

# **INTRODUÇÃO À ENGENHARIA NATURAL EM SISTEMAS TERRESTRES**

(Incluindo material dos manuais elaborados no quadro do projecto comunitário ECOMED)

**João Paulo Tavares de Almeida Fernandes**

(Universidade de Évora)

2022

ISBN: 978-989-33-3970-1

<b>1 ENGENHARIA NATURAL: Uma engenharia para construir sustentabilidade ....</b>	<b>4</b>
1.1 Intervir conservando .....	6
1.2 Adaptação à micro realidade .....	7
1.3 A Engenharia Natural – uma engenharia dos sistemas vivos.....	8
1.4 As plantas e a vegetação como material de construção.....	15
1.5 Selecção das espécies vegetais a utilizar.....	20
1.6 Principais tipos de técnicas de Engenharia Natural .....	22
<b>2 INSTABILIDADE DE ENCOSTAS E TALUDES .....</b>	<b>27</b>
2.1 Movimentos de massa .....	27
2.1.1 Noções básicas de Mecânica dos Solos.....	28
2.1.2 Estabilidade de taludes e factor de segurança.....	28
2.1.3 Forças actuantes potenciadoras de um deslizamento.....	32
2.1.5 Eventos desencadeadores de movimentos de massa.....	38
2.1.6 Avaliar e mitigar os riscos de movimentos de massas .....	42
2.2.1 Principais tipos de aluimentos .....	44
<b>3 EROÇÃO DO SOLO .....</b>	<b>48</b>
3.1 Causas da erosão do solo .....	49
3.2 Fatores que determinam o risco de erosão hídrica do solo.....	50
<b>4 AVALIAÇÃO DO RISCO DE INSTABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS E TALUDES.....</b>	<b>56</b>
4.1 Modelação da estabilidade de taludes .....	56
4.1.1 Movimentos de massa, deslizamentos de terras.....	56
<b>5 INTERVENÇÕES PARA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES.....</b>	<b>58</b>
5.1 Efeitos de consolidação da vegetação nas encostas.....	58
5.2 Princípios básicos de Engenharia Natural em sistemas terrestres.....	62
5.2.1 Ajustar o sistema de Engenharia Natural em sistemas terrestres à área .....	62
5.2.2 Acções básicas .....	63
5.3 Considerações de design .....	64
5.4 Drenagem .....	65
5.4.1 A hierarquia da drenagem.....	65
5.4.2 Factores que afectam os fluxos de águas pluviais.....	66
5.4.3 Problemas das encostas íngremes .....	67

<b>6 PROPRIEDADES BIOTÉCNICAS DAS PLANTAS- acções de vegetação para estabilização de taludes (potencialidades e limites).....</b>	<b>70</b>
6.1 Ações gerais.....	70
6.2 Papel hidrológico das raízes .....	70
6.3 Papel mecânico das raízes.....	71
6.4 Reforço dos taludes pelas raízes .....	73
6.5 Fatores espaciais-temporais das raízes .....	73
<b>7 Deslizamentos de terras.....</b>	<b>75</b>
7.1 Valor, benefícios e limitações da vegetação na redução da erosão .....	75
7.2 O valor de vegetação na estabilização de taludes .....	76
7.3 Limitações da Vegetação.....	76
7.4 Recomendações .....	80
<b>8 TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL EM SISTEMAS TERRESTRES.....</b>	<b>82</b>
8.1 Técnicas de proteção do solo.....	82
8.1.1 Sementeira .....	82
8.1.4 Mantas orgânicas .....	85
8.2 Uso de material lenhoso.....	86
8.2.1 Estacas vivas .....	86
8.2.2 Plantação de arbustos .....	88
8.2.3 Entrançado vivo.....	89
8.2.4 Faixas de vegetação.....	90
8.2.5 Fascinas vivas.....	91
8.2.6 Paliçada viva .....	92
8.3 Técnicas de construção combinadas: técnicas de consolidação.....	93
8.3.1 Grade viva.....	93
8.3.2 Muro de suporte vivo.....	94
8.3.3 Gabião vivo.....	95
8.3.4 Geogrelhas vegetadas .....	96
<b>9 Modelação das intervenções em Taludes .....</b>	<b>102</b>
<b>REFERÊNCIAS DE LEITURA .....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXO - As Principais plantas que dispomos em Portugal para a Engenharia Natural (Carlos Souto Cruz).....</b>	<b>119</b>

A Engenharia Natural é uma disciplina que combina a tecnologia com a biologia, usando plantas e comunidades de plantas para ajudar a proteger os usos do solo e infraestruturas e contribuiu para o desenvolvimento da paisagem, em particular, no domínio da estabilidade de taludes e controle de erosão.

Normalmente, as plantas e partes de plantas são utilizadas como materiais de construção vivo, de tal forma que, através do seu desenvolvimento em combinação com o solo e rocha, asseguram uma contribuição significativa para a proteção, a longo prazo, contra todas as formas de erosão. Na fase inicial, muitas vezes têm de ser combinadas com materiais inertes de construção, o que pode, em alguns casos, garantir mais ou menos temporariamente, a maioria das funções de suporte.

## **1 ENGENHARIA NATURAL: Uma engenharia para construir sustentabilidade**

Sob a designação de Engenharia Natural compreende-se um conjunto de abordagens técnicas à gestão dos sistemas ecológicos que vão desde as disciplinas de caracterização e avaliação dos sistemas biofísicos e de uso (englobando domínios como a cartografia temática, a fitossociologia, a geobotânica, a modelação ecológica, a geomorfologia e a cartografia geológica e geotécnica, a ecologia da paisagem, o ordenamento do território, a sociologia e a economia, quando aplicados ao conhecimento e gestão dos sistemas naturais e dos seus sistemas de uso) até e mais especificamente, às diferentes disciplinas de construção e gestão dos sistemas ecológicos (englobando áreas como a dos sistemas construtivos utilizando sistemas e materiais vivos e técnicas e materiais complementares, as técnicas de gestão de habitats, de silvicultura e engenharia florestal até aos sistemas de prevenção de riscos naturais como a erosão, o fogo ou as movimentações de massas de terra (aluímentos, escorregamentos, etc.)).

Todos estes domínios constituem áreas técnicas autónomas com um carácter e domínios de actuação bem definidos e concretizados. Contudo, cada vez mais se verifica a utilidade de abordagens técnicas interdisciplinares que agreguem técnicas e metodologias de diferente natureza cuja aplicação complementar permite não só potenciar sinergias e gerar importantes economias (caso das técnicas combinadas de engenharia natural onde a combinação de materiais inertes com plantas permite instalar sistemas crescentemente mais eficientes, de menor intrusão construtiva e com menores custos de manutenção do que os sistemas meramente inertes ou meramente baseados na utilização de plantações e de adequação às funções e condições naturais de estabilidade dos materiais envolvidos), como desenvolver sistemas de uso com um carácter muito mais próximo do natural (logo com valores biológicos muito superiores) do que aqueles conseguidos pela aplicação de técnicas não combinadas.

Ao mesmo tempo, as pressões exercidas sobre o território na sequência das profundas modificações dos sistemas de uso e das tipologias de povoamento ocorridas nos últimos decénios determinam que vastas áreas do território passaram de sistemas de gestão relativamente intensivos para um estado de abandono generalizado que determina uma ruptura dos sistemas de uso e processos locais, claramente ilustrada na generalização dos grandes fogos, no aumento das áreas sujeitas a processos de desertificação física por processos erosivos subsequentes a processos de abandono dos usos tradicionais, e na perturbação generalizada dos ciclos hídricos, de materiais e sedimentos determinando uma crescente incidência de factores de risco ambiental e de ruptura dos recursos disponíveis, processos acentuados pelo quadro de alteração climática global que atravessamos.

Todas estas situações determinam a necessidade de abordagens multidisciplinares à gestão do território e dos ecossistemas, abordagens que têm de assumir um carácter técnico de crescente solidez e interdisciplinaridade.

É pois, neste quadro que se pode, e deve, falar de Engenharia Natural, como um espaço conceptual de congregação de conhecimentos, técnicas e metodologias de caracterização e gestão do território e dos ecossistemas.

A sua prática é milenar fundando-se nos esforços que as comunidades humanas foram desenvolvendo de encontrar técnicas e formas de gestão dos sistemas naturais de modo a compatibilizá-los com as suas necessidades de uso. Desenvolveram-se assim técnicas de gestão do coberto vegetal, dos sistemas hidrológicos e sistemas construtivos que procuraram, com os materiais e a energia disponíveis, garantir a segurança das actividades humanas no quadro dos processos naturais locais.

Adicionalmente, a vegetação como material de construção, associada a sistemas construtivos usando materiais inertes foi usada em circunstâncias muito diversas desde a guerra (vejam-se as inúmeras referências existentes na “Guerra das Gálias” de Júlio César) até à segurança e reconstrução fluvial, reconstrução de zonas erodidas ou recuperação de áreas degradadas.

A noção de Engenharia Natural (ou pelo menos de Engenharia Biológica) enquanto disciplina técnica existe desde pelo menos os finais dos anos 30 quando A. v. Krudner propôs o termo "Ingenieurbiologie" para denominar o conjunto de técnicas e métodos de engenharia, baseados não apenas na consideração dos aspectos técnicos mas também na observância das regras biológicas e na utilização de funções e materiais vivos.

A vasta experiência que, entretanto, foi adquirida no desenvolvimento e aplicação destas técnicas e métodos de construção, permitiu não só consolidar o âmbito e a capacidade de intervenção construtiva da Engenharia Biológica (nomeadamente através de uma constante inovação e experimentação tecnológica), como conduziu mesmo a um alargamento do seu âmbito original de intervenção.

Assim, pode-se entender por Engenharia Natural “a aprendizagem e conhecimento das possibilidades de utilização das plantas superiores na construção e do seu comportamento quando associadas a estruturas construtivas”. Esta definição encerra um âmbito vasto para a utilização da Engenharia Biológica nomeadamente:

- Avaliação do valor indicador de espécies particulares, para a caracterização biotecnológica de um local.
- Aplicação dos materiais e sistemas construtivos mais adequados a cada local.
- Uso de desenvolvimentos técnicos e de inovações em maquinaria, na aplicação construtiva da vegetação.
- Adequação das medidas de cuidado e manutenção aos objectivos construtivos.
- Avaliação científica dos resultados alcançados com as tecnologias empregues.

