregar na obra.



Figura 48- Esquema ilustrativo de uma obra do tipo paliçada viva. A – Vista transversal – Vista B - frontal.
(adaptado de Ferrari, R., 2000, volume 15).

f) Entrançado Vivo

O entrançado vivo visa a estabilização de taludes, e procura reter a camada superficial do solo. O entrançado vivo pode ser usado não só na consolidação de taludes e encostas como também na proteção de margens fluviais. Trata-se de uma técnica com uma aplicação simples, pois consiste na realização de um entrançado de ramos de espécies lenhosas em volta de estacas cravadas no solo (figura 49). Tem como objetivo a consolidação imediata do solo. A sua eficácia depende da profundidade que se cravam as estacas e aumentam com o enraizamento e consolidação do solo. Esta é uma técnica que consiste em cravar as estacas a uma distância de aproximadamente 50 a 100 cm, posteriormente, faz-se o entrançar de ramos vivos com a extremidade mais grossa introduzida no mínimo 20 cm no solo. No fim aplica-se terra vegetal para o enchimento dos entrançados para que não sequem.



Figura 49- Entrançado vivo (Fonte: Fernandes e Freitas, 2011)

g) Faixas de Vegetação

As faixas de vegetação são usadas na estabilização dos níveis superficiais dos taludes, especialmente onde ocorrem situações de acumulação de material solto em zonas suscetíveis a deslizamentos superficiais de terrenos, zonas de erosão, em que o nível instável não deverá situar-se a uma profundidade superior a 1,5m. Pode ser executado em encostas com muros de terra armada ou em solos nus. Uma das dificuldades desta técnica é o de garantir a fixação da vegetação em climas secos. Consiste na escavação de valas perpendiculares à linha de maior inclinação do talude (figura 50), feitas através de uma escavação contrária inclinação com declive da base de cerca de 10% para o interior da encosta com profundidade compreendida entre os 0,5 m e 1,5 m. No seu interior são postas espécies autóctones em que as raízes são cobertas com terra de modo a criar densas filas de arbustos e os ramos saem do terreno cerca de 10 cm para facilitar o desenvolvimento dos rebentos. No fim volta-se a escavar uma nova vala de 1,5 m a 3 m acima da primeira, usando o solo extraído anteriormente para preencher a vala inferior, o procedimento é repetido até ao topo da encosta.



Figura 50- Faixa de vegetação

(Fonte: http://wallmuro.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=128&Itemid=123)

h) Muro de Suporte Vivo

Esta é uma técnica de estabilização de taludes, que caracteriza-se por ser uma obra permeável e deformável. Tem uma grande versatilidade podendo assim executar em condições adversas, como em taludes com estabilidade reduzida. Trata-se de uma construção em madeira composta por uma estrutura com forma de caixa, constituída por troncos de madeira aplicados

perpendicularmente, e no seu interior a instalação de estacas vegetativas ou plantas (figura 51).

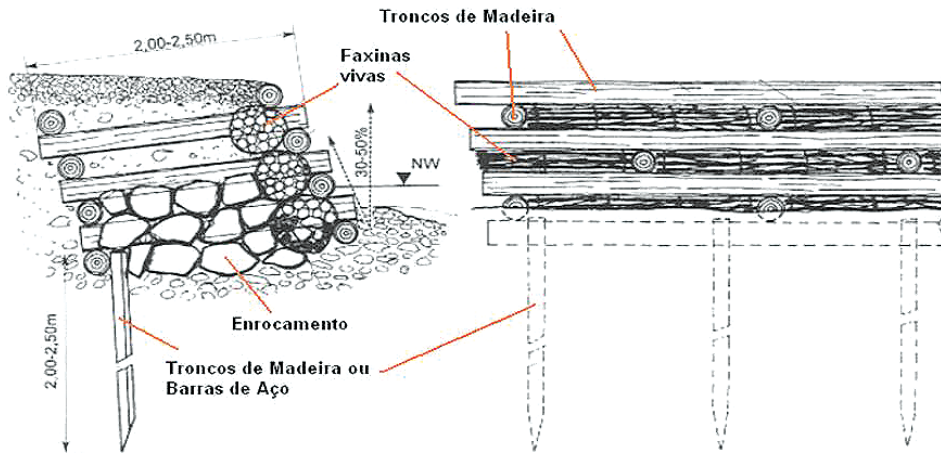


Figura 51- Esquema de um muro de suporte vivo



Figura 52- Muro de suporte vivo no início da construção e após a sua finalização

Este tipo de muro com estrutura dupla ou simples, formado por caixas que resultam da sobreposição de troncos longitudinais e transversais, fixados por cavilhas de ferro (figura 52) constitui, entre os vários métodos de construção combinados, um dos mais usados e com grande sucesso em projetos que visam a da proteção do solo e a valorização paisagística em espaços terrestres ou aquáticos. A colocação do material vegetal autóctone, especialmente, provenientes de plantas que propagam, tais como, a tamargueira ou o salgueiro, ou podem ser utilizadas plantas de torrão em que emitem raízes adventícias, como o folhado.

i) Grade Viva

A grade viva é uma estrutura em madeira, adquirida através de troncos de madeira verticais e horizontais, colocados perpendicularmente entre si, é sustentada por prumos de madeira enterrados no solo e serve de suporte à estrutura (figura 53). Depois, procede-se à plantação de plantas em torrão ou em raiz nua e de estacas vivas enchendo, posteriormente, com terreno local a estrutura. A grade viva visa a consolidação de camadas superficiais do solo até uma profundidade de 30cm a 40 cm. Os troncos, normalmente possuem diâmetros na ordem dos 10 a 30 cm. Ajudam na consolidação do solo para evitar deslizamentos ou erosão. O emprego da vegetação deve ser feito por plantação ou colocação de estacas depois da execução da grade.



Figura 53- Grade viva (Fonte: http://wallmuro.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=129&Itemid=91)

j) Terra Reforçada

É utilizada para a reconstrução de taludes que possuem uma grande inclinação. Baseia-se numa estratificação de várias parcelas de terreno local que são estabilizadas através do peso do terreno, na parte interior e na parte frontal, a contenção é feita por uma proteção de vários materiais inertes. São usadas mantas orgânicas reforçadas de plástico ou aço (figura 54) cobertos com terra vegetal e posteriormente finalizada com a plantação de espécies enraizadas.

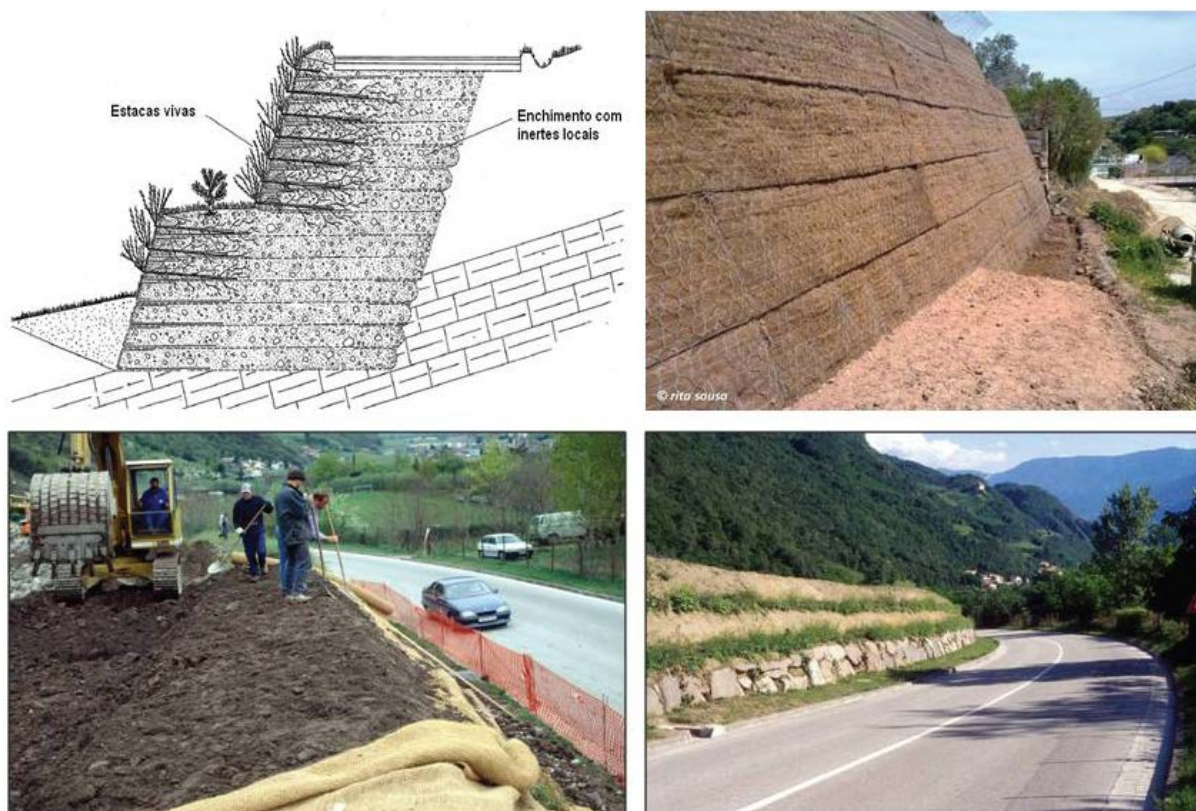


Figura 54- Terra reforçada (Fonte: Fernandes e Freitas, 2011)

k) Gabião Vivo

Trata-se de uma estrutura com forma de caixa retangular, feita com arame galvanizado, uma rede de malha e o seu interior é enchido com rocha. As estacas vivas são colocadas no interior destas caixas de forma irregular (figura 55). A sua função é de proteção contra a ação erosiva. Para a inserção das estacas vivas, é necessário a colocação de terra vegetal e dispor as plantas ou os ramos com capacidade vegetativa com um comprimento adequado para que as plantas atinjam o solo, que está atrás do gabião. Assim, aumenta-se a probabilidade da fixação das plantas. O desenvolvimento das raízes vão auxiliar no estabelecimento da estrutura do talude.

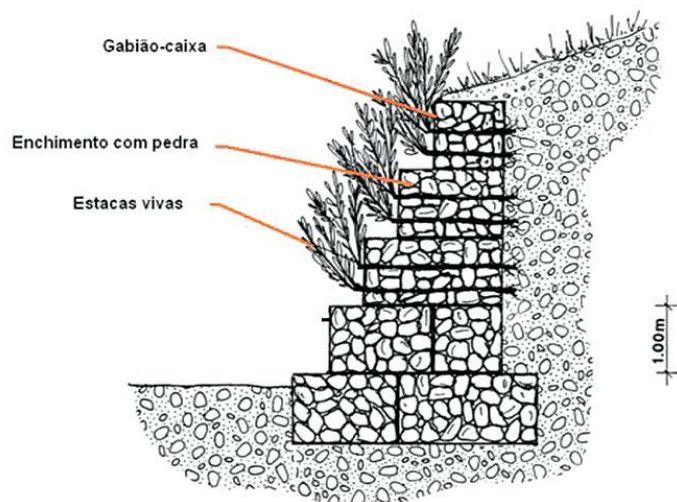


Figura 55- Gabião vivo (Fonte: Fernandes e Freitas, 2011)

5.9. DURABILIDADE DAS TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL

São relativamente recentes as técnicas que dizem respeito à engenharia natural, sabendo que as construções mais antigas datam os anos 30 do século XX, divulgadas por Schiechl (1991 e 1992) e realizadas por Hassenteufel, Prueckner e Kraebel. Existem várias obras realizadas por Schiechl que possuem cerca de 50 anos e encontram-se funcionais e grande parte destas plantas não foram acompanhadas para trabalhos de manutenção devido a dificuldades financeiras, apesar de continuarem a cumprir com os objetivos para o qual foram criadas. Estas obras mostram um exemplo de sucesso neste tipo de intervenção, advieram de uma avaliação adequada na escolha das espécies das plantas, das condições ecológicas no processo de planejamento e das técnicas de construção durante a sua realização.

5.10. CUIDADO E MANUTENÇÃO DAS TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL

A eficiência das técnicas de engenharia só é atingida após o desenvolvimento da vegetação, sendo que na fase inicial a proteção do talude é menor. Para diminuir o tempo necessário para o desenvolvimento da vegetação, normalmente são usadas medidas de manutenção. Estas medidas de manutenção prendem-se com as atividades necessárias para conservar a vegetação presente. Quando são adotadas técnicas da engenharia natural, e usada a vegetação do local,

pode-se esperar não ser necessário realizar atividades de manutenção a partir do segundo ano. Geralmente, as atividades de manutenção podem ser precisas em intervalos de tempo de 3 a 10 anos. As atividades de manutenção podem ser:

-Irrigação

-Transporte de material ceifado

-Podas das espécies lenhosas

-Remoção de plantas mortas

-Drenagem

-Prevenção de danos produzidos pelo gado ou pela fauna

-Uso de adubo para melhorar o solo

-Uso de pastoreio, por espécies apropriadas ao local

6

CASOS PRÁTICOS DE ENGENHARIA NATURAL

6.1. INTRODUÇÃO

A nível europeu, podemos apontar a Universidade de Viena, como o primeiro Instituto de Engenharia Natural, dirigido por F. Florineth em 1994, enquanto no mesmo ano foi feito em Espanha, a Federação de Ingenieria del Paisaje (AEIP), organizador de muitas interessantes conferências sobre o assunto. Em 1997, também em Viena foi fundada Österreichischer Ingenieurbiologischer Verein.

É essencial que existam critérios para a aplicação das várias fases de processamento, e por isso necessários para a elaboração de um projeto de engenharia natural, a preparação de documentação técnica na legislação. Este tratamento é importante, porque os projetos de Engenharia Natural requerem algum conteúdo específico em comparação no que diz respeito aos projetos usando técnicas convencionais, porque tais exposições têm um carácter inovador, portanto, ainda não considerado património. Os projetos de engenharia natural, de fato, envolvem uma forte abordagem multidisciplinar, uma vez que entram outros fatores mais importantes do que estritamente física, muitas vezes não são considerados ou avaliados como ambientais e sociais. Somente através de um caminho com base na qualidade e rigor técnico, é que pode desenvolver-se uma nova cultura de acordo com as novas abordagens.

A engenharia natural pode apenas substituir a engenharia clássica em parte, pois em condições técnicas e ambientais haverá situações em que eles podem ser combinadas ou utilizadas técnicas da engenharia clássica, tais como em situações de avaliação da segurança

pública. A engenharia natural além das opções de design disponíveis, devem ser baseadas também em uma análise cuidadosa. É importante saber algumas características das intervenções especialmente para os aspetos biológicos. Deve notar-se que, em geral, os trabalhadores que trabalham em canteiros de obras muitas vezes têm falta de familiaridade e habilidade com a ação biológica na agricultura e silvicultura. É necessário, portanto, promover sessões de formação para os trabalhadores chamados a operar neste sector. Os mesmos problemas também ocorrem para operadores de máquinas, que têm falta de experiência neste campo e muitas vezes operam com máquinas não adequadas.

6.2. O ESTUDO DE CASO DE SÃO VICENTE

6.2.1. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

“A ilha da Madeira ergue-se acima de uma vasta planície submarina, no interior da placa africana, numa zona onde a crosta oceânica tem 130 Ma, formando um maciço vulcânico com mais de 5,5 km de altura, do qual apenas cerca de 1/3 se encontra emerso. Com 1861 m de altitude máxima (Pico Ruivo), 58 km de maior dimensão, no sentido E-W e 23 km de largura, a Madeira apresenta um relevo muito acentuado com 1/4 da sua superfície acima dos 1000 m de altitude e declives elevados. Cerca de 65% da superfície da ilha tem declives superiores a 25%, sendo as áreas planas, ou relativamente planas, escassas” (S. Prada, M.A. Gaspar, M.O. Silva, J.V. Cruz, M. M. Portela, G.R. Hora, 2003) “A forma do edifício vulcânico que lhe deu origem, o clima, a natureza e modos de jazida das rochas, desempenham papéis predominantes no modelado do relevo, tal como é conhecido atualmente. O aspeto geral atual da ilha, vista do mar, a certa distância, apesar do seu relevo contrastante e dos vales profundamente incisivos, é o de um escudo achatado dissecado pela erosão vertical, cujos bordos teriam sido quebrados pela erosão das vagas” (RIBEIRO, 1985). São vulgares, ao longo de todo o seu contorno, as arribas com algumas centenas de metros de altura, sendo a ilha quase desprovida de costas baixas. Verifica-se uma dissimetria entre a vertente meridional, convexa, e a setentrional, côncava, da ilha da Madeira, devida ao mais rápido recuo das arribas a norte, em consequência de uma maior dinâmica hidráulica,

resultante da predominância setentrional dos rumos eólicos” (S. Prada, M.A. Gaspar, M.O. Silva, J.V. Cruz, M. M. Portela, G.R. Hora, 2003)

A ilha da Madeira, como a maioria das regiões vulcânicas, caracteriza-se por uma orografia muito acidentada e uma geologia-geotecnia únicas, devido aos vários períodos de atividade vulcânica que conduzirão a sua formação. De acordo com dados geocronológicos a Ilha da Madeira formou-se a sensivelmente 5,2 milhões de anos. A morfologia desta ilha indica a influência das estruturas vulcânicas que lhe deram origem. Através de alguns fatores como as mudanças climáticas, as mudanças do nível do mar levaram ao aparecimento de alguns fenómenos geológicos.

“A história geológica do arquipélago da Madeira está intrinsecamente ligada à abertura e expansão do Atlântico, iniciada há cerca de 200 Ma., durante o Triásico, a qual prossegue ainda no tempo corrente. A sismicidade que se verifica no Arquipélago da Madeira, na maior parte das ocorrências, é reflexo dos abalos que afetam o Arquipélago dos Açores e Portugal Continental; cujos focos se situam, na maior parte dos casos, na direção Açores – Gibraltar. (Ferreira, 2007).

A área de estudo encontra-se no complexo de base (Miocénico Superior – Pliocénico) formado essencialmente por brechas vulcânicas e depósitos piroclásticos, sendo as escoadas lávicas secundárias.

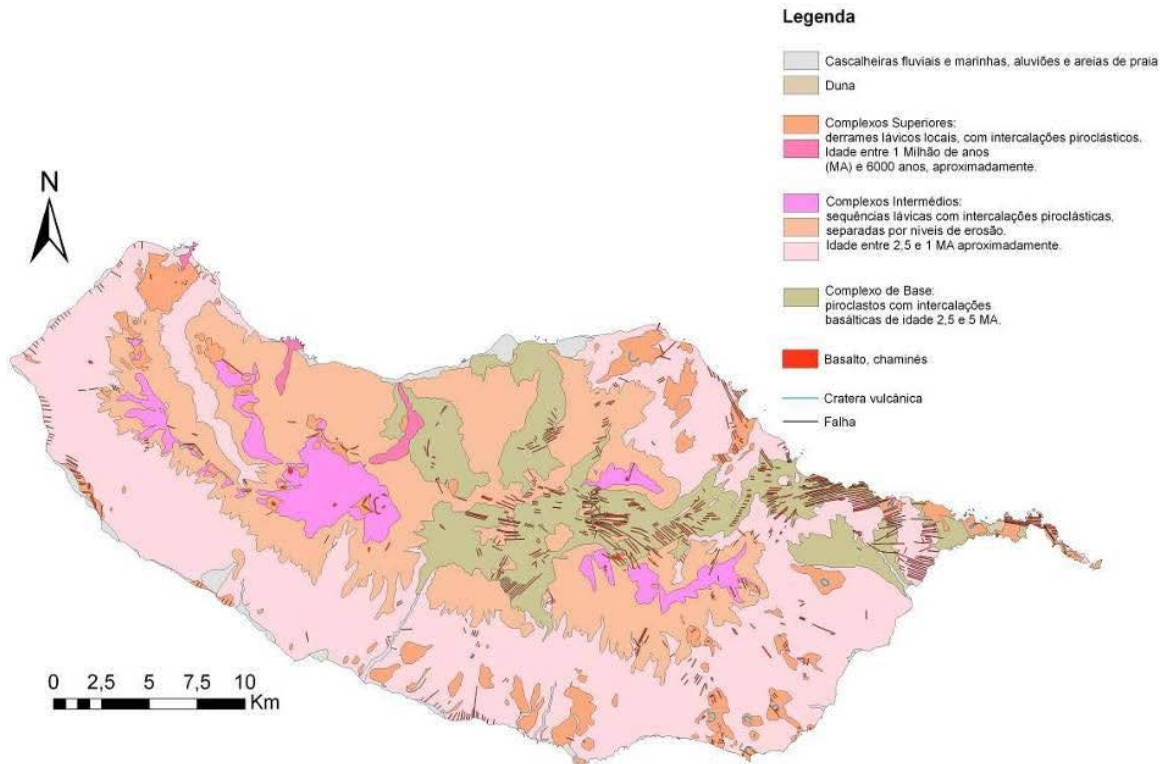


Figura 56- Carta geológica da ilha da Madeira (Fonte: LNEC, 2009)

6.2.2. CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICO DA ILHA DA MADEIRA

A configuração do edifício vulcânico que deu origem á natureza das rochas e ao clima possuem um papel importante no aspeto do relevo atual. São frequentes, as arribas com algumas centenas de metros de altura. Existe uma dissimetria entre a setentrional, côncava e a vertente meridional, convexa, devido ao rápido recuamento das arribas a Norte, por ter uma maior dinâmica hidráulica, consequente da predominação setentrional dos rumos eólicos. Ribeiro (1985) diz que apesar de um relevo de contrastes e dos seus vales cortados, a aparência geral da ilha, vista do mar, possui um panorama aplanado pela erosão vertical, cujas bordas teriam sido cortadas pela erosão das vagas. A vista de perfil da ilha demonstra uma dissimetria bem destacada onde o relevo da costa Norte aparece mais escarpado, quando confrontado com a maior amenidade do relevo da costa Sul. Os pontos mais elevados encontram-se na zona central e oriental e dizem respeito aos Picos Areeiro (1810 m) e do Ruivo (1860 m). Na zona oeste predominam os planaltos, onde ressalta a Bica da Cana com 1620 m. Cerca de 25 % da área da ilha possui uma altitude superior a 1000 m.