Mas a perspectiva da Engenharia Natural procura ser ainda mais vasta do que o atrás referido para a Engenharia Biológica. Com efeito, da experiência da aplicação desta, cresceu, com cada vez maior intensidade, a consciência de que, mais do que a simples utilização da vegetação como elemento e sistema construtivo, havia que avançar para uma engenharia global dos sistemas ecológicos. Esta

engenharia, tomada no sentido de conceber e realizar com arte, com engenho, tem como objecto de intervenção o espaço, considerado como um todo sistémico e tem como perspectiva de trabalho a consciência e a capacidade de percepção da complexidade funcional deste. Neste âmbito, pretende-se articular de uma forma construtiva os usos com as aptidões naturais do espaço para os sustentar.

### **1.1 Intervir conservando**

A Engenharia Natural pretende, pois, constituir mais um instrumento de intervenção do Homem na Natureza. Contudo, diferencia-se de certo modo das outras formas mais clássicas de engenharia ao colocar, como princípio condutor fundamental dessa sua intervenção, a imposição de respeito pela dinâmica funcional e sistémica da Natureza.

Ela procura, portanto, potenciar os usos humanos do território com um recurso mínimo à alteração deste, garantindo a inexistência de perdas na sua funcionalidade e valor e procurando incorporar novos valores e funções. Ao intervir nele, parte sempre da exigência da minimização do grau de artificialidade a introduzir (o que não impede, claro, que reconheça a necessidade de recorrer a sistemas artificiais mais "duros" sempre que as exigências de uso e as condições naturais o impuserem).

A Engenharia Natural não recusa, deste modo, à partida, qualquer sistema ou tecnologia, não elabora escalas de importância entre a Natureza e o Homem pelo contrário pretende contribuir de forma activa para a humanização do espaço e para a melhoria da Qualidade de Vida dos Homens, salvaguardando contudo, a preservação da funcionalidade natural, ou seja, da naturalidade do espaço, procurando articular-se com as restantes disciplinas (da Arquitetura à Engenharia Civil e ao Urbanismo), potencializando sempre através das soluções encontradas, a natureza do espaço em vez de a desvalorizar.

Com efeito, para a Engenharia Natural não existe a dicotomia Homem ou Natureza, mas antes a consciência de que o Homem é um elemento integrante da Natureza. Por esta razão conservar a Natureza deixa de ser uma tarefa aparentemente contra o Homem, ou pelo menos contra o seu progresso material passando antes a ser um elemento próprio a actividade humana de todos os dias.

A defesa da existência de uma tal dicotomia tem trazido de longe mais prejuízos do que vantagens à prática da Conservação da Natureza prejuízos materializados em duas áreas principais:

- As grandes intervenções humanizantes foram, em grande medida, por falta de enquadramento por parte das disciplinas técnicas ligadas à conservação da Natureza, bem mais destrutivos e desestabilizadores do que poderiam ter sido.
- A actividade da conservação da Natureza foi considerada como restrita à preservação de santuários limitados, donde se retiraria ou onde se condicionaria a actividade humana, deixando, pois, de estar presente de forma activa na quase totalidade do espaço humanizado.

É de certo modo na recusa destas noções que a Engenharia Natural se procura orientar para aquilo que poderemos denominar como uma conservação activa. Esta nova orientação deriva de dois princípios fundamentais: o homem e as suas sociedades são partes integrantes da Natureza e todos os espaços são intrinsecamente naturais.

Consciente destes princípios, a Engenharia Natural propõe-se como tarefas base a integração harmónica

das actividades humanas no tecido sistémico natural, consciente que está, que o comprometimento daquele acarretara a curto ou médio prazo a não sobrevivência das primeiras; a valorização dos processos e elementos naturais nos espaços humanizados e a recuperação e revalorização dos espaços degradados.

Pretende, portanto, a Engenharia Natural contribuir para a geração de um espaço natural harmoniosamente humanizado onde em vez de actuar e intervir contra ou em detrimento da Natureza, se utiliza esta e se moldam os seus potenciais às necessidades humanas.

Como instrumento fundamental de trabalho, a Engenharia Natural necessita de realizar um reconhecimento extremamente profundo e detalhado das características e modo de funcionamento dos espaços, assim como das potencialidades, não só de cada elemento biológico e inerte como também dos biosistemas complexos correspondentes ou que se poderão instalar em cada lugar.

Pretende-se, pois, acabar com a dicotomia espaço natural/espaço humanizado, criando antes uma outra escala de espaços sucessivamente mais alterados, mas onde as características e processos naturais se encontrem potencializados ao máximo:

- Espaço natural
- Espaço próximo do natural
- Espaço condicionadamente natural
- Espaço condicionadamente afastado do natural
- Espaço afastado do natural
- Espaço artificial

Isto pode até passar pela criação de raiz de espaços naturais (ou próximo do natural) ou ainda pela consideração e preservação do que de rico e diversificado existe na Natureza que ocupa os espaços profundamente artificiais ou mesmo ainda pela consideração de que o espaço humanizado também contem valores naturais e culturais que o colocam igualmente como digno e exigente de protecção.

## **1.2 Adaptação à micro realidade**

A prossecução dos objectivos atrás referidos só é possível no caso de haver uma correspondência muito estreita entre cada lugar e o tipo de usos ou de intervenções nele realizadas.

Com efeito, cada lugar por mais alterado que esteja mantém sempre um conjunto de características básicas, derivadas dos diferentes factores do espaço (clima, geologia, solo, morfologia, regime hídrico, etc.), que determinam não só o seu potencial e a sua aptidão para os diferentes usos como também a sua susceptibilidade a esses mesmos usos.

É partindo desse conhecimento que a Engenharia Natural se constrói a partir de duas linhas condutoras:

- Caracterização detalhada de cada ponto do espaço em termos quer do seu modo e dinâmica de funcionamento quer das suas potencialidades e propriedades.
- Adaptação precisa do tipo e características de cada intervenção a cada lugar do espaço.

Gerar-se-á assim uma reciprocidade estreita entre cada lugar e cada actuação, reciprocidade essa, que, por exprimir uma correspondência entre o modo de funcionamento desse lugar e as exigências a ele colocadas pelo uso nele implantado ou a implantar, vai permitir que este possa ocorrer sem a geração de conflitos e mesmo com a valorização global do espaço.

Com efeito, ao introduzir novos usos e factores no espaço, está-se a aumentar essa diversidade (desde que, como referi, se respeite a anteriormente existente e as características topológicas e funcionais do lugar), já que se adicionam novas determinantes.

Consciente deste facto, e da importância da diversidade, procura a Engenharia Natural promover que, à humanização do espaço vá corresponder no fim um mosaico equilibrado e funcional, onde os usos e exigências das sociedades humanas se articulem com a funcionalidade do espaço natural, potencializando-a e valorizando-se a ambas, de acordo com os objectivos da conservação da Natureza, integrando-se para tal numa malha equilibrada de *continuum* ecológico.

### **1.3 A Engenharia Natural – uma engenharia dos sistemas vivos**

De acordo com Hugo Schiechtl (2007):

*Engenharia Natural é um sub-domínio da Engenharia Civil que prossegue objectivos técnicos, ecológicos, criativos, construtivos e económico através sobretudo da utilização de materiais construtivos vivos, ou seja, sementes, plantas, partes de plantas e associações vegetais. Estes objectivos são atingidos através métodos de construção próximos do natural, utilizando as diferentes vantagens que a utilização de plantas vivas garante.*

*A Engenharia Natural é utilizada por vezes como substituto, mas principalmente como complemento útil e necessário das técnicas clássicas da Engenharia Civil. A sua área de aplicação corresponde a todos os domínios construtivos quer em trabalhos de terra quer em domínios fluviais e costeiros, com predominância particular na protecção de margens e taludes e encostas, assim como no controle da erosão.*

Já a Federação Europeia de Engenharia Natural (EFIB) (2007) propõe a seguinte definição:

***Por Engenharia Natural entende-se uma disciplina da Engenharia orientada pela Biologia cujo domínio de intervenção são as intervenções geotécnicas e de mecânica de solos, de engenharia fluvial e hidráulica, de engenharia florestal assim como todas as intervenções construtivas ao nível da compatibilização dos sistemas naturais com as pressões de uso.***

*Os objectos de projecto e construção são a estabilização de taludes e escarpas, margens, diques, aterros, assim como outros espaços de uso e a sua protecção contra a erosão.*

*No processo de projecto e execução são utilizados conhecimentos e competências das disciplinas de construção, assim como conhecimentos da biologia e da ecologia da paisagem de forma a instalar e garantir o adequado desenvolvimento de um coberto adequado de espécies autóctones que garanta as exigências construtivas requeridas.*

*As intervenções de Engenharia Natural garantem não só a protecção contra a erosão como igualmente acções reguladoras no regime hidrológico, no microclima, na estrutura e qualidade biológica e ecológica,*

*assim como na qualidade visual das zonas de intervenção.*

Ambas estas definições focalizam-se num domínio essencialmente construtivo, sendo os seus domínios de aplicação principais a construção e manutenção de infra-estruturas quer nos domínios da **engenharia hidráulica como da engenharia de solos**, usando preferencialmente **sistemas, técnicas e materiais naturais** (ou o mais próximo possível do natural):

- Consolidação de taludes e encostas;
- Consolidação e valorização ecológica de margens de linhas de água;
- Protecção contra desastres naturais como a erosão e as cheias;
- Criação de ecossistemas de compensação ou de substituição;
- Recuperação ecológica de áreas degradadas como minas, pedreiras, aterros sanitários, etc.

A vantagem da utilização destas técnicas e metodologia prende-se com as funções e efeitos que originam:

#### ***Funções técnicas:***

- Protecção da superfície do solo da erosão pelo solo, precipitação, gelo e água corrente;
- Protecção contra a queda de rochas;
- Eliminação ou amortecimento de forças mecânicas destrutivas;
- Redução da velocidade do fluxo ao longo das margens;
- Aumento da coesão superficial e profunda do solo e sua estabilização
- Drenagem;
- Protecção do vento;
- Promoção da deposição de neve, areia e outros sedimentos;
- Aumento da rugosidade do solo e prevenção de avalanches;
- Funções ecológicas, em particular aquelas omissas ou muito parcialmente preenchidas pelas intervenções clássicas de engenharia civil.

#### ***Funções ecológicas***

- Melhoria do regime hídrico por melhoria da interceptação, infiltração e capacidade de retenção hídrica, assim como consumo pela vegetação;
- Drenagem do solo;
- Protecção do vento
- Protecção da poluição atmosférica;

- Promoção das condições mecânicas do solo através das raízes;
- Sombreamento e controle de infestantes;
- Balanço da temperatura da camada do ar junto ao solo e do solo;
- Melhoria das condições nutricionais e, decorrentemente, da fertilidade do solo ou de substratos incultos;
- Equilíbrio dos depósitos de neve;
- Protecção contra o ruído;
- Aumento da produtividade das culturas adjacentes;

### ***Funções estéticas***

- Enquadramento de feridas abertas na paisagem por catástrofes naturais ou intervenções humanas (exploração de recursos minerais, trabalhos de construção, aterros de inertes, escombreliras, aterros sanitários);
- Integração de estruturas na paisagem;
- Ocultação de estruturas ofensivas;
- Enriquecimento da paisagem através da criação de novos elementos, estruturas, formas e cores da vegetação;

### ***Efeitos económicos***

Apesar de estas intervenções poderem não ser sempre mais baratas em termos da construção quando comparadas com sistemas clássicos da engenharia tradicional, quando se tem em conta o seu tempo de vida útil, incluindo os custos de manutenção, demonstram-se, normalmente mais económicos. As suas principais vantagens são:

- Menores custos de construção comparativamente com materiais e técnicas mais “duros”;
- Menores custos de manutenção e recuperação;
- Criação de áreas verdes úteis e formações vegetais em terras anteriormente ermas ou marginais.

Como resultado das intervenções de Engenharia Natural obtêm-se sistemas vivos que continuarão a desenvolver-se e a manter o seu equilíbrio dinâmico através dos processos de sucessão natural, ou seja, auto-controle dinâmico, sem *inputs* artificiais de energia. Se forem utilizados os materiais construtivos vivos e inertes e os sistemas construtivos adequados, atingir-se-á uma elevada capacidade de resistência a tensões externas, sem esforços muito elevados e dispendiosos de manutenção.

A consciência da diversidade cada vez maior das escalas de intervenção (desde a regional com a gestão e controle dos processos hidrológicos (Fig. 1.1) e a recuperação de áreas aridas até à local com as

intervenções de correcção de situações de perturbação e degradação) permite avançar com uma definição mais ampla:

*"A Engenharia Natural pode ser definida como um ramo da engenharia que tem como objecto o território, que procura otimizar os processos construtivos numa perspectiva simultânea de funcionalidade estrutural e ecológica, procurando que a obra preencha plenamente os objectivos que se lhe colocaram do ponto de vista das exigências de uso e se insira simultaneamente o mais harmoniosamente possível no espaço natural, utilizando para tal, os próprios sistemas e processos funcionais deste"*

É pois, este quadro, que se pode considerar que o objecto da Engenharia Natural é bastante mais lato, não se referindo apenas ao desenvolvimento de sistemas construtivos utilizando materiais vivos, mas principalmente ao território visto na globalidade dos seus processos e determinantes, sendo o seu objectivo a articulação entre os usos humanos e as aptidões naturais relativamente a esses usos e sendo os seus instrumentos a gestão dos processos e sistemas naturais, além de todos os instrumentos e métodos das engenharias clássicas e biológica.

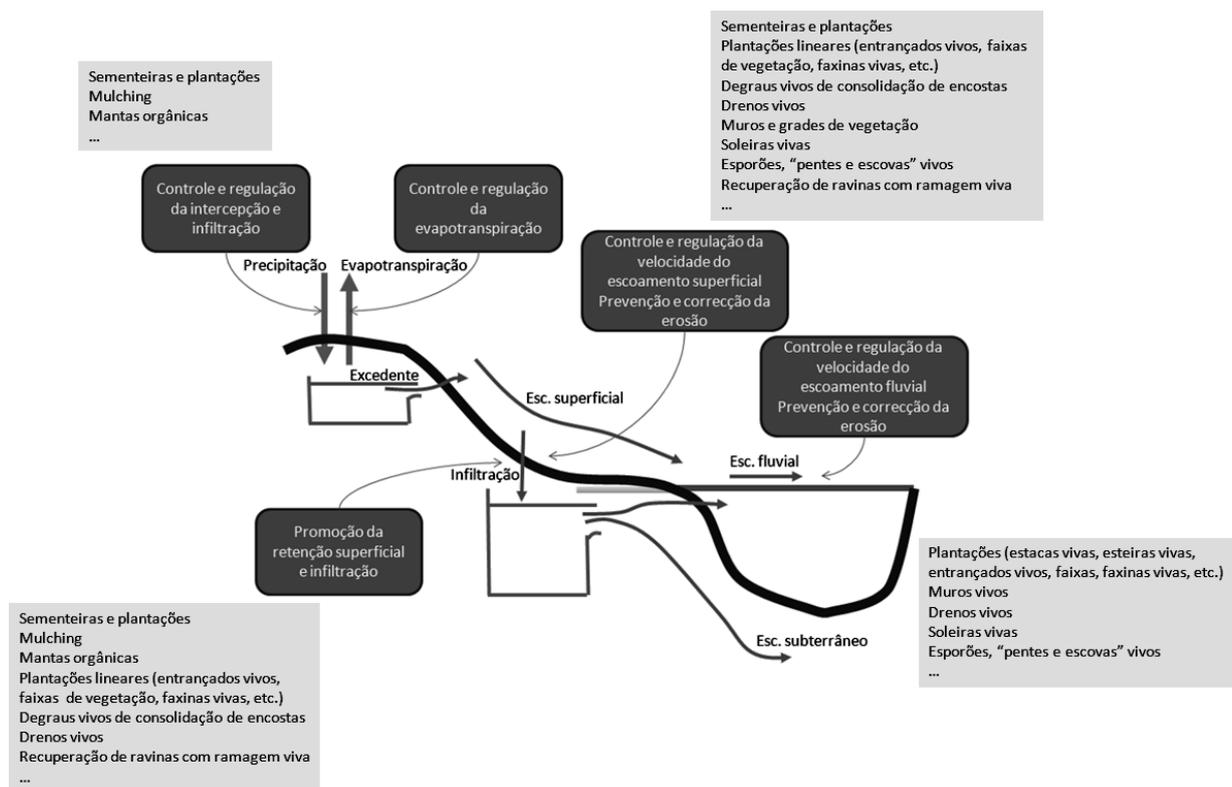


Fig. 1.1 - Intervenções de Engenharia Natural para a gestão dos sistemas hidrológicos

Na prática, isto corresponde a acrescentar aos domínios de intervenção anteriormente referidos, a promoção dos objectivos de Conservação da Natureza e da Gestão Sustentável dos recursos através da criação e desenvolvimento estruturas biológicas orientadas, integradas numa rede local e global de conservação da natureza, tendo sempre em consideração as necessidades dos indivíduos e das comunidades e os objectivos das sociedades humanas numa perspectiva sustentável, i.e.:

- Desenvolvimento de sistemas que promovam o valor ecológico de cada lugar;
- Enquadramento ecológico de todos os projectos e obras;
- Desenvolvimento de metodologias de caracterização e avaliação ecológica e sua integração nos processos de planeamento e gestão do território;

Examinemos alguns domínios de actividade com particular relevância no momento actual:

1. **Áreas costeiras e dunares** – Ao mesmo tempo em que a Engenharia Natural é chamada a consolidar ou recuperar espaços costeiros degradados por pressões ou tipologias inadequadas de uso (caso dos cordões dunares adjacentes a praias ou zonas de salgados degradados pela poluição ou pisoteio ou outras impactes de uso) confrontamo-nos com a necessidade, por um lado, de abordagens de protecção costeira relativamente a uma agressividade erosiva marinha acentuada pelas novas condições decorrentes das alterações globais em curso e por outro, de desenvolver mecanismo de gestão, por exemplo, dos balanços de transporte sólido (erosão, transporte e sedimentação) entre as zonas terrestres e litorais, domínio em que as abordagens da Engenharia Natural são solicitadas a escalas de abordagem e intervenção completamente distintas das tradicionais.
2. **Zonas húmidas e fluviais** – Estes são alguns dos habitats e sistemas naturais mais perturbados e sujeitos a maiores pressões de uso, situação que tem conduzido a intervenções e modificações que têm comprometido dramaticamente o seu carácter e que colocam desafios particularmente importantes à Engenharia Natural. As intervenções necessárias impõem toda uma escala de naturalidade, desde as situações em que o espaço efectivo de intervenção é muito reduzido até às situações em que se poderá falar em absoluto de renaturalização e de restauração. Simultaneamente, estes sistemas são a expressão mais visível dos muito mais vastos e complexos sistemas hidrológicos onde fenómenos como cheias e secas são regulados e, decorrentemente, ampliados ou minorados. Dado que o coberto vegetal e o uso do solo constituem reguladores críticos destes sistemas e processos hidrológicos, é no actual contexto de alterações globais que tenderão a acentuar essas situações extremas, que a gestão dessas variáveis irá assumir uma importância cada vez mais crítica e, de novo, colocar um novo universo e escala de trabalho à Engenharia Natural.
3. **Bacias hidrográficas** – Estes são, fora de dúvida os domínios mais abrangentes e integrativos da área de actuação da Engenharia Natural. Com efeito, é neste enorme âmbito territorial que a regulação, prevenção e correcção dos processos erosivos, a regulação do escoamento hídrico, dos processos de infiltração e de evapotranspiração, da promoção dos processos de formação de solo, de prevenção, consolidação e retenção dos processos de vertente, em particular dos aluimentos, avalanches e derrocadas, para já não falar na valorização dos processos ecológicos, constituem áreas prioritárias de intervenção da Engenharia Natural em complemento de todas as restantes disciplinas de gestão e ordenamento do território. A título de exemplo, a regularização dos processos de escoamento, assim como dos riscos a ele associados, tem de começar ao nível da bacia, onde os balanços de interceptação, infiltração, evapotranspiração, escoamento superficial e sub-superficial, erosão ou sedimentação são regulados quer pelo coberto vegetal, quer pela morfologia, quer pelo solo e geologia, sendo todas estas variáveis objectos de gestão e de intervenção recorrendo a técnicas e abordagens de Engenharia Natural. Da mesma forma, a

correção de situações de erosão e ravinamento, invertendo o processo erosivo e criando as condições para a reposição de perfis morfológicos de equilíbrio e o restabelecimento de um coberto vegetal adequado são também áreas onde a Engenharia Natural tem, de há muito provas dadas e um enorme potencial de desenvolvimento.