O relevo da ilha é caracterizado, por uma série de montanhas com altitudes médias de 1400m, que forma dois maciços separados pelos vales de São Vicente e da Ribeira Brava e unidos pela Encumeada (figura 57).

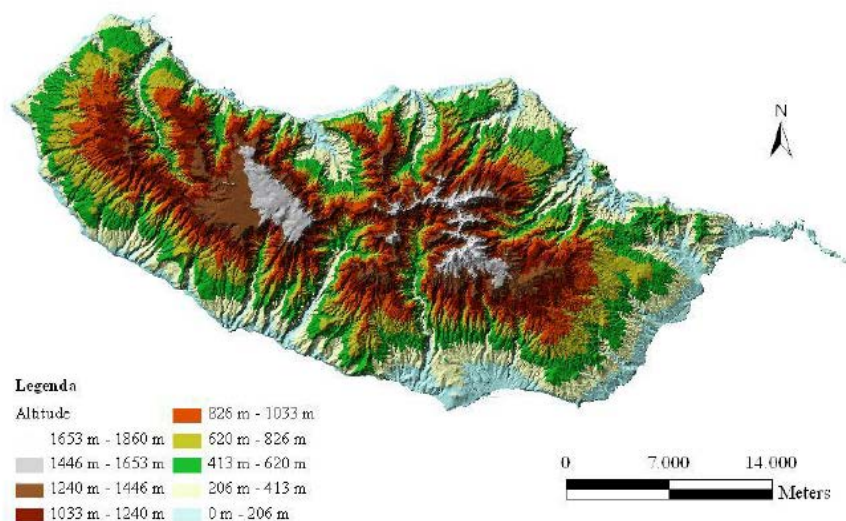


Figura 57- Orografia da Ilha da Madeira, (Fonte: PRAM)

6.2.3. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA ILHA DA MADEIRA

A localização geográfica e a orografia do Arquipélago da Madeira influenciam o clima da região. Esta encontra-se no mediterrâneo, sob o domínio direto do anticiclone subtropical dos Açores, que a defende dos ventos alísios e das depressões do Atlântico Norte, e que origina o ar húmido e fresco que chega à costa Norte. Os sistemas depressionários que, no Inverno, cruzam o Atlântico e que vêm ter à latitude da Madeira, ou os que se originam entre o Arquipélago e Portugal Continental podem instigar precipitação, que quando acontece num curto espaço de tempo, apresenta um alto risco de movimentos de vertente e de aluviões.

O clima da ilha apresenta, assim, traços característicos de um clima mediterrâneo, com verões secos e quentes, confinados pela influência do anticiclone dos Açores e Invernos húmidos e agradáveis. No entanto, acontece uma grande inconstância da precipitação, específica do próprio clima, mas também das junções orográficas, dado que quando uma massa de ar encontra uma encosta, sobe a elevação, arrefece e condensa, causando chuvas de relevo. A Ilha

da Madeira apresenta uma diversidade de microclimas, que advêm da influência de agentes locais, como sendo uma altitude diversificada e a exposição das vertentes à influência dos alísios e à radiação solar originários de Norte e Nordeste. Estes ventos frios e húmidos geram a cobertura de nuvens, que baseiam-se em nevoeiros de origem orográfica e que se produzem pela subida das massas de ar carregadas de humidade nas encostas viradas a Norte (figura 58).



Figura 58- Nevoeiros formados sobre a Encumeada, (Fonte: Fernandes, 2009)

6.2.4. VEGETAÇÃO

A flora indígena da madeira foi condicionada pelas massas continentais da Europa, África e América. A flora da Madeira apresenta vestígios da vegetação boreo-tropical existente na bacia ocidental do mar Tethys, que no período Plistocénico, afetaram a vegetação continental, levando á sua extinção, por isso, a vegetação da Madeira representa uma significativa importância. A vegetação madeirense não se caracteriza apenas por este tipo de flora, é acompanhada por uma flora neo-endémica, em que a sua origem provém de acontecimentos de colonização.

A vegetação na ilha da Madeira encontra-se dividida em andares de acordo com as condições climáticas. Cada andar possui uma vegetação natural. Existem cinco andares, em que a sua variação depende da altitude e a da sua exposição a sul ou norte, sendo possível catalogar a

diferentes espécies com os fatores de temperatura e precipitação (Mesquita, Capelo e Sousa, 2004 in Vários, 2010)².

Segundo os autores Capelo e colaboradores os diferentes andares de vegetação da Madeira podem ser divididos da seguinte forma:

“No andar inframediterrânico, mais baixo e exclusivo da costa Sul, ocorrem as comunidades edafoxerófilas que ocupam as áreas costeiras, das quais se destacam o zambujal (*Mayteno umbellatae-Oleetum madeirensis* Capelo, Costa, Lousã, Fontinha, Jardim, Menezes de Sequeira & Rivas-Martinez 2000), microbosque dominado por *Olea europaea* L. subsp. *maderensis* Lowe (Zambujeiro, oliveira-brava ou oliveira-da-rocha) e *Maytenus umbellata* (R. Br. In Buch) Mabb (Buxo-da-rocha), e a respetiva etapa de substituição, a comunidade de figueira-do-inferno (*Euphorbietum piscatoriae* Sjögren ex Capelo, Costa, Lousã, Fontinha, Jardim, Menezes de Sequeira & Rivas-Martinez 2000) dominada por *Euphorbia piscatoria* Aiton (Figueira-do-inferno) que também ocupa posição primária sobre as falésias”

“ O andar termomediterrânico, localizado até os 700 metros na encosta Sul e 300 metros na vertente Norte, permite a ocorrência de bosque de oliveira-brava, nos biótopos edafoxerófilos de menor altitude da costa Sul, sendo as cotas mais elevadas e a vertente Norte, com maior disponibilidade hídrica, ocupadas por Laurissilva do barbusano (*Semele androgynae-Apollonietum barbujanae* Capelo, Costa, Lousã, Fontinha, Jardim, Menezes de Sequeira & Rivas-Martinez 2000), uma floresta dominada por *Apollonias barbujana* (Cav.) Bornm (Barbusano), *Laurus novocanariensis* Rivas Mart., Lousã, Fern. Prieto, E. Dias, J.C: Costa & Aguiar (Loureiro), *Myrica faya* Aiton (Faia ou Samouco) e *Ilex canariensis* Poir (Azevinho), onde abundam as lianas (Como, por exemplo, *Semele androgyna* (L.) Kunth (Alegra-campo), *Convolvulus massonii* Dietr. (corriola), entre outras). O matagal de substituição da faciação que ocupa as áreas mais baixas da costa Sul é dominado por *Hypericum canariensis* L. (Hipericão) (*Myrto communis-Hypericetum canariensis* Capelo, Costa, Lousã, Fontinha, Jardim, Menezes de Sequeira & Rivas-Martinez 2004) enquanto que em cotas superiores e na costa norte a substituição é feita pelo matagal de *Erica platycodon* subsp. *maderincola* (D.C.

² Estudo efetuado por parceria entre o LREC, UMa, e Instituto Superior Técnico, *Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira*, 2010, p. 30

McClint.) Rivas Mart., Capelo, J. C. Costa, Lousã, Fontinha, R. Jardim & M. Seq. (Urze-das-Vassouras ou Urze durázia), *Erica arborea* e *Myrica faya* onde abundam elementos xerótermófilos como, por exemplo, a *Globularia salicina* Lam (Malfurada). (Globulario salicinae-*Ericetum arboreae* Capelo, Costa, Lousã, Fontinha, Jardim, Menezes de Sequeira & Rivas-Martinez 2000).”

“Nos andares mesomediterrânico, localizado entre 700-1500 metros na face Sul e 300-600 a Norte, e o mesotemperado, localizado exclusivamente na zona Norte entre os 600 e 1300 metros, respetivamente com uma floresta dominada por *Ocotea foetens* (Aiton) Baill (Til), *Laurus novocanariensis* e *Clethra arborea* Aiton (Folhado), denominada de Laurissilva do til (*Clethro arboreae-Ocoteetum foetentis* Capelo, Costa, Lousã, Fontinha, Jardim, Menezes de Sequeira & Rivas-Martinez 2000). A orla e primeira etapa de substituição (*Vaccinio padifolii-Ericetum maderinicolae* Capelo, Costa, Lousã, Fontinha, Jardim, Menezes de Sequeira & Rivas-Martinez 2000) é um urzal onde domina *Erica platycodon* subsp. *maderincola*, *Erica arborea* e *Vaccinum padifolium* J. E. Sm. ex Rees (uveira) que assume também carácter de clímax infra florestal nas zonas mais escarpadas.”

“No andar supratemperado, situado acima dos 1500m na vertente Sul e 1300 no Norte, encontram-se várias comunidades onde se destaca o urzal de altitude (*Polysticho falcinelli-Ericetum arboreae* Capelo, Costa, Lousã, Fontinha, Jardim, Menezes de Sequeira & Rivas-Martinez 2000), comunidade dominada por *Erica arborea* e *Erica platycodon* subsp. *maderincola*. O bosque clímax original, bastante denso, seria co dominado pelas espécies acima referidas e por *Juniperus cedrus* Webb et Berthel. subsp. *maderensis* (Menezes) Rivas Mart., Capelo, J.C. Costa, Lousã, Fontinha, Jardim & Sequeira (Cedro de Madeira), do qual existem apenas vestígios nos penhascos mais inacessíveis. Os bosques atuais, muito abertos, possuem uma vegetação de sub-bosque dominada por *Polysticum falcinellum*(Sw.) C. Presl e como primeira etapa de substituição uma comunidade dominada por *Erica platycodon* subsp. *maderincola*.”³

O estudo de caso encontra-se situado no andar três, a área de intervenção é junto ao fim do percurso pedonal PR 21, caminho do norte. Passando a Estrada Regional (E.R. 104), a área de

³ Idem, pp. 30-32

estudo encontra-se entre uma área de transição, entre antigos campos agrícolas e a floresta Laurissilva, onde impera uma vegetação exótica, ou seja, a maioria das plantas que aparecem nesta área são espécies que não pertencem à flora nativa da Ilha.

6.2.4.1. CRITÉRIO DE SELEÇÃO PARA A ESCOLHA DA VEGETAÇÃO

Após algumas pesquisas, a escolha da vegetação baseou-se nos seguintes critérios para o local de estudo:

- Características edáficas do local;
- Características biotécnicas das plantas;
- Formas de propagação;
- Crescimento das plantas;
- Disponibilidade de material vegetal na área envolvente.