4. **Zonas florestais e marginais destruídas pelo fogo** - no domínio crescentemente preocupante dos incêndios florestais, em termos quer das medidas de primeira intervenção no sentido de prevenir a erosão e reter o solo exposto, quer nas medidas complementares aos processos de reflorestação e de apoio ao desenvolvimento de um coberto natural espontâneo, existem igualmente amplos domínios de aplicação das abordagens e soluções técnicas da Engenharia Natural. A destruição do coberto vegetal e, inclusive, do húmus do solo pelos fogos florestais determina um risco erosivo muito elevado que tem de ser combatido quer com medidas preventivas, quer com medidas correctivas de emergência. A Engenharia Natural através de uma panóplia de técnicas de controlo do escoamento e de intervenção rápida em encostas pode constituir uma especialidade de grande importância nos processos de prevenção e combate a estes processos de degradação do território.
5. **Infraestruturas** – A segurança do uso de infraestruturas constituiu sempre uma das áreas por excelência de aplicação das técnicas de Engenharia Natural, particularmente no que se refere aos diferentes domínios de segurança de taludes e aterros, à prevenção da erosão e de aluimentos ou movimentações de massa de natureza vária como avalanches. A estes domínios tradicionais acrescentam-se presentemente com importância crescente a garantia de funções ecológicas (redução da fragmentação e promoção da biodiversidade) e estéticas, além da redução de impactes de funcionamento como são por exemplo os associados à poluição sonora, à emissões de gases e partículas ou aos escoamentos contaminados (contínuos ou acidentais).
6. **Zonas urbanas** – Se bem que não constituindo espaços tradicionalmente associados à aplicação das técnicas de Engenharia Natural, estas não deixam, contudo, de constituir soluções construtivas do maior interesse nos domínios quer da Arquitectura Paisagista, quer da segurança e enquadramento de espaços e infra-estruturas (também existem escarpas e vertentes instáveis em zonas urbanas, assim como a minoração dos impactes sonoros e poluentes das vias de comunicação rodoviárias e ferroviárias assume uma importância e desafios técnicos ainda mais prementes e complexos. Por outro lado, a gestão e valorização, das linhas de água em espaço urbano maximizando o seu valor e funcionalidade ecológica dentro das exigências hidráulicas estritas da susceptibilidade dos usos marginais, constitui um domínio onde a Engenharia Natural tem desenvolvido não só inúmeras intervenções como desenvolvido trabalhos de investigação e desenvolvimento experimental que permitem tipologias de intervenção com garantias de segurança hidráulica muito mais significativas. Por fim importa referir toda a enorme diversidade de estruturas de activação biológica em espaço urbano onde muitas das abordagens técnicas e metodológicas da Engenharia Natural têm-se comprovado da maior eficácia.
7. **Actividade extractiva e espaços degradados** – Este é um domínio onde muitos dos equívocos que afectam a Engenharia Natural se manifestam de modo claro, ao predominarem conceitos como “recuperação paisagística” em detrimento de reconstrução e requalificação ecológica e funcional, reintegrando os espaços em causa na oferta ambiental do modo global e não apenas ocultando a actividade que nele ocorreu, com todos os problemas de viabilidade futura da intervenção. Por outro lado, esta componente de recuperação e de reintegração da funcionalidade ambiental desses

espaços tem de ser integrada na própria actividade e deixar de constituir um seu apêndice desarticulado comprometendo a própria viabilidade da sua execução.

8. **Conservação da Natureza e da Biodiversidade** – Sendo, por definição a Engenharia Natural um engenharia cujos objectos e instrumentos de trabalho são, prioritariamente as plantas e as comunidades vegetais, é obvia a sua contribuição para todos os domínios de actividade de conservação da natureza e da biodiversidade, sejam em termos da prevenção de impactes externos, seja de recuperação e restauro de zonas perturbadas ou degradadas, seja da própria recriação de habitats ou a criação de habitats de substituição ou compensação. Igualmente importante é o facto de as abordagens técnicas da Engenharia Natural permitem a gestão de áreas de elevado valor ecológico dentro de condições de perturbação sem deixar que tal comprometa os valores existentes.

Este enunciado sintético e obviamente incompleto evidencia o imenso universo de trabalho que se coloca perante a Engenharia Natural, para além do contexto específico de “sub-domínio da Engenharia Civil” da referida definição de Schiechtl, já que a este domínio de intervenção temos de acrescentar as interfaces existentes com os domínios da gestão de habitats, da engenharia da conservação, do ordenamento e desenvolvimento do território.

Em termos práticos, a Engenharia Natural pretende fazer convergir todo um vasto conjunto de conhecimentos e competências numa prática inovadora (Fig. 1.2), em que a relação com a Natureza e os Sistemas Naturais não seja uma relação de oposição, mas sim de cooperação orientada no comum benefício, garantindo o desenvolvimento humano na preservação e promoção das funções naturais.

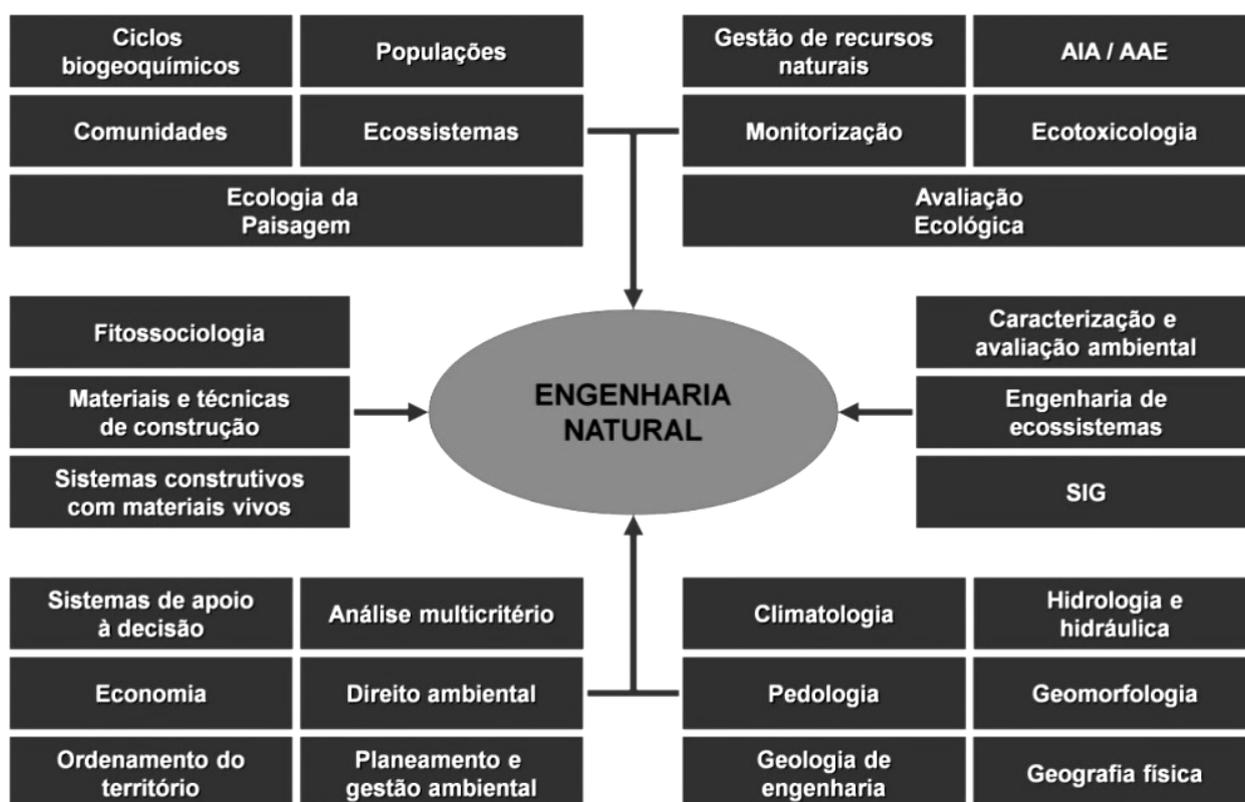


Fig. 1.2 – Engenharia Natural como área de convergência técnica e científica

Em suma, a Engenharia Natural constitui no essencial uma abordagem que procura construir território sustentável, seja ele território urbano, agrícola, de recreio, degradado (caso das zonas de extracção de inertes), associado a infra-estruturas ou vocacionado para a conservação da natureza e da biodiversidade.

#### 1.4 As plantas e a vegetação como material de construção

A vegetação exerce no solo uma função estabilizadora extremamente intensa e multifacetada. Essa função manifesta-se, quer ao nível da protecção contra a acção dos agentes externos (precipitação, vento, temperatura, etc.), quer internos (instabilidade, encharcamento, falta de coesão, etc.).

Simultaneamente, a vegetação apresenta não só a vantagem de assegurar a protecção e a estabilização do terreno em causa, com também, dadas as suas características de sistemas vivos, a vantagem de, se devidamente cuidada, se desenvolver de um modo equilibrado com os factores de desequilíbrio, adaptando-se dentro de certos limites, à variação destes.

A utilização de plantas e da vegetação como material de construção apresenta vantagens mas também limitações que convém ter sempre presentes (Tab. 1.1). As vantagens e desvantagens acima descritas, derivam das seguintes características básicas da função da vegetação na estabilização dos terrenos:

Tab. 1.1 - Vantagens e desvantagens comparativas das plantas e dos materiais inertes como materiais de construção

Utilização da vegetação como material de construção		Utilização de materiais inertes como material de construção	
vantagens	desvantagens	vantagens	desvantagens
<p>Não é afectada por processos de degradação, proporcionando, pelo contrário uma estabilização crescente e possuindo, cumulativamente, uma capacidade regenerativa intrínseca.</p> <p>Preenche a sua função protectora de modo elástico, absorvendo os elementos e acções "agressivas", diminuindo ou anulando a sua intensidade.</p> <p>É biológica e ecologicamente funcional.</p>	<p>Não preenche em todas as situações, as exigências de consolidação e segurança requeridas.</p> <p>Exige uma aplicação adaptada e dependente das características do sítio, não sendo também passível de utilização construtiva em qualquer altura do ano.</p> <p>Só atinge a sua eficiência técnica</p>	<p>Poderão ser mais estáveis.</p> <p>São mais independentes das características do sítio e de aplicação menos limitada temporalmente.</p> <p>Ficam funcionais a curto prazo.</p>	<p>Tendem a perder a sua eficiência devido à corrosão e degradação e não possuem capacidade de auto-regeneração.</p> <p>Funcionam, relativamente aos agentes agressivos como estruturas construtivas rígidas e não, ou pouco deformáveis.</p> <p>Não preenchem qualquer função biológica.</p>

Possibilita e conduz a uma valorização estética e paisagística, com o enquadramento da construção no espaço natural.	plena após um certo intervalo de tempo.		Constituem, normalmente, elementos estranhos na paisagem.
--	---	--	---

- **Funções de Cobertura** - Através das suas partes aéreas (troncos, ramos e folhas), as plantas asseguram uma cobertura mais ou menos densa da superfície onde estão instaladas. Especialmente no caso das herbáceas, que asseguram essa cobertura de um modo bastante rápido e eficiente, obtêm-se um sistema de amortecimento do impacto directo da chuva, do vento e mesmo do escoamento superficial, diminuindo desta forma a erosividade de tais agentes. Também as espécies arbóreas e arbustivas desde que em formações suficientemente densas, asseguram a mesma função, acrescentada de uma intensa acção de intercepção (retenção da água da chuva nos troncos e copas, possibilitando a sua posterior evaporação e a consequente diminuição do caudal de escoamento superficial ou de infiltração).
- **Funções de armação e de ancoragem do solo** - Através das suas raízes, a vegetação exerce um conjunto de acções físicas que têm como resultado final aumentar a estabilidade mecânica do solo, aumentando a sua coesão, e consequentemente, possibilitando a existência de taludes de ângulo superior ao ângulo de talude natural desse material. Estas funções são realizadas essencialmente de dois modos:
  - as ramificações das raízes penetrando o solo vão constituir uma malha, cuja densidade é variável em função das espécies vegetais utilizadas, a qual enquadrará não só as partículas do solo, como também as penetrará funcionando então como mais um factor de agregação.
  - as grandes raízes mergulhantes, destinadas a ancorar a planta ao solo, penetrarão este em profundidade, o que proporcionara, pelo menos nos dois metros superficiais, que qualquer plano de descontinuidade paralelo à superfície e que seja propiciador de escorregamentos seja atravessado pelas raízes, aumentando a rugosidade do plano de escorregamento ancorando o horizonte superior no inferior e diminuindo, consequentemente, a tendência para o escorregamento segundo esse plano.
- **Funções de estruturação** - Além das acções físicas de armação e de ancoragem, que asseguram essencialmente um papel de sustentação, as acções químicas e biológicas proporcionadas pela vegetação, ou dela derivadas, contribuem, igualmente e de uma forma decisiva, para o aumento da estabilidade do solo. Tais funções são realizadas, quer por intermédio dos produtos químicos segregados pelas raízes das plantas que favorecem a formação de agregados de partículas do solo, quer pela formação de compostos húmicos a partir da decomposição de folhas e outros materiais orgânicos compostos esses que agem da mesma forma como agregantes do solo.

- **Funções de coesão e drenagem** - As plantas devido às suas necessidades próprias de água, contribuem também, eficazmente, para a diminuição do teor em água do solo, dado esta ser absorvida e depois transpirada. Esta diminuição do teor em humidade do solo tem como consequência um aumento da coesão do solo e poderá, em determinadas circunstâncias, diminuir o risco da sua fluidificação. Por outro lado, a tensão capilar associada à absorção de água pelas raízes, gera uma coesão aparente que aumenta a estabilidade do solo. é de referir que, em contrapartida, a vegetação também apresenta alguma acção propiciadora da infiltração o que em certa medida, pode constituir um factor de aumento da instabilidade. Os efeitos desestabilizantes deste processo não anulam, contudo, os efeitos estabilizantes atrás descritos.
- **Funções de activação biológica** - Estas funções, embora não estejam directamente associadas com o aumento da estabilidade do solo, proporcionam também indirectamente uma melhoria da agregação deste, que contribui decisivamente, para o aumento da estabilidade global do local. Com base no conhecimento destas funções e no desenvolvimento de técnicas construtivas próprias que anulem ou diminuam as desvantagens anteriormente apontadas e potenciem as vantagens têm sido implementados sistemas construtivos utilizando essencialmente a vegetação como material construtivo e que têm revelado a maior eficiência. Estes sistemas constituem combinações dos seguintes tipos básicos de construções:
  - **Construções combinadas de apoio suporte e consolidação**, para desvio e anulação de acções mecânicas, para escoramento do terreno e consolidação de materiais instáveis. são constituídas normalmente por combinações entre obras inertes (betão, pedra, alvenaria, madeira, geotexteis, etc.) e plantações. Permitem, pela aplicação de sistemas combinados, diminuir a dimensão das obras inertes.
  - **Construções de drenagem biotécnica**, em que são utilizadas essencialmente plantas com elevada capacidade de evapotranspiração e sistemas de construção e plantação adequados para assegurarem uma drenagem activa de toda a massa do solo.
  - **Construções de estabilização**, para desvio e anulação de acções mecânicas, consolidação e agregação do solo em profundidade. Consistem em sistemas particulares de plantação de lenhosas (em linhas ou em banquetas por exemplo), de modo a assegurar uma armação profunda do terreno e a desviar e conduzir as acções mecânicas que possam criar situações de instabilidade.
  - **Construções em cobertura**, para assegurar uma rápida e eficiente protecção da superfície do solo, uma melhoria dos balanços térmicos e hídricos, o sombreamento e a activação biológica do solo. É conseguida quer por sementeira ou plantação de herbáceas, quer por técnicas especiais de instalação de lenhosas arbustivas ou mesmo arbóreas.
  - **Construções complementares**, para condução e aceleração da sucessão natural da vegetação permitindo obter o mais rápida e eficazmente possível, o coberto vegetal pretendido.

As plantas apresentam, como já referido, um vasto leque de propriedades (Tab. 1.2)) que deverão ser

tidas em consideração no processo de selecção não só das espécies, como particularmente da combinação de espécies a instalar num determinado local e para um determinado fim.

Importa, contudo, saber seleccionar e combinar as diferentes espécies que garantem as funções técnicas desejadas. Por exemplo, considerando as funções técnicas de cobertura (para protecção contra a erosão) e de consolidação radicular, temos de distinguir as diferentes espécies em função do tipo de aparelho superficial e radicular que desenvolvem de modo a garantir que as diferentes funções pretendidas são preenchidas. Observando por exemplo a fig. 1.3 é possível verificar que as diferentes espécies herbáceas ilustradas se distinguem claramente em termos das referidas características. Verificamos a ocorrência de espécies com um enraizamento superficial denso (coincidindo muitas vezes com um desenvolvimento da parte aérea igualmente densa que pode proporcionar uma boa cobertura do solo) e espécies com um desenvolvimento radicular profundo (muito ou pouco ramificado), proporcionando funções de ancoragem distintas da simples agregação da superfície do solo.

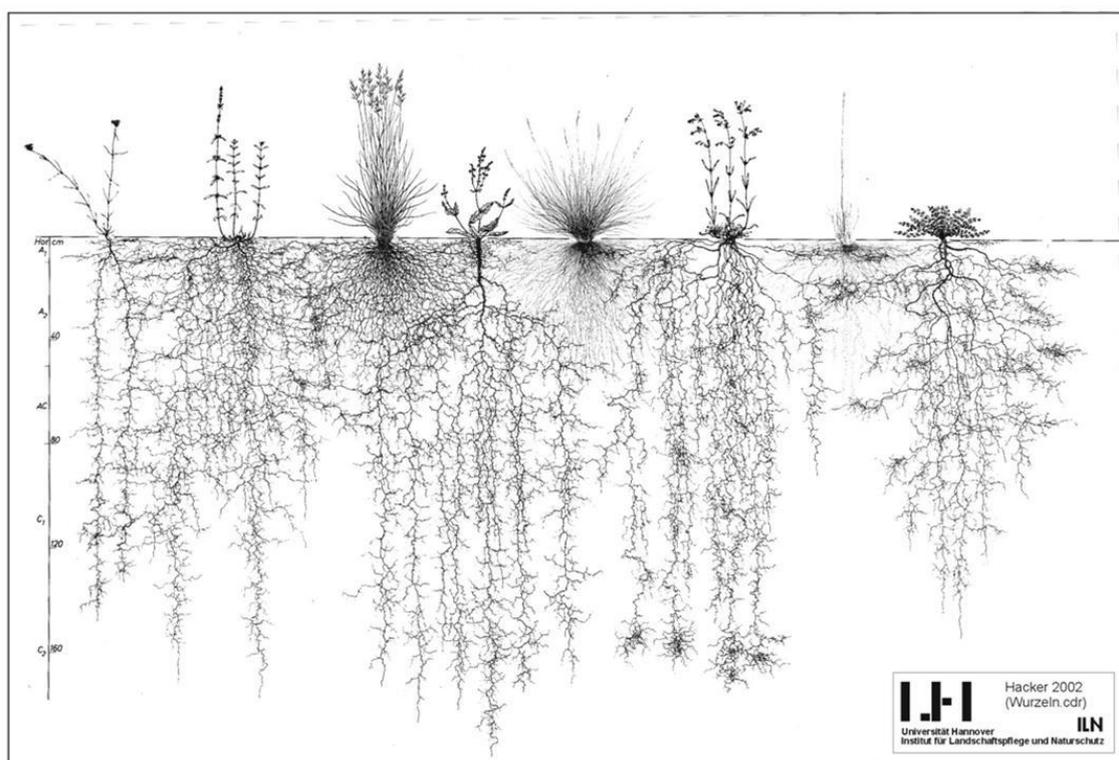


Fig. 1.3 – Exemplos de aparelhos superficial e radicular de diferentes espécies herbáceas e arbustivas e de como só a combinação de diferentes espécies garantirá uma densa armação e cobertura superficial e uma ancoragem profunda e resistente (cortesia Prof.ª Eva Hacker)

Tab. 1.2 - Características da vegetação condicionantes dos diversos efeitos (Adaptado de Mendonça e Cardoso, 1998 e de EFIB, 2008)