Para a estabilização de taludes foi optado pela seguinte vegetação:

“- Myrica faya” (figura 59) - Vulgarmente conhecida por faia das ilhas. Esta é uma espécie nativa. Apresenta uma série de características ótimas para este tipo de trabalho. Apresenta um crescimento rápido nos primeiros anos de vida; é uma espécie dominante nas matas de pequena altitude; gosta de solos bem drenados; fixa azoto atmosférico através da associação simbiótica com uma actino bactéria que se instala nas suas raízes. No caso desta espécie a propagação já é por sementeira ou então por repicagem.



Figura 59- Faia das ilhas (Myrica Faia) Fonte: http://old.encyclopedia.com.pt/print.php?type=A&item_id=314

- “Clethra arbórea” (figura 60) – Vulgarmente conhecida por folhado. É uma espécie endémica da Madeira. Apresenta uma série de características ótimas para este tipo de trabalho. Apresenta um crescimento rápido nos primeiros anos de vida; é uma espécie dominante e é pioneira nas sucessões ecológicas. No caso desta espécie a propagação faz-se por repicagem.

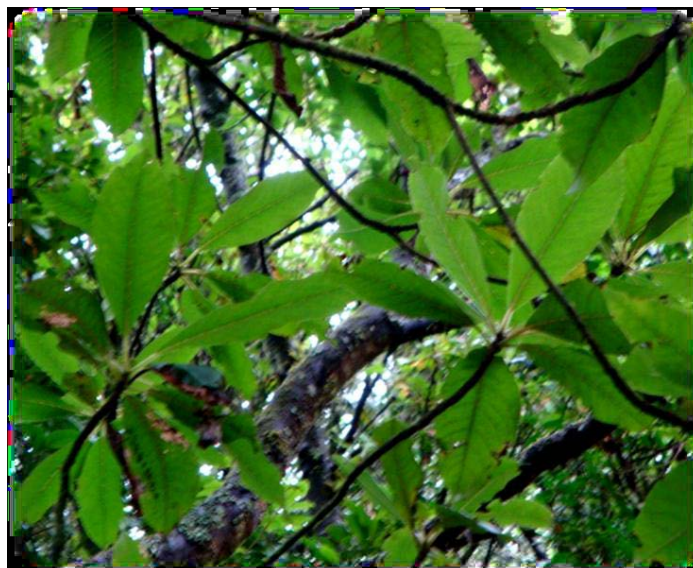


Figura 60- Folhado (Clethra arbórea) Fonte: <http://escolas.madeira-edu.pt/LinkClick.aspx?fileticket=6INfLSAeTtA%3D&tabid=8383&mid=17884>

- “*Erica scoparia*” (figura 61) - Vulgarmente conhecida por urze das vassouras. É uma espécie nativa. É uma espécie dominante e é pioneira nas sucessões ecológicas. No caso desta espécie a propagação faz-se por semente ou repicagem.”



Figura 61- Urze (*Erica arbórea*) Fonte: <http://escolas.madeira-edu.pt/LinkClick.aspx?fileticket=6INfLSAeTtA%3D&tabid=8383&mid=17884>

6.3. SOLUÇÕES MAIS FREQUENTES NA ILHA DA MADEIRA

O aproveitamento das condições de um local é um cuidado antigo e popular, feito da experiência dos antecedentes, que passa de geração em geração e através de várias tentativas. O relevo é um fator incontornável, quando acentuado, faziam-se socalcos, aproveitavam-se muros e economizavam umas paredes. Estes muros ajudavam muitas vezes a sustentar a escada. A integração pelo envolvente nasce nestes casos de forma natural, contudo prudente, uma vez que o assunto económico e o aproveitamento das oportunidades físicas naturais do envolvente estarão seguramente na origem destes casos.

A ilha da Madeira caracteriza-se por uma orografia acidentada, e os materiais de construção que a ilha tem em maior quantidade é a pedra basáltica, como já anteriormente foi referido. É por esta razão que as técnicas mais usuais na ilha são o muro de alvenaria de pedra, muro de betão ciclópico, pregagens, e paredes ancoradas. As técnicas tradicionais de construção

caracterizam um passado de experiência e uma herança dos antepassados, que permite que o Homem possa desenvolver os seus conhecimentos e poder aperfeiçoar a forma de trabalhar utilizando o que de melhor cada região fornece como material de construção. A figura 62 e a figura 63 demonstram as soluções mais usuais da ilha da Madeira.



Figura 62- Muro de betão projetado com pregagens, foto do autor



Figura 63- Muro de betão ciclópico, foto do autor

6.4. TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL MAIS ADEQUADAS AO ESTUDO DE CASO

Neste subcapítulo iremos descrever uma situação de instabilidade e de técnicas usadas em situações semelhantes, para o controlo da erosão. Visto, que anteriormente foi abordado algumas das técnicas tradicionais mais frequentes na ilha da Madeira, aqui vamos abordar as técnicas naturais mais apropriadas para o local em questão. Apesar de aqui não ser apresentado o processo de construção e tratar-se de um projeto futuro. Assim é apresentado um caso de estudo de estabilização de um talude em depósito de vertente. Uma vez estudado qual a vegetação a usar no local, é necessário efetuar o mesmo procedimento, para averiguar qual a melhor técnica de engenharia natural a empregar no local.

Uma técnica viável seria a grade viva, exemplificada nas figuras 64, 65 e 66, esta é aconselhável em taludes com declives entre 45-55° (Fernandes e Freitas, 2011). Os materiais usados nesta técnica seriam troncos de madeira, pregos, arame, estacas vivas de *Erica scoparia*, *Clethra arbórea*, *Myrica faya*. As vantagens de usar esta técnica consistem na estabilização imediata e contínua, pois ao início a estabilização é garantida pela estrutura de madeira e posteriormente é garantido pelo desenvolvimento radicular da vegetação, não necessita de uma grande escavação, e a vegetação como absorve a água para o seu desenvolvimento, executa uma função drenante, esta técnica é possível de efetuar-se em taludes com inclinação acentuada sem necessidade de nivelar. As desvantagens predem-se ao intensivo método de construção e à dificuldade de aplicação em zonas rochosas. Mas como no caso de estudo, o talude é um depósito de vertente, esta dificuldade poderá ser minimizada, mas como a Madeira é geologicamente diversificada, poderá haver esse risco.

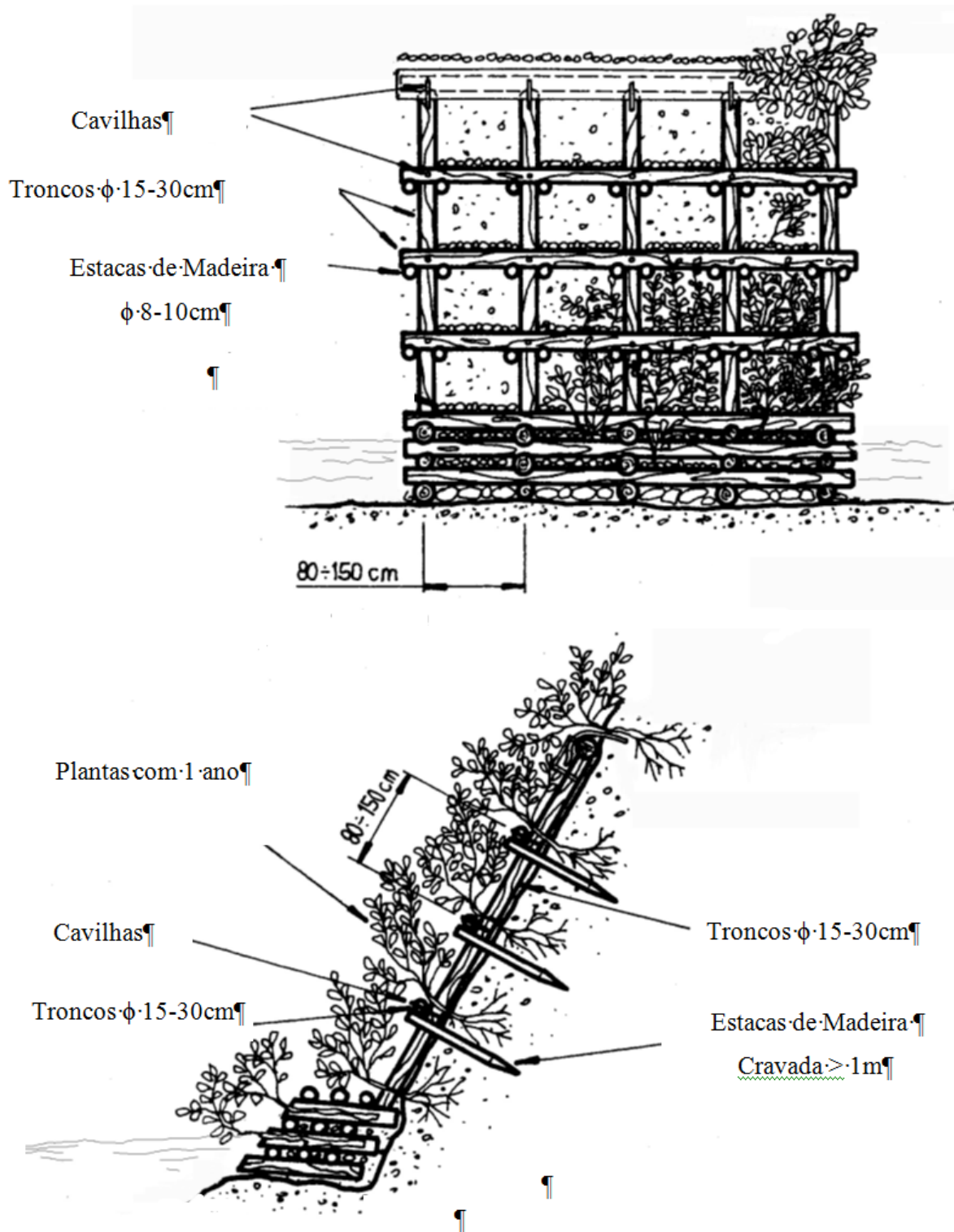


Figura 64- Vista frontal e lateral de uma grade viva (Fonte: Venti, et al., 2003)



Figura 65- Fases de construção da grade viva Fonte: (AIPIN, 2002)



Figura 66- Local onde é pretendido fazer a grade viva Fonte: Foto do autor

Outra técnica exequível para esta zona será o muro de suporte vivo, que pode se aplicado em taludes com inclinação de 40-50°. Geralmente estas construções têm tensões perpendiculares ou transversais à estrutura por isso, é extremamente, importante que a estrutura divida as tensões perpendiculares de modo mais homogêneo possível (figuras 67, 68 e 69). Assim, é aconselhável, uma organização alternada dos troncos transversais pelas diferentes camadas. Dado que o principal fator erosivo desta estrutura será a chuva não há necessidade de colocar filtros entre os troncos, sendo suficiente o ângulo de estabilidade do material e garantir que a

própria estrutura e o seu enchimento fiquem estáveis desde à sua construção até ao total desenvolvimento da vegetação. Os materiais usados nesta técnica são os troncos de madeira, pregos, estacas vivas com plantas similares a técnica anterior, e arame. As vantagens desta técnica é a consolidação robusta e imediata, os custos de manutenção são viáveis, existe uma flexibilidade estrutural e possuem de igual modo que a grade viva, uma função drenante. As desvantagens dizem respeito a maquinaria necessária para fazer a estrutura, e uma limitada altura da obra.