EFEITOS		Características condicionantes da vegetação										
		% de cobertura superficial	Altura	Peso	Forma e comprimento da folhagem e ramos	Densidade da folhagem e ramos	Robustez da folhagem e ramos	Flexibilidade da folhagem e ramos	Profundidade das raízes	Densidade das raízes	Resistência das raízes	Ciclo de crescimento anual
No regime e processos hídricos	Protecção contra a precipitação intensa	X			X	X						
	Protecção contra a erosão hídrica	X				X						
	Arraste superficial	X	X		X	X		X				X
	Abrandamento e desvio de fluxos hídricos	X						X	X			X
	Retenção de detritos em enxurradas	X										
	Infiltração	X				X				X	X	
	Evaporação	X				X						
	Retenção da água do solo									X		X
No fluxo do ar (vento)	Partículas em suspensão	X			X							X
	Desvio de fluxo		X	X							X	X
	Arraste superficial	X	X		X			X				X
	Protecção contra o ruído	X	X	X	X							
Na protecção dos solos	Protecção contra a erosão eólica	X	X		X	X	X	X				X
	Protecção contra a queda de pedras	X	X						X	X		
	Envolvência das partículas do solo pelas raízes								X	X		
	Encaixe e ancoragem dos horizontes do solo								X	X	X	
	Prevenção da lavagem de partículas finas através de uma acção filtrante								X	X		
Nas propriedades dos solos	Agregação bioquímica das partículas do solo								X	X		
	Aumento do volume de poros								X	X	X	
	Melhoria das condições de vida dos micro organismos	X							X	X		
	Formação de húmus	X				X				X		
Na água subterrânea	Evapotranspiração				X	X				X		X
	Teor em água do solo								X			X
	Drenagem interna								X	X		
Nas características do maciço	Erosão	X	X		X	X						X
	Transporte	X				X						X
	Isolamento	X				X						X
	Filtro		X			X	X	X				
	Resistência própria	X	X			X	X			X	X	X
Mecânicos	Sobrecarga			X								
	Rede superficial								X	X	X	X
	Reforço das raízes								X	X	X	X
	Ancoragem								X	X	X	
	Contraforte								X		X	
	Cunha de raízes		X			X	X		X	X		
	Acção expansiva devido à espessura das raízes								X	X	X	
	Compactação			X						X	X	
Na qualidade ambiental	Remoção de substâncias eutrofizantes									X		X
	Filtração e acumulação de poeiras				X	X						X
	Absorção de ruído	X	X		X	X						X
	Influência (moderadora) sobre o microclima	X	X			X						X

Procurando sistematizar estes factores de selecção das espécies e tipologias de plantas a utilizar, a Tab.

1.3 apresenta, de forma simplificada, para os principais tipos de vegetação as vantagens e desvantagens técnicas a ter em consideração nesse processo.

Tab. 1.3 – Adequação dos tipos de plantas para diferentes funções e aplicações de engenharia (Gray et al. 1996)

<b>Tipo de vegetação</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Gramíneas	Versáteis e baratas, elevado espectro de tolerância, estabelecimento rápido, elevada densidade de cobertura	Enraizamento superficial, necessitam de manutenção regular
Caníços e juncos	Estabelecem-se bem em margens de rios e lagos, crescimento rápido	Plantação manual dispendiosa, obtenção difícil
Herbáceas	Enraizamento profundo, atractivas em relvados	Sementes dispendiosas, às vezes difíceis de estabelecer, muitas espécies morrem no Inverno
Leguminosas	Estabelecimento barato, fixam azoto, combinam bem com gramíneas	Não são tolerantes a locais difíceis
Arbustos	Robustos e razoavelmente baratos, muitas espécies podem ser semeadas, cobertura do solo muito significativa, enraizamento profundo, reduzida necessidade de manutenção, muitas espécies sempre-verdes	Estabelecimento mais dispendioso e por vezes mais difícil
Árvores em geral	Enraizamento muito significativo, algumas podem ser semeadas, nenhuma manutenção quando bem estabelecidas	Estabelecimento prolongado, crescimento lento, dispendiosas
Choupos e salgueiros	Enraízam facilmente de estaca, versáteis, muitas técnicas de plantação, estabelecimento rápido	Necessitam de manutenção de modo a seleccionar a forma de estabelecimento correctivo, não crescem de semente

### 1.5 Selecção das espécies vegetais a utilizar

O primeiro problema que se coloca quando consideramos o processo de instalação da vegetação num determinado espaço é o da selecção das espécies a utilizar. Como enquadramento incontornável desta selecção temos, naturalmente, as séries de vegetação correspondentes à localização biogeográfica do espaço em causa e ao ecótopo específico a criar. O elenco específico das associações vegetais correspondentes a essa série, em especial aos seus estágios iniciais, deve constituir a orientação básica para a selecção das espécies a utilizar.

Dentro desse elenco de espécies, e tendo as propriedades específicas de cada uma, os critérios de selecção são múltiplos, de entre os quais se destacam:

1. Carácter pioneiro (estratégia ecológica)
2. Adaptação ao local e à comunidade ecológica projetada (funcional, ecológica e genética);

- 2.1.1 Adaptação aos fatores de stress locais (solo e clima);
  - 2.1.2 Resistência / resiliência às perturbações;
  - 2.1.3 Resistência aos agentes patogénios locais;
  - 2.1.4 Certificar que a combinação de espécies selecionada garante uma sucessão equilibrada;
  - 2.1.5 Existência de condições de desenvolvimento e de dispersão (micorrizas, polinizadores, dispersores);
3. Tipologia de propagação vegetativa e de instalação (semente, elemento vegetativo, planta enraizada, etc.) (Tab. 1.4)
  4. Disponibilidade do material de estabilização (facilidade de obtenção e estabelecimento no local ou nos viveiros);
  5. Estabelecimento e velocidade de desenvolvimento;
  6. Funcionalidade técnica (cobertura, tipologias de crescimento e desenvolvimento da raiz, influência sobre o equilíbrio de nutrientes, absorção e retenção de contaminantes, etc.);
  7. Facilidade de manutenção.
  8. Velocidade de estabelecimento e desenvolvimento

Tab. 1.4 – Materiais de construção vivos susceptíveis de utilização em obras de Engenharia Natural e respectivas formas de instalação e propagação (adaptado de EFIB, 2008)

	Caniços e juncos	Gramíneas e Herbáceas	Leguminosas	Sub-arbustivas	Arbustos	Árvores
<b>Caules capazes de enraizarem adventiciamente</b>	X	X	X	X	X	X
<b>Partes de lenhosas capazes de enraizarem</b>						
Estacas					X	X
Hastes assentes no solo					X	X
Ramos assentes no solo						X
<b>Rizomas</b>	X	X	X	X		
<b>Propágulos radiculares</b>					X	
<b>Estacas radiculares</b>					X	X
<b>Sementes</b>	X	X	X	X		
<b>Inflorescências e frutos</b>	X	X	X	X		
<b>Fenos e palhas</b>	X	X	X	X		
<b>Plantas</b>	X	X	X	X	X	X
Rebento de lenhosa					X	X
Semente germinada					X	X
Estacas enraizadas					X	X
Plantas de viveiro com raiz nua					X	X
Plantas em contentores	X	X	X	X	X	X
Plantas em torrão	X	X	X	X	X	X
<b>Torrões</b>	X	X	X	X	X	X
<b>Mantas orgânicas vegetadas</b>	X	X	X	X		
<b>Placas de relva</b>		X	X			
<b>Rolos enrolvados</b>		X	X			

<b>Solo com sementes ou placas do horizonte vegetado</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>			
<b>Torrões ou Placas de Vegetação</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>

Os objectivos do coberto vegetal a estabelecer ultrapassam, como atrás referido, o simples estabelecimento de um qualquer tipo de coberto vegetal, mas referem-se à criação das condições que garantam um número muito diversificado de funções técnicas e ecológicas. Importa, contudo, nunca deixar de ter presente que a vegetação se encontra limitada na sua eficiência e aplicabilidade pelos limites que lhe são colocados pelos factores de tensão ambiental relativamente às suas características ecológicas específicas.

A estas condicionantes e limitações há ainda que acrescentar as limitações técnicas intrínsecas (por ex. profundidade de enraizamento limitando a profundidade eficaz de estabilização, capacidade de enraizamento em determinados substratos, ou potenciação de riscos de instabilização – aumento de cargas, dinâmicas induzidas por ex. pelo vento, etc.).

Por esse motivo, ocorrem um numeroso conjunto de situações em que a vegetação, por si só está impossibilitada de preencher todos os objectivos técnicos que se coloquem a uma obra, impõe-se então o recurso a sistemas construtivos complementares que complementem as funções que a vegetação não consegue, isoladamente, preencher Tab 1.5.

Tab. 1.5 – Exemplos de materiais de construção e coadjuvantes que contribuem para a estabilidade dos substratos (adaptado de EFIB, 2008)

<b>Materiais naturais inertes</b>	<b>Materiais naturais transformados</b>	<b>Materiais sintéticos</b>
Blocos de pedra	Telas de Juta, coco, palhas sisal, etc.	Hidrogel
Cascalho	Lã de madeira	Agregantes sintéticos
Areão	Fertilizantes e estrumes	Emulsões betuminosas
Areia	Alginatos	
Argila	Celulose	
Turfa	Micorrizas	
Solo orgânico	Betão	
Palha	Metal (redes, arame, etc.)	
Feno		

## 1.6 Principais tipos de técnicas de Engenharia Natural

As metodologias de estabelecimento da vegetação são extremamente variadas classificando-se em três grandes grupos:

- **Técnicas de estabelecimento da vegetação** (Tab. 1.6, Fig 1.4)
  - Técnicas de cobertura. São técnicas destinadas a evitar a erosão superficial.
  - Técnicas de estabilização. Estas técnicas permitem estabilizar o terreno até 2m de

profundidade baseiam-se na disposição de plantas lenhosas obtidas por reprodução vegetativa colocada em filas horizontais. As plantas têm que ter a capacidade de emitir raízes adventícias de modo a originar um entrançado que permita a armação e estabilização do terreno.