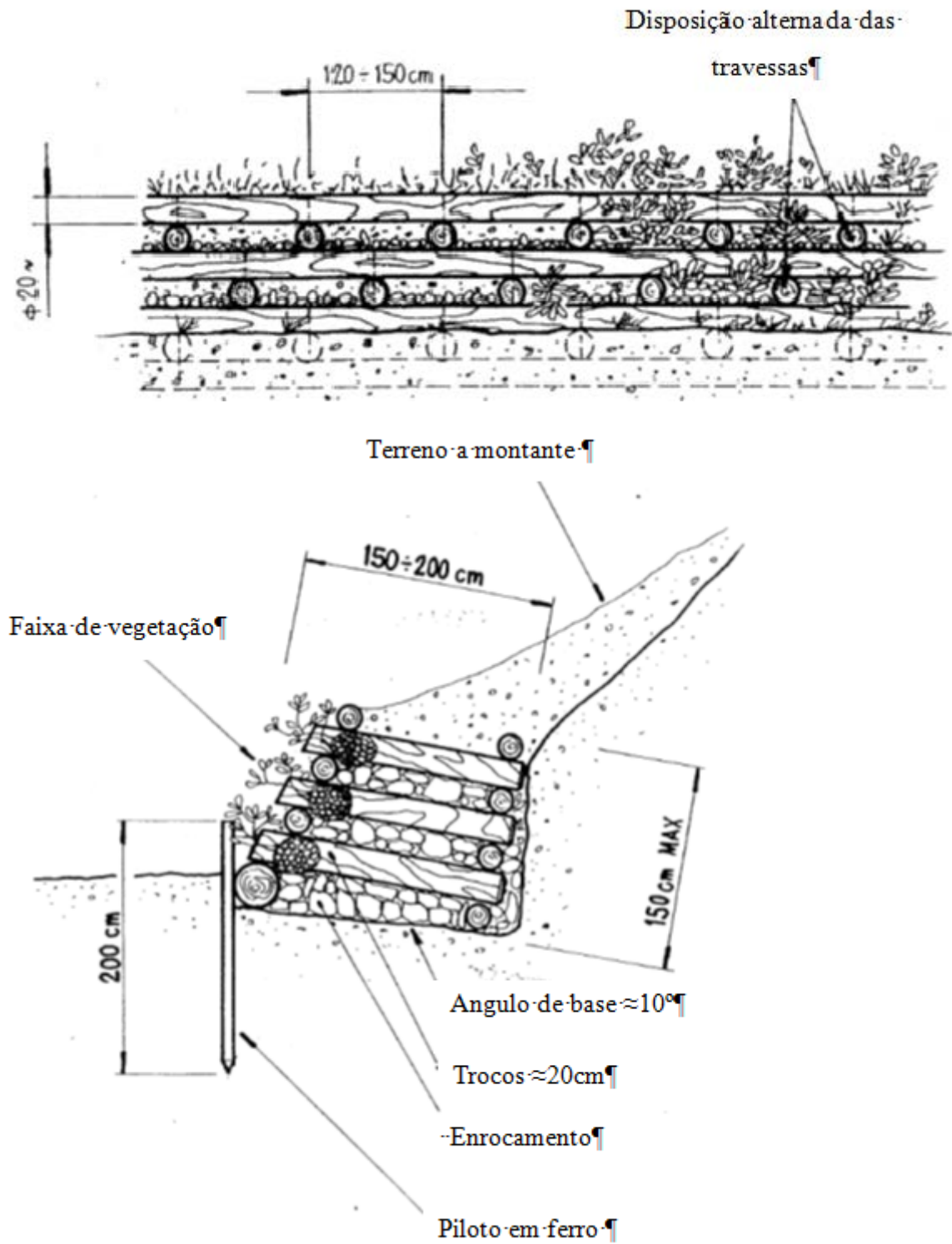


Figura 67- Vista frontal e lateral de um muro de suporte vivo Fonte: (Venti, et al., 2003)



Figura 68- Fases de construção de um muro de suporte vivo (AIPIN, 2002)



Figura 69- Local onde é pretendido efetuar o muro de suporte vivo Fonte: Foto do autor

6.4.1. DESCRIÇÃO DAS PLANTAS:

6.4.1.1. ERICA SCOPARIA

- Planta pequena, atinge no máximo 4 a 5 metros
- Tronco ronda os 20 centímetros de diâmetro
- As folhas são pequenas, resistentes e lineares
- Época de floração: Abril a Junho
- Criação: Nos terrenos ausentes de cal, com preferência nos solos frescos e com alguma humidade. Também se criam nas florestas com alguma luz.
- Desempenha um papel fundamental na fixação de nevoeiros, provocando a sua condensação e posterior infiltração e armazenamento da água no lenço freático. Tal como o seu nome sugere, Urze das Vassouras, é utilizada no fabrico de vassouras. Os troncos desta urze fornecem carvão.

6.4.1.2. CLETHRA ARBÓREA

- Pode atingir os 8 metros de altura
- Folhas verde pálido e com numerosas flores
- Folhas até 20 cm de comprimento, serradas, glabras na página superior e pubescentes na inferior
- Pecíolo curto, avermelhado, pubescente
- Época de floração em Agosto a Outubro
- Flores brancas aromáticas, com 1,2 cm de diâmetro, pendentes, dispostas em grande número em cachos simples ou ramosos, eretos

- Espécie endémica da Madeira, muito comum na Laurissilva do til. Foi introduzida nos Açores (São Miguel), onde é uma espécie altamente invasora.
- Utilidade: os seus ramos servem para bordões, cabos para ferramentas agrícolas e varas para pesca.

6.4.1.3. MYRICA FAYA

- Árvore pequena até 10 metros
- Crescimento rápido
- Troncos curtos
- O período de floração é de Março a Abril
- As flores são abundantes, flores pequenas, amarelo-esverdeadas
- A madeira é compacta e dura
- Espécie indígena da Madeira, Canárias, Açores e Sudoeste de Portugal Continental. Esta espécie foi introduzida no Hawaii, onde é altamente invasora.
- O género *Myrica* tem uma distribuição geográfica dispersa: além da insular a *M. faya*, tem 7 espécies norte-americanas (uma delas, *M. gale*, presente também na Europa e na Ásia), outras 7 na África do Sul, e ainda duas espécies na Nova Caledónia e no Japão. A maioria dessas espécies, ao contrário da *M. faya*, prefere habitats húmidos e mesmo pantanosos
- Utilidade: fabrico de pequenos utensílios domésticos, os caules são usados como estacas.

6.4.2. ASPETOS ESSENCIAIS PARA A ESCOLHA DA VEGETAÇÃO

É importante ter em consideração alguns aspetos essenciais quer na escolha da vegetação quer no conhecimento do meio envolvente a que vamos inserir a técnica da engenharia natural. Tais como:

- Géneros de plantas e comunidades existentes no local, a localização da obra, dimensão das plantas, densidade, abundância e clima.
- Caracterização das espécies a empregar na obra, quanto às variáveis, solo (nomeadamente o pH) humidade, luz e sua posição na sucessão natural.
- Fatores que influenciam o ecossistema local, tais como: fogos; pragas e doenças; cheias; poluentes; práticas agrícolas, etc.
- Avaliar se a zona de intervenção, será para uso pelo público, e se está sujeita a modificações significativas ao nível do ecossistema existente.

6.4.3. PROCEDIMENTO PARA O CULTIVO DA VEGETAÇÃO ESCOLHIDA

Para plantar arbustos ou árvores com dimensões entre os 4 e os 10 metros de altura, deve-se ter em conta alguns aspectos. Após feita a sementeira das plantas em vasos, deve-se proceder à sua repicagem para o local final de plantação. Antes de colocar o torrão na terra, é necessário fazer uma poda nas raízes para um melhor desenvolvimento da planta. A sementeira não é feita no destino final, dado a importância de controlar o meio envolvente e de também não estar sujeito a variáveis, tais como, clima, presença de animais que podem colocar em risco a germinação das plantas. Assim, quando as plantas atingem cerca de 20cm de altura. O transplante tem de ser feito durante a época normal de plantação, ou seja, Outono e Inverno. A repicagem é feita nesta altura devido às condições favoráveis do solo para acolher a planta e esta poder desenvolver o seu sistema radicular. A repicagem é feita da seguinte forma (figura 70):

- Abrir uma cova com o dobro da altura das raízes
- Colocar no fundo da cova uma camada de terra da superfície
- Colocar a planta na vertical
- Tapar com terra
- Comprimir a terra com os pés para fiar bem as raízes
- Criar uma caldeira à volta da planta de forma a acumular a água

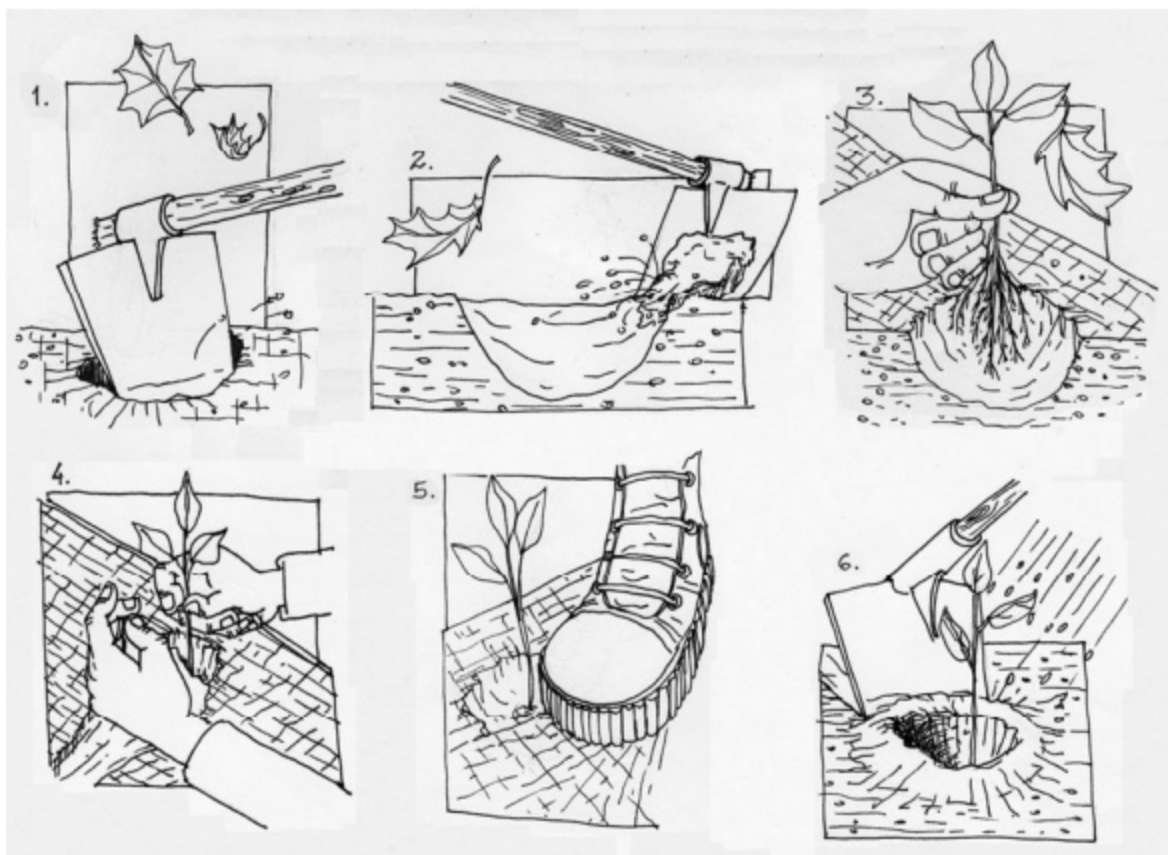


Figura 70- Repicagem da planta para local definitivo, Fonte: <http://criarbosques.files.wordpress.com/2010/09/1-da-semente-se-faz-a-arvore>

6.4.4. DISTÂNCIA DAS PLANTAS

A distância entre as plantas foi calculada de acordo com:

1. As dimensões da planta, as plantas de maior dimensão devem ser colocadas com maior espaçamento entre cada uma
2. O seu desenvolvimento, pois se for uma planta com um grande desenvolvimento nas ramificações e folhagem, precisará de maior espaço para desenvolver-se
3. Exposição solar, há plantas que requerem maior ou menor exposição solar

O solo deve reunir as condições necessárias para o desenvolvimento das plantas, ao optar pela distância entre as plantas, convém saber que maior proximidade entre as plantas, vão cansar o solo e tornam a manutenção mais dispendiosa, pois irá ser necessário efetuar mais desbastes

nas ramificações. As plantas são dispostas da seguinte forma, 3 Myrica Faya na zona superior do muro, 6 Clethra Arbórea e 6 Erica Scoparia dispostas em duas linhas, em cada linha as plantas são alternadas e em cada coluna. Na tabela 5 podemos ver as distâncias ótimas entre a vegetação selecionada para o estudo de caso, tal como algumas das características das plantas.

Plantas	Folhagem	Distância	Floração	Altura	Utilidade
Erica Scoparia	Pequenas e lineares	1x1	Abril a Junho	4m	Vassouras, carvão,
Clethra Arbórea	Longas e serradas	2x2	Agosto a Outubro	8m	Bordões, cabos para ferramentas agrícolas
Myrica Faya	Pontiagudas e pequenas	2,5x2,5	Março a Abril	10m	Pequenos utensílios domésticos, estacas

Tabela 5- Características e distância entre as plantas

6.5. DIMENSIONAMENTO E ESTABILIDADE DO MURO DE SUPORTE VIVO

O muro de suporte vivo sustenta-se através do seu peso, e é ajudado pela inclinação, que deve ser colocado sobre o talude. Quando colocada com inclinação sobre o talude de $(90^\circ - \alpha)$, a estabilidade deste aumenta. Quando é pretendido assegurar a estabilidade geral do talude e da estrutura, é preciso executar um conjunto de verificações de segurança, em relação ao escorregamento, ao derrubamento e por fim à rutura do terreno da fundação. O cálculo para a estabilidade do Muro de suporte vivo é feito através da determinação das dimensões e o peso da estrutura (P), bem como das forças laterais do solo que atuam sobre a estrutura (I). O dimensionamento da estrutura deverá ser efetuado, com ajuda de uma folha de cálculo, estimando valores, de acordo com a estabilidade pretendida.

Foi adotado para o cálculo, um muro com dimensões de 2 m de altura e 1,50 m de espessura para o talude em estudo (figura 71). Foi considerado um comprimento de 6 m, e um

espaçamento entre troncos transversais de aproximadamente 1,50 m correspondente a um terço dos troncos longitudinais (figura 70).

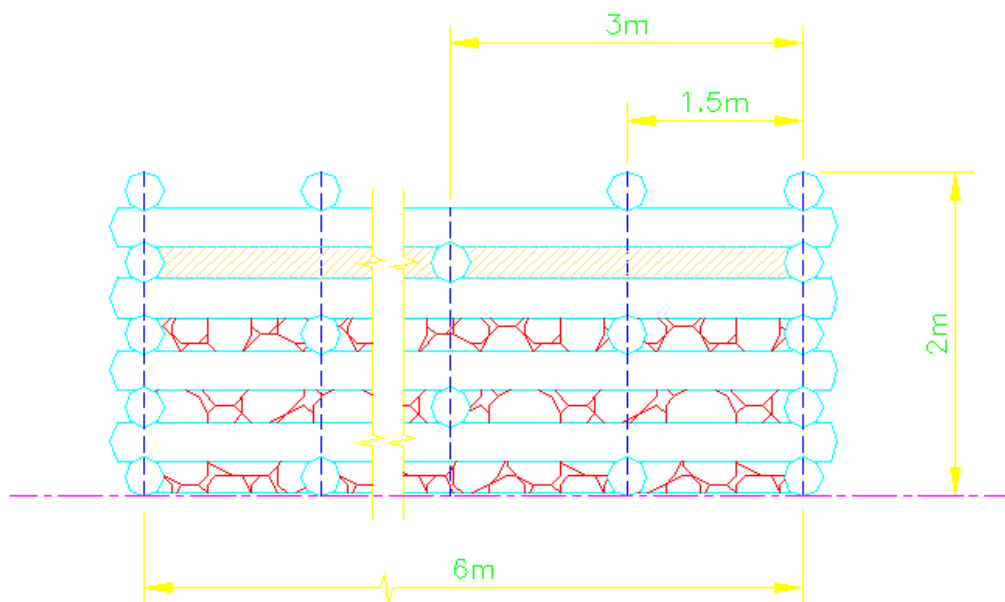


Figura 71- Vista Frontal do muro de suporte vivo

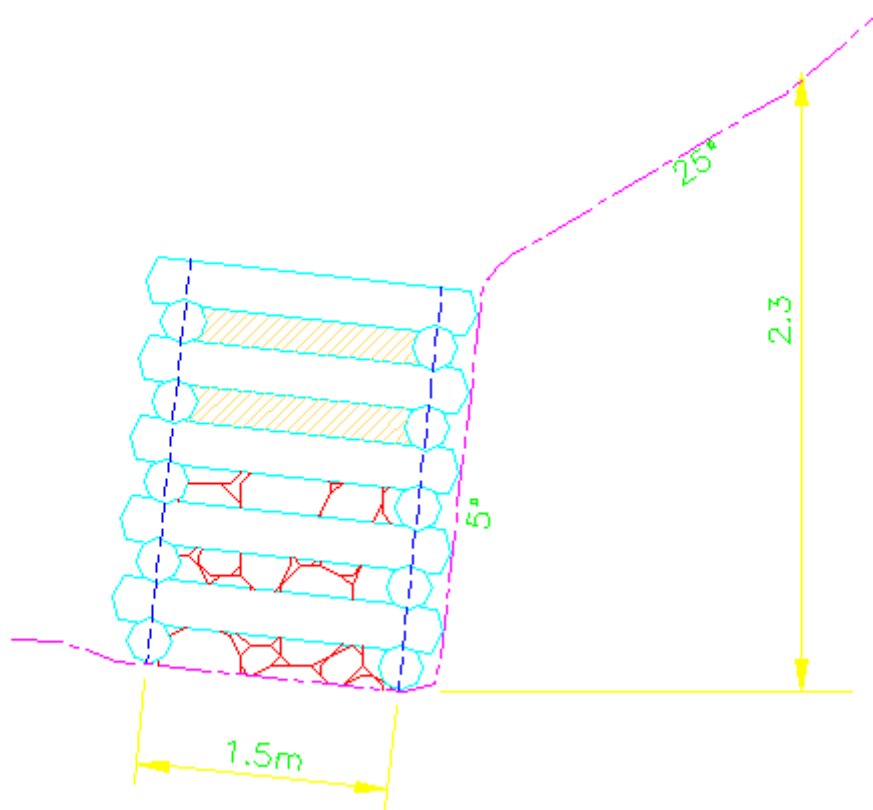


Figura 72- Vista da secção transversal do muro de suporte vivo

De modo a simplificar os cálculos, desprezou-se a inclinação do muro de 5°, pois esta inclinação também constitui um fator de estabilidade.

As características geotécnicas usadas para a área em estudo, constituída por depósito de vertente são segundo Valente, B. (2011)

Material	$\gamma(\text{KN/m}^3)$	C(KPa)	$\phi(^{\circ})$	E(MPa)	U	Kh
Depósito de vertente	19	10	30	30	0,32	8000

Tabela 6- Características do solo.

As Características da madeira utilizada na construção do muro são:

Parâmetros da estrutura	γ	d	B	H	n (longitudinais)	n (transversais)	l (longitudinais)	l (transversais)
	(kN/m ³)	(m)	(m)	(m)	(-)	(-)	(m)	(m)
Madeira (Eucalipto)	7.00	0.25	1.50	2.00	10.00	18.00	6.00	1.50

Tabela 7- características da madeira

$$V_{troncos} = \pi \times r^2 \times \sum(n \times l) = 4.42$$

$$P_{troncos} = \gamma \times v_{troncos} * = 5.15$$

$$V_{solos} = B \times H - V_{troncos} * = 2.64$$

$$P_{solo} = \gamma \times V_{muro} = 50.14$$

$$P_{total} = P_{Troncos} + P_{solo} = 55.29$$

Sendo que,

$V_{troncos} \rightarrow$ Volume dos troncos [m³];

$V_{troncos} * \rightarrow$ Volume dos troncos por metro linear [m³ /m] ;

$V_{solo} \rightarrow$ volume do solo [m³];

$r \rightarrow$ raio do tronco [m];

$n \rightarrow$ Número de troncos [-];

$I \rightarrow$ Comprimento do tronco [m];

$B \rightarrow$ Espessura do muro [m];

$H \rightarrow$ Altura do muro [m];

$Y \rightarrow$ Peso volúmico [kN /m³];

$P_{troncos} \rightarrow$ Peso dos troncos [kN/m];

$P_{solo} \rightarrow$ Peso do solo [kN /m];

Para o cálculo do muro de suporte vivo usamos a mesma metodologia do cálculo de um muro gravítico. Optou-se pela teoria de Rankin visto ser a teoria mais adequada a solos coesivos e superfícies de rutura plana. Este facto só é possível para solos não homogéneos como é neste caso, logo consideramos a superfície de deslizamento plana, que irá dar origem a um talude infinito. Assim, para o cálculo do impulso ativo, iremos ver que a coesão se trata de uma característica resistente, visto se opor ao movimento das partículas do solo. (Pereira,2005)

$$Ia = \frac{1}{2} \gamma \times H^2 \times Ka - c \times H^* \times \sqrt{Ka} = 10.15$$

$$Ka = \cos(\beta) \frac{\cos(\beta) - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos(\beta) + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} = 0.49$$

Verificação à segurança por:	Impulsos no solo	
	Ka	Ia
	(-)	(kN/m)
Por Fatores Globais	0.49	10.15
EC7-2010: AC1 -Comb.1	0.49	13.70
EC7-2010: AC1 -Comb.2	0.55	16.03

Tabela 8- Impulsos no solo

Sendo que:

$Ia -$ Impulso ativo [kN/m];

$c -$ Coesão do solo [kPa];

H^* – Altura do muro a tardoz [m];

Ka – Coeficiente de impulso ativo [–];

ϕ – Ângulo de atrito do solo [°];

β – Ângulo de inclinação com a horizontal [°];

As verificações de segurança em relação aos estados limites último (ELU) são três:

- Estado Limite Último por deslizamento ao longo da base;
- Estado Limite Último de rotura por derrubamento;
- Estado Limite Último de rotura do terreno de fundação;

Estes estados são calculados através das seguintes fórmulas (Valente, B., 2011).