Tab. 1.6 - Exemplos de técnicas de construção que, combinadas com os sistemas construtivos vivos asseguram estruturas combinadas de maior eficácia (adaptado de EFIB, 2008)

<b>Técnica</b>	<b>Cobertura</b>	<b>Estabilização</b>
Enrocamento	X	
Colchões de gabião	X	
Muros de pedra seca	X	X
Cobertura com agregante do solo	X	
Cobertura com mantas	X	
Cobertura com mulch	X	
Estacas e ancoragem		X
Redes	X	
Gabiões		X
Terra armada com geotêxteis	X	X
Muro tipo "Cribwall" de madeira		X
Grade de madeira	X	X
Estacaria		X
Fascinas		X
Mantas orgânicas	X	

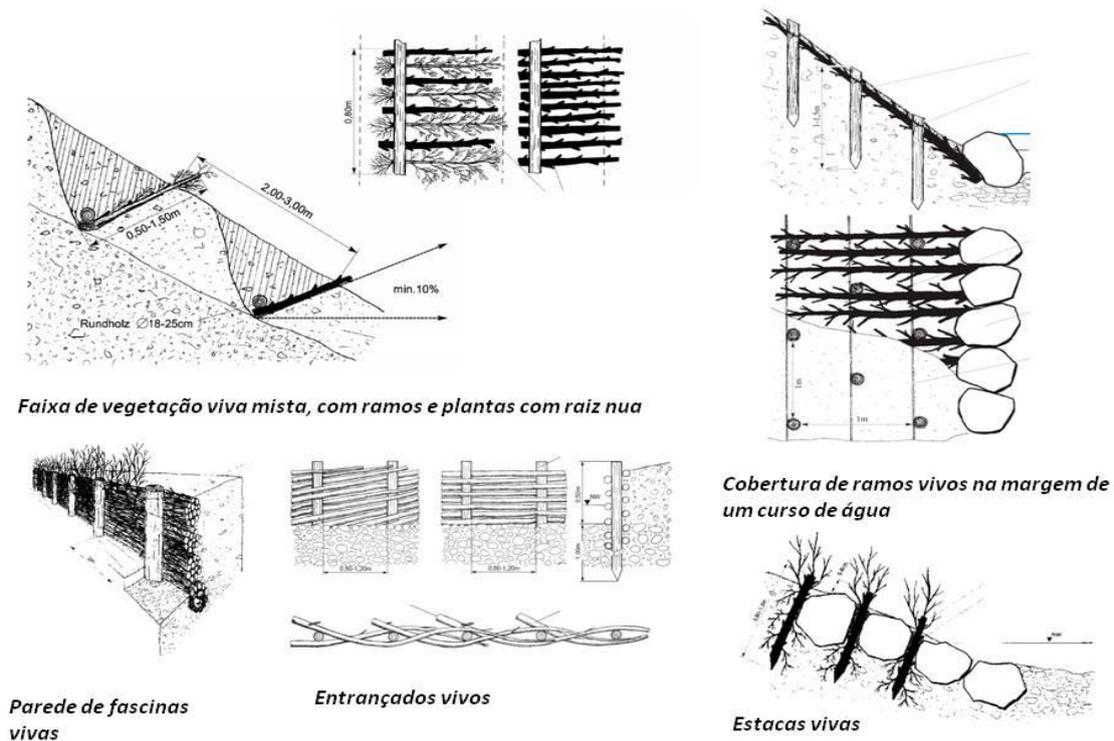


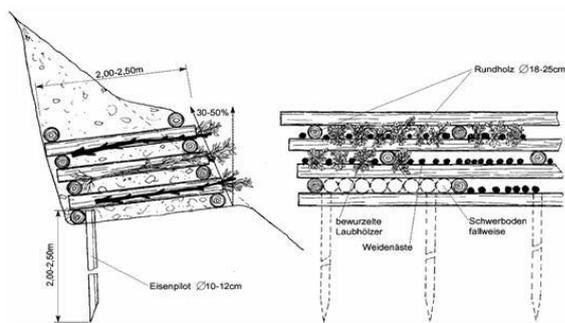
Fig. 1.4 – Exemplos de técnicas de instalação da vegetação

- **Técnicas combinadas** (Tab. 1.7, Fig 1.5) Estas técnicas, ao contrário das anteriores conjugam a utilização de elementos vegetais com materiais inertes como: madeira, aço galvanizado, pedra, betão. Nestas técnicas, os materiais inertes actuam como estabilizadores até que as plantas, através das suas raízes, sejam capazes de realizar esta função.

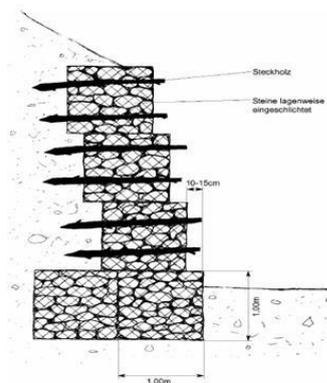
Tab. 1.7 – Exemplos de técnicas de instalação da vegetação (adaptado de EFIB, 2008)

Técnica	Cobertura	Estabilização
Sementeira a lanço	X	
Sementeira hidráulica	X	
Sementeira de cobertura (com mantas)	X	
Sementeira de feno	X	
Mulch seco de cobertura	X	
Estacas		X
Pentes vivos e paliçadas		X
Plantação de ramos enraizados		X
Cobertura de ramos	X	X
Faxinas		X
Entraçados		X

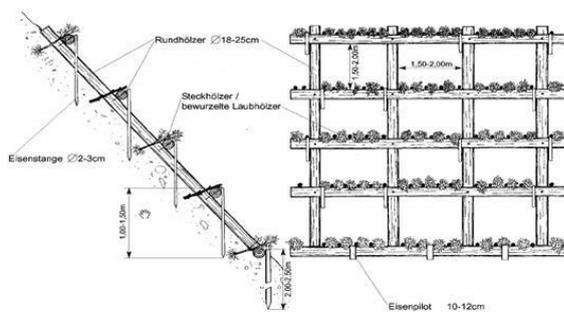
Leitos de ramagens		X
Plantação de rizomas		X
Plantação de lenhosas		X
Leitos de plantas enraizadas		X
Plantação de torrões		X
Estacas de raízes		X
Cobertura com rolos e placas de relva	X	
Cobertura com horizonte vegetal	X	
Plantação de Placas com vegetação	X	



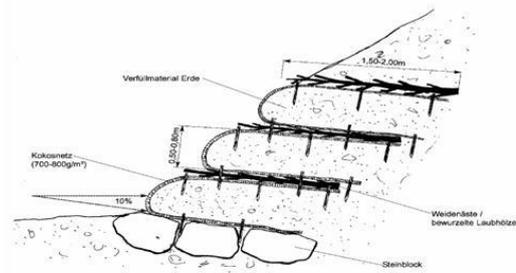
Áreas instáveis a uma profundidade de 1,00 – 2,00 m consolidadas com um muro de suporte tipo "Cribwall" vivo duplo



Gabiões vegetados com ramos vivos



Grade viva



Terra armada com geotêxteis reforçadas com faixas de vegetação

Fig. 1.5 – Exemplos de técnicas combinadas

- **Técnicas complementares.** Junto com as técnicas construtivas propriamente ditas, devem-se utilizar outras técnicas que completam e complementam as anteriores, mas que não cumprem um objectivo de estabilização ou de protecção contra a erosão. É o caso da plantação de espécies lenhosas com o objectivo de acelerar o desenvolvimento da sucessão e do coberto vegetal, a criação de barreiras sonoras, as drenagens, etc.

A combinação de uma ou mais técnicas permite a maximização dos objectivos técnicos (estabilização, cobertura) com objectivos de natureza estética, de conservação da natureza ou de segurança ambiental (protecção contra o ruído, filtração de poluentes atmosféricos, etc.).

## 2 INSTABILIDADE DE ENCOSTAS E TALUDES

Quando se fala da instabilidade de encostas e domínios de intervenção da Engenharia Natural, estamos lidando com dois tipos de fenómenos: a erosão superficial e instabilidade das encostas (Fig. 2.1).

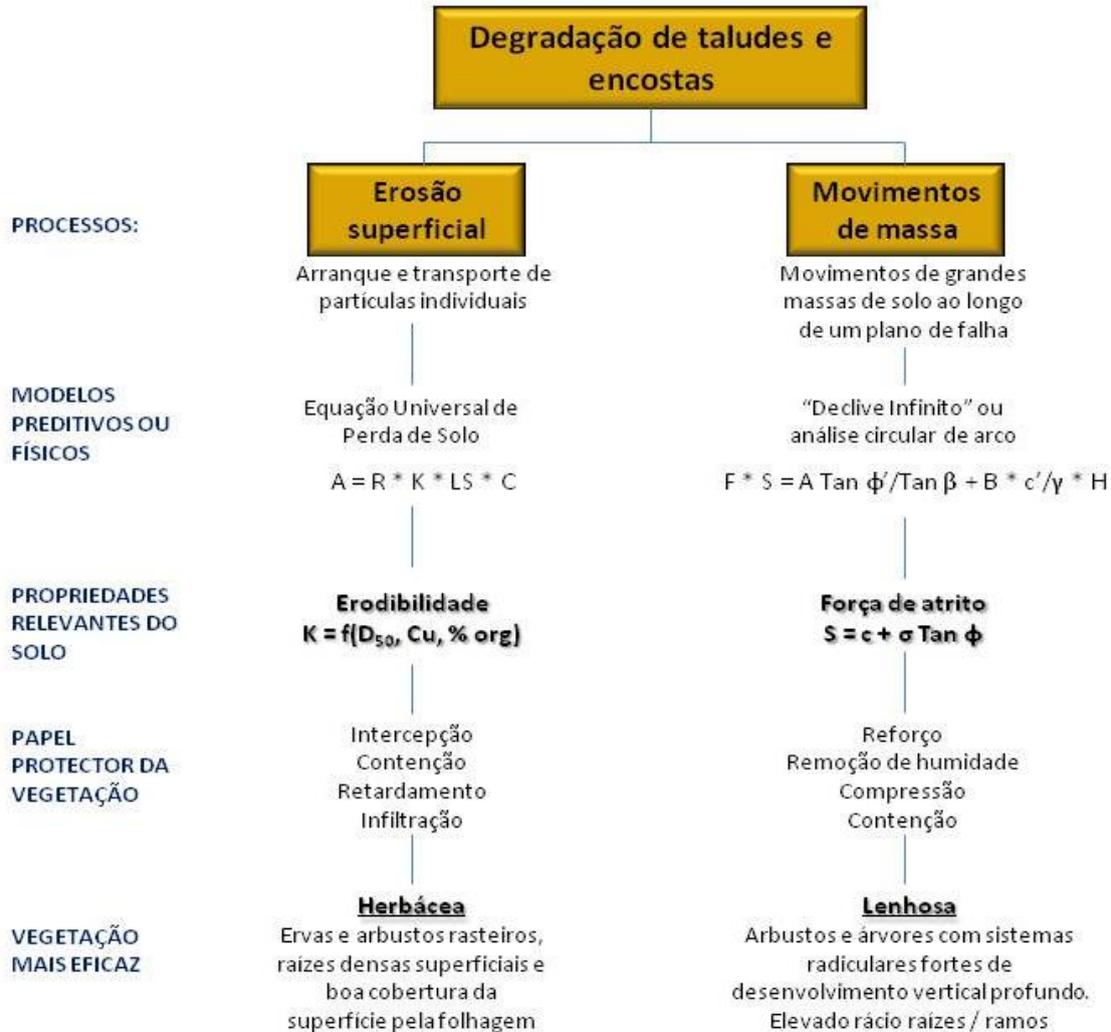


Fig 2.1 Os processos de degradação das encostas, fatores determinantes e vegetação mais eficaz

### 2.1 Movimentos de massa

Um aluimento, também designado como um deslizamento de terra, é um fenómeno geológica que inclui uma vasta gama de movimentos do terreno, tal como a queda de rochas, ruptura profunda da escarpa ou da encosta e fluxos de detritos superficiais (avalanches de pedras ou de terra e pedras). Deslizamentos de terra podem ocorrer no mar, na costa e, de particular preocupação, em terra. Embora a ação da gravidade seja a principal força motriz para um deslizamento ocorrer, há outros fatores que afetam a estabilidade original do talude. Tipicamente existem factores prévios a um deslizamento que

aumentam progressivamente a instabilidade do maciço e vão potenciando a situação de ruptura (meteorização natural das rochas, infiltração, erosão da base do maciço (frequente em deslizamentos de escarpas costeiras), transporte natural de partículas finas por escoamento subterrâneo ou subsuperficial (“piping”), ...). O deslizamento ocorre quando esses factores atingem o limite de resistência do maciço ou de zonas ou planos de menor coesão e existe um factor extra de tensão ou de redução da resistência do maciço (construção ou aterro no coroamento do maciço, aumentando a sua massa para além da força de resistência à ruptura, corte na base do talude reduzindo a massa resistente às forças gravíticas, aumento da altura do lençol freático, ...).