Verificação ao Estado Limite Último por deslizamento ao longo da base

$$FSe = \frac{\sum F_{est.}}{\sum F_{der.}} = 3.15$$

$$F_{est.} = P_{total} \times \tan \phi = 31.92$$

$$F_{der.} = Ia = 10.15$$

Verificação à segurança por:	ELU de Deslizamento	
	Fd,est (kN/m)	Fd,dst (kN/m)
Por Fatores Globais	31.92	10.15
EC7-2010: AC1 -Comb.1	31.92	13.70
EC7-2010: AC1 -Comb.2	25.54	16.03

Tabela 9- ELU de deslizamento

Sendo que:

$F_{est.}$ – Força estabilizadora [kN/m] ;

$F_{der.}$ – Força derrubadora [kN /m];

Verificação Estado Limite Último de rutura por derrubamento.

$$FS_d = \frac{\sum M_{est.}}{\sum M_{der.}} = 5.11$$

$$M_{est.} = P_{total} \times B = 41.47$$

$$M_{der.} = I_a \times \left(\frac{1}{3}H^*\right) = 8.12$$

Verificação à segurança por:	ELU de Derrubamento	
	Md,est	Md,dst
	(kN.m)	(kN.m)
Por Fatores Globais	41.47	8.12
EC7-2010: AC1 -Comb.1	41.47	10.96
EC7-2010: AC1 -Comb.2	41.47	12.82

Tabela 10- ELU de derrubamento

Sendo que:

Mest. – Momento estabilizador [kNm];

Mder. – Momento derrubador [kNm];

*H** – Altura do muro a tardoz [m];

B – Espessura do muro [m];

Verificação do Estado Limite Último de rutura do terreno de fundação.

Nesta verificação deve-se garantir que toda a base do muro esteja carregada, para tal, a resultante das forças terá de se encontrar no terço central, para isso deve-se garantir que $e \leq B/6$. (Fernandes, 1995).

$$e_x = \frac{Md}{Vsd} = 0.15 \leq \frac{B}{6} = 0,25 \quad \text{OK}$$

$$T_{max.} = \frac{Vsd}{B} + \frac{6 \times Vsd \times e_x}{B^2} = 58.51$$

$$T_{min.} = \frac{Vsd}{B} - \frac{6 \times Vsd \times e_x}{B^2} = 15.21$$

Verificação à segurança por:	ELU por rutura da Fundação				
	Md	Vsd	ex	Tmax.	Tmin.
	(kN.m)	(kN)	(m)	(kN/m ²)	(kN/m ²)
Por Factores Globais	8.12	55.29	0.15	58.51	15.21
EC7-2010: AC1 -Comb.1	10.96	55.29	0.20	66.09	7.63
EC7-2010: AC1 -Comb.2	12.82	55.29	0.23	71.05	2.67

Tabela 11- ELU por rutura de Fundação

Sendo que;

e_x – Excentricidade [m];

Md – Momento derrubadora [kNm];

Vsd – Esforço transversal (Peso do Muro = P_{total}) [kNm];

$T_{max.}$ – Tensão máxima na base do muro [kN /m²];

$T_{min.}$ – Tensão mínima na base do muro [kN /m²];

Verificação à segurança por:	FS ao ELU de Deslizamento	FS ao ELU de Derrubamento	Verificação (globais ≥ 1,5) (EC ≥ 1)
Por Factores Globais	3.15	5.11	OK
EC7-2010: AC1 -Comb.1	2.33	3.78	OK
EC7-2010: AC1 -Comb.2	1.59	3.23	OK

Tabela 12- Verificações de segurança por fatores globais e segundo EC 7

6.5.1. MANUTENÇÃO

A manutenção é indubitavelmente um dos requisitos mais relevantes das intervenções de Engenharia Natural. Apesar, de custar menos exigir prazos e por serem empregues em circunstâncias rigorosas de uso e de risco, requerem uma cuidada manutenção quer para garantir a sua eficácia quer para garantir a plena instalação da vegetação (figura 72).

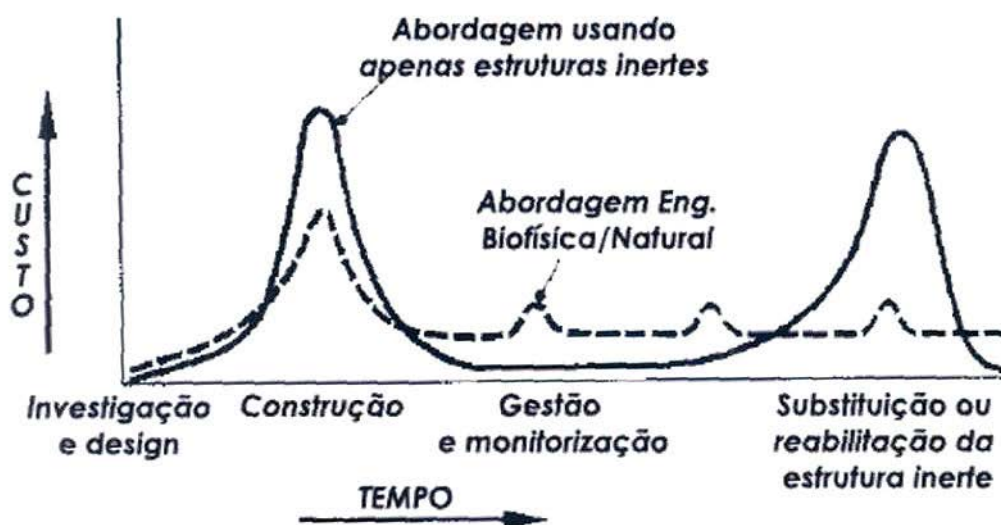


Figura 73- "Custos comparativos médios de construção e manutenção de obras vivas de Engenharia Natural e construções inertes (pode acontecer, em situações particulares, que os custos de construção das obras de EN sejam superiores às soluções só com materiais inertes)" Fonte: Fernandes, João Paulo, Aldo, Renato Mendes de Freitas, Universidade de Évora (ICAAM), APENA), Introdução a Engenharia Natural

Ao nível da manutenção podemos distinguir diferentes tipos e objetos:

- Manutenção de curto ou de longo prazo
- Manutenção das plantas e sistemas vivos ou manutenção, reparação e substituição de sistemas inertes complementares
- Manutenção de estabelecimento – garantia do estabelecimento das espécies definidas no projeto com as densidades e as características estabelecidas
- Manutenção de desenvolvimento – condução da vegetação no sentido do desenvolvimento das formações e comunidades-alvo
- Manutenção de acompanhamento – gestão da vegetação e das formações vegetais de modo a garantir a manutenção das suas funções de estabilização e proteção (por ex. elasticidade e comportamento hidráulico).

7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A engenharia natural pretende solucionar problemas de estabilização e controlo de taludes e encostas, mas dependem de uma série de fatores como o clima, o solo, a geologia, a vegetação local e hidrografia. Estes fatores que condicionam devem ser ponderados. A vegetação pode ser um material viável e uma ótima ferramenta de construção para estabilização, mas é necessário ter o conhecimento das espécies vegetais a empregar para ser alcançado o sucesso nas intervenções.

É secular o uso de estratégias para a proteção do solo contra agentes erosivos, embora é na engenharia tradicional que normalmente são encontradas essas soluções. A partir do século XX, a engenharia natural, começa a ser vista como também uma solução viável para responder a esses problemas. Em Portugal ainda muito pouco se faz, nesta área, daí a dificuldade encontrar bibliografia em português que auxiliasse neste trabalho. Após pesquisas tomou-se conhecimento que geralmente as técnicas da engenharia natural envolvem menos custos e não acarretam grande manutenção, além de ser ecologicamente melhor. A vegetação revelou ser uma boa solução, pois além, de proteger a superfície contra a erosão através do seu sistema radicular, prevenindo movimentos de massa, é também responsável por funções como drenagem, em que todas as componentes da vegetação têm uma função distinta e única para diferentes situações que não só estabilização de taludes. Porém, as técnicas de engenharia natural, não apresentam solução para todos os problemas de estabilização de taludes e encostas, podem ser as mais indicadas em alguns casos, mas por vezes, é necessário a combinação destas técnicas com as de engenharia tradicional, pois estas últimas contribuem com um maior reforço na estabilização.

Na ilha da Madeira, as técnicas de engenharia natural podem ser uma solução, devido á fatores económicos, pois como já foi referido, são soluções com custos mais apetecíveis, além de que, a Madeira tem um clima ameno e facilita o desenvolvimento de vegetação, tal como a abundância de água ajuda em todos estes aspetos de desenvolvimento das plantas. Existem diferentes zonas, onde subsistem distintos tipos de vegetação, pois o clima e orografia da Madeira o permitem. É devido a estas características que a ilha da Madeira apresenta condições para que estas técnicas possam ser aplicadas, pois além destes fatores, a ilha da Madeira depende da aparência, dado ser uma ilha turística, e possuir os seus campos verdejantes, assim, o uso de técnicas ecológicas, traduzem uma boa aposta.

Era um objetivo ao início da execução desta dissertação apresentar o estudo de caso no presente trabalho, mas devido a alguns imprevistos, não foi possível estar exposto nesta dissertação. É demonstrado o local onde vamos fazer o trabalho prático da dissertação, assim são apresentados os aspetos teóricos necessários para a sua realização e ficam por apresentar todas as componentes práticas para execução da técnica em engenharia natural como a sua posterior avaliação de acordo com os parâmetros desenvolvidos ao longo desta dissertação.

REFERÊNCIAS

Bibliografia citada:

Carvalho, P. A. S.; Orlandi, C; Camargo, J C C; Okawa, M; Prieto, V; (1991) – Manual de geotecnia: taludes de rodovias; orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas. São Paulo: IPT, 388p.

Clark, J., & Hellin, J. (1996). Bio-engineering for Effective Road Maintenance in the Caribbean.: Forest Research Programme (FRP); Overseas Development Administration (ODA); Natural Resources Institute (NRI) - University of Greenwich.

Diário da República, 1ª série, Nº160 – 20 de Agosto de 2008 (PRAM)

DURLO, M. A. SUTILI, F. J. (2002) Manejo biotécnico de cursos de água: I – Intemperismo e erosão, II – Escavação e transporte de materiais. UFSM/CCR, Caderno didático 10. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

Farinha, J. P. (2005) – Tabelas Técnicas, Edições Técnicas E.T.L.Lda, Lisboa, Portugal

Fernandes, João Paulo, Aldo, Renato Mendes de Freitas, introdução a engenharia natural, Universidade de Évora (ICAAM), APENA),

FERNANDES, M. M. (1995), Mecânica de Solos e Fundações II: Estruturas de Suporte Rígidas – Elementos Teóricos, II Volume, Porto, FEUP.

Ferreira, Cecília Figueira, (2007) Tese de Mestrado. Formação de Eolianitos Calcoareníticos, Geologia, Génese, e Importação, Cultural e Económica nas Ilhas do Porto Santo e da Madeira, Universidade da Madeira, Funchal.

Florineth, F., Molon, M. (2004) – Dispensa di Ingegneria Naturalística 2004/2005, Universidade de Bodenkultur, Viena, Áustria.

FLORINETH, F.; GERSTGRASER, C. (2000) Ingenieurbiologie. Wien: Universität für Bodenkultur, Institut für Landschaftsplanung und Ingenieurbiologie.

Ghmire, S. K., & Karki, K. K. (2004). Mitigation of soil erosion hazards through bio-engineering: a case study of Mid-Himalaya, Nepal. Paper presented at the International Conference Eco-Engineering: The use of vegetation to improve slope stability.

Golfari, L.; Caser, R. L.:(1951) Zoneamento ecológico da região nordeste para experimentação tropical. Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado. Belo Horizonte: PNUD/FAO/IBDF/BRA-45, 1977. 116 p. (Série Técnica, 10).

Gray, D. H., and A. T. Leiser., (1989). Biotechnical slope protection and erosion control. Van Nostrand Reinhold, New York.

Gray, D. H., and R. B. Sotir, (1996), Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization. John Wiley & Sons, New York.

Harden CP. (2001). Soil erosion and sustainable mountain development: experiments, observations and recommendations from the Ecuadorian Andes. Mountain Research and Development 21: 77–83

Highland, L.M., and Bobrowsky, Peter, (2008), The landslide handbook – A guide to understanding landslides: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129p.

Howell, J. H. (2001). Application of bio-engineering in slope stabilisation. Experience from Nepal. In S. R. C. L. Tianchi, B. N. Upreti (Ed.), Landslide Hazard Mitigation in the References Hindu Kush-Himalayas (pp. 147-161). Kathmandu: International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD).

Inbar M, Llerena CA. (2000). Erosion processes in high mountain agricultural terraces in Peru. Mountain Research and Development 20: 72–79.

Kruedener, A. (1951). Ingenieurbiologie. Verl. E. Reinhardt, Muenchen-Basel.

Lammeranner, W., Rauch, H. P., & Laaha, G. (2005). Implementation and monitoring of soil bioengineering measures at a landslide in the Middle Mountains of Nepal. Plant and Soil,, 159-170.

Lasanta T, Arnaez J, Oserin M, Ortigosa LM. (2001). Marginal lands and erosion in terraced fields in the Mediterranean mountains: A case study in the Camero Viejo (Northwestern Iberian system, Spain). *Mountain Research and Development* 21: 69–76.

Lewis,L,(2000), *Soil Bioengineering An Alternative for Roadside, Management*, San Dimas Technology & Development Center San Dimas, California

LREC (2009). Carta geológica simplificada da Ilha da Madeira à escala 1:80.000. Coordenação de M. Luísa Ribeiro. Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Direcção Regional do Comércio, Industria e Energia. Projecto co-financiado pela Região Autónoma da Madeira.

Mesquita, S., Capelo, J. & Sousa, J. (2004) Bioclimatologia da Ilha da Madeira: abordagem numérica. In Capelo, J., *A paisagem vegetal da Ilha da Madeira*. Quercetea, 6, 47-60.

Morgan RPC, Rickson RJ. 1995. *Slope Stabilization and Erosion Control. A Bioengineering Approach*. E & FN Spon: London.

Pereira, C. S. (2005), *Fundações – Elementos Teóricos*, Lisboa, IST.

Petrone, A., & Preti, F. (2008). Suitability of soil bioengineering techniques in Central America: a case study in Nicaragua. *Hydrology and Earth System Sciences*, 1241-1248.

Petrone, A., & Preti, F. (2009). Soil bioengineering for risk mitigation and environmental restoration in a humid tropical area. *Hydrology and Earth System Sciences*, 239-250.

Prada, S., Gaspar, M.A., Silva, M.O., Cruz, J.V., Portela, M.M., Hora, G.R. (2003) – Recursos Hídricos da Ilha da Madeira. *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*, Tomo 90: 125-142.

Puigdefabregas J. 1998. Ecological impacts of global change on drylands and their implications for desertification. *Land Degradation & Development*: 393–406.

Ribeiro O. (1985) *A ilha da Madeira até meados do século XX*. Instituto da Cultura e Língua Portuguesa. Lisboa 138pp.

Schiechl, H.(1980) Bioengineering for Land Reclamation and Conservation. Edmonton: University of Alberta Press.

Stangl, R., Hochbichler, E., Bellos, P. N., & Florineth, F. (2009). Allometric estimation of the above-ground biomass components of *Alnus incana* (L.) Moench used for landslide stabilisation at Bad Goisern (Austria). *Plant and Soil*, 115-129.

Valente, B. (2011), *Contenções. Apoio a Unidade Curricular de Fundações*. Universidade da Madeira. Madeira.

Varnes, D.J., (1978) – Slope movement types and processes. In: Schuster, R.L., Krizek, R.S. (Eds.), *Landslides: Analysis and Control*. US Nat. Acad. Sci., Transp. Res. Board Sp. Rep. 176

Bibliografia Geral:

ANIMOTO, P.Y. *Erosion and sediment control handbook*. Sacramento, State of California: Department of Conservation, 1978.

BEGEMANN, W. & SCHIECHTL, H. M. *Ingenieurbiologie – Handbuch zum ökologischen Wasser und Erdbau*. 2. neubearbeitete Auflage. Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GMBH, 1994.

Campbell, I., (1993) – “Engineering properties of kimmerdgian clays”. Unpublished PhD Thesis, Shesterfield University (in Jeremias, 2000). Associazione Italiana per Ingegneria Naturalistica (2002) – *Regolamento per l’attuazione degli interventi di Ingegneria Naturalistica nel Territorio della Regione Campania*”, AIPIN, Itália.

Coelho, A. G. (1979) – *Engineering geological evaluation of slope stability for urbanplanning and construction*. Bulletin of the Internacional Association of Engineering Geology, pp. 75-78.

Cornelini, P. & Menegazzi, G. (2001), *Tecniche di Ingegneria Naturalistica nel Parco Nazionale del Vesuvio*, in Bifulco C. (a cura di), *Interventi di Ingegneria Naturalistica nel Parco Nazionale del Vesuvio*, Ente Parco Nazionale del Vesuvio, S.Sebastiano al Vesuvio, Nápoles, Itália, pp. 87-141.

FLORINETH, F. & GERSTGRASER, C. (2000) *Ingenieurbiologie*. Wien: Institut für Landschaftsplanung und Ingenieurbiologie. Universität für Bodenkultur.

Martinho, P. R. M., (2005) – *Contribuição para o estudo de técnicas de engenharia biofísica: Grade de Vegetação e Grade de Vegetação Vesúvio*. Trabalho de Fim de Curso, p. 95.

Schiechtl H. M. (1991) – *Bioingegneria Forestale Biotecnica Naturalistica*, Castaldi, Feltre, Itália.

Schiechtl H. M. (1992), - *I Salici nell’uso pratico*, Edizioni Arca, Itália. Schiechtl H. M. & Stern, R. (1996) – *Ground Bioengineering Techniques for Slope Protection and Erosion Control*. Blackwell Science Ltd, Reino Unido.

Steward, H. E. & Cripps, J. C., (1983) – *Some engineering implications of chemical weathering of pyritic shale*. Quarterly Journal of Engineering Geology, **pp.** 281-289.

Russel, D. J., (1982) – *Controls on shale durability: The response of two ordovician shales in the slake durability test*. Canadian Geotechnical Journal, **pp.**, 1-13.

Sutili, Fabrício Jaques (2004), *Manejo biotécnico do arroio Guarda-mor: princípios, processos e práticas* / Fabrício Jaques Sutili; orientador Miguel Antônio Durlo. – Santa Maria, 2004. pp. 114

WOLLE, C. M. (1986), *Poluição e Escorregamentos - Causas e Efeitos na Serra do Mar*. In: 8o COBRAMSEF, Porto Alegre. Anais, v. 7. Porto Alegre: ABMS, p.178-190.

Bibliografia online

<http://dre.pt/pdf1sdip/2008/08/16000/0576905837.PDF>, consultado em 10 de Abril de 2012

<http://engenhariaverde.blogspot.com/>, consultado em 5 de maio de 2012

<http://pt.scribd.com/doc/23635490/PRAM-RelatorioTecnico>, consultado em 9 de junho de 2012

<http://www.aeip.org.es/>, consultado em 4 de março de 2012

<http://www.aipin.it/index.php?id=17>, consultado em 12 de abril de 2012

http://www.der.sp.gov.br/website/Documentos/manuais_talude.aspx, consultado em 2 de fevereiro de 2012

<http://www.fs.fed.us/publications/soil-bio-guide/>, consultado em 3 de fevereiro de 2012

http://www.provincia.terni.it/urbanistica/ptcp/Manu_Ing.htm, consultado em 10 de abril de 2012

http://www.regione.piemonte.it/ambiente/tutela_amb/documentazione.htm, consultado em 8 de junho de 2012

<http://www.regione.piemonte.it/montagna/index.htm>, consultado em 5 de abril de 2012

http://www.wallmuro.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=25&Itemid=64, consultado em 5 de maio de 2012

<http://dre.pt/pdf1sdip/2008/08/16000/0576905837.PDF>, consultado em 12 de abril de 2012

<http://pt.scribd.com/doc/23635490/PRAM-RelatorioTecnico>, consultado em 2 de fevereiro de 2012