### **2.1.1 Noções básicas de Mecânica dos Solos**

O princípio da tensão efetiva tal como definido por Terzaghi explica que a deformação dos solos é uma função de tensões efetivas e tensões não totais. Além disso, o princípio da tensão efetiva apenas se aplica à tensão normal e não às tensões de cisalhamento. Tensão de cisalhamento pode ser definida como a tensão aplicada paralelamente ao plano do solo e é calculada dividindo a força aplicada sobre uma área de corte transversal. A tensão efetiva não pode ser um valor negativo devido ao facto de que os solos não podem manter a tensão. No entanto, a pressão de percolação da água dos poros pode ser positiva ou negativa à medida que a água flui através das partículas do solo numa massa de solo que exerce uma força de atrito sobre as partículas do solo. A força de atrito que atua sobre as partículas do solo é determinada pela água de percolação. Quando a infiltração ocorre descendentemente atua na mesma direção das tensões efetivas gravitacionais, o que provoca uma diminuição da tensão efetiva dentro do solo. Por outro lado, quando a infiltração ocorre ascendentemente (ascensão capilar), o oposto ocorre, e há um aumento na tensão efetiva. Quando a pressão da água dos poros é igual à tensão normal nesse ponto, a tensão efetiva será zero fazendo com que o solo não tenha qualquer resistência de atrito à deformação. Além disso, o solo terá muito pouca força e falhas nas encostas neste momento são comuns. Zero tensão eficaz e de infiltração ascendente estão também associados com a liquefação. o solo terá muito pouca força e inclinação falhas neste momento são comuns. Tensão efectiva igual a zero e infiltração ascendente estão também associadas com a liquefação.

### **2.1.2 Estabilidade de taludes e factor de segurança**

Um método de calcular o factor de segurança de um talude é usando o pressuposto de um talude infinito para simplificar os cálculos. Como o nome implica, um talude infinito assume dimensões que se estendem ao longo de uma distância infinita e lida com superfícies de deslizamento plana. Para cada bloco vertical assume-se que as mesmas forças agem sobre ele. O factor de segurança é calculado pelas forças de condução, ou a força de cisalhamento do solo, dividido pelas forças de resistência. A resistência ao cisalhamento é baseada no critério de ruptura de Mohr-Coulomb em que resistência ao cisalhamento mínima corresponde ao ângulo de fricção interna. O método é uma expressão bidimensional de um processo tridimensional. Para tal o talude ou encosta em estudo é dividido num número mais ou menos arbitrário de fatias verticais que exprimam as variações internas registadas no talude. De seguida Por exemplo no método de Bishop calculam-se as tensões actuantes sobre cada fatia sendo que o factor de segurança (FS) que exprime a estabilidade ou instabilidade do talude em

análise e que corresponde à operação do ângulo efectivo de fricção interna, a massa total da fatia incluindo qualquer força externa nela actuante (árvores, por exemplo), a pressão da água nos poros na base da fatia, a força de cisalhamento entre cada fatia, o momento da força e a inclinação do plano de deslizamento. O factor de segurança pode ser definido pelas forças de resistência divididas pelas forças actuantes. Um factor de segurança inferior a 1 significa que o talude está em ruptura enquanto um factor de segurança superior a 1 significa que o talude está estável.

### Factores que influenciam a estabilidade de taludes

As rupturas nos taludes são iniciadas por uma variedade de causas, incluindo: forças naturais, erro de julgamento e atividades humanas e animais escavadores. Uma falha de talude ingremes, paisagens montanhosas podem resultar em deslizamentos rasos. Este é o processo de erosão comum nestes ambientes e muitas vezes é composta por sedimentos coluviais. À medida que fluxo de detritos acumula ao longo do caminho longo para baixo, deposita sedimentos e vasculha o talude ao longo do caminho. Deslizamentos superficiais podem ter grandes implicações quando ocorrem perto de bens humanos. A qualidade da água e habitat dos peixes estão em risco, e em áreas onde encostas instáveis fazem fronteira com a atividade humana, infraestruturas e bem-estar humano estão em jogo também. A seguir estão algumas das atividades comuns, humanas ou naturais, induzidas que comprometem a estabilidade de um talude.

### Gravidade

A força principal responsável pelo movimento de massas é a gravidade. A gravidade é a força que age em todos os lugares na superfície da Terra, puxando tudo em direção ao centro da Terra. Sobre uma superfície plana a força da gravidade atua para baixo. Assim, desde que o material permaneça na superfície plana não irá mover-se sob a força da gravidade (Fig. 2.2).

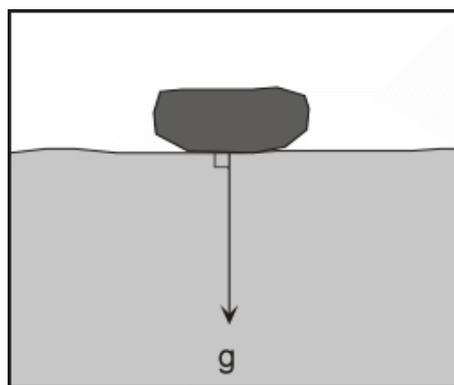


Fig. 2.2 Ilustração da força da gravidade numa superfície plana

É claro que, se o material que forma a superfície plana se tornar fraco ou falhar, então a massa não suportada irá mover-se para baixo.

Numa superfície inclinada, a força da gravidade divide-se em dois componentes: uma componente atuando perpendicularmente à inclinação e uma componente atuando tangencialmente à inclinação.

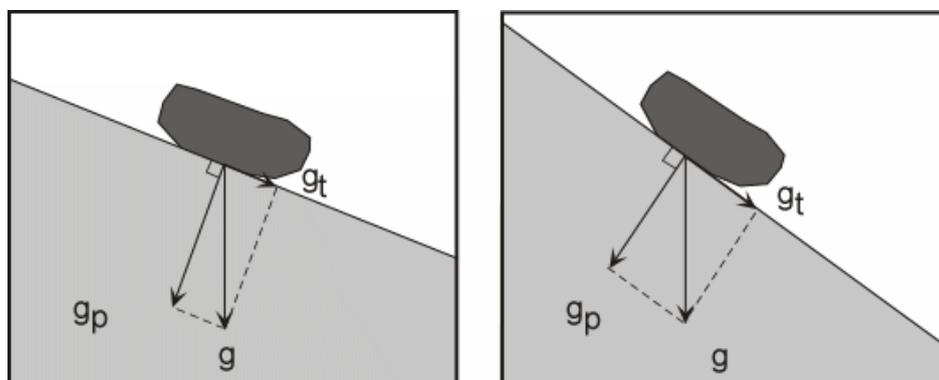


Fig. 2.3 Ilustração da força da gravidade numa superfície inclinada

- ☐ A componente perpendicular da gravidade,  $g_p$ , ajuda a manter o objeto no sítio na encosta. A componente tangencial da gravidade,  $g_t$ , causa uma tensão de cisalhamento paralela à inclinação que puxa o objeto no sentido da cota maior para a menor paralelo ao declive;
- ☐ Num declive mais acentuado, a tensão de cisalhamento ou componente tangencial da gravidade,  $g_t$ , aumenta, e a componente perpendicular da gravidade,  $g_p$ , diminui;
- ☐ As forças de resistência ao movimento de escorregamento são agrupadas sob o termo força de cisalhamento, que inclui a resistência de atrito e coesão entre as partículas que constituem o objeto;
- ☐ Quando a tensão de cisalhamento se torna maior do que a combinação de forças que mantêm o objeto na encosta, o objeto irá mover-se no sentido da cota maior para a menor;
- ☐ Em alternativa, se o objeto consiste de um conjunto de materiais como solo, argila, areia, etc, se a tensão de corte se torna maior do que as forças de coesão que mantêm as partículas juntas, as partículas irão separar-se e mover-se ou a fluir declive abaixo.

Assim, o movimento de deslizamento ao longo da encosta é favorecido por ângulos mais inclinados que aumentam a tensão de cisalhamento, e tudo o que reduz a resistência ao corte, tal como a redução da coesão entre as partículas ou diminuição da resistência ao atrito. Isso é muitas vezes expresso como o fator de segurança, FS, a razão da força de cisalhamento para tensão de cisalhamento.

**FS = Força de cisalhamento / tensão de cisalhamento**

A tensão cisalhamento consiste nas forças que mantêm o material na inclinação e pode incluir o atrito, e as forças de coesão que seguram a rocha ou solo em conjunto. Se o fator de segurança (FOS) ficar menor do que 1,0 é de esperar um deslizamento de terras. O Factor de segurança pode ser calculado por diversas equações (todas seguinte o método das fatias, como é o caso da equação de Greenwod:

$$FOS = \frac{c + \cos^2 \alpha [\gamma_s (d_p - d_w) + (\gamma_s - \gamma_w) d_w] \tan \phi}{d_p \gamma_s \sin \alpha \cos \alpha}$$

em que  $c$  é a coesão,  $\alpha$  é o ângulo de inclinação,  $\gamma_s$  e  $\gamma_w$  são os pesos específicos do solo e da água,  $d_p$  é a espessura do solo acima do plano de falha,  $d_w$  é a espessura do solo saturado acima do plano de falha, e  $\phi$  é o ângulo de atrito interno.

Informação complementar

<https://youtu.be/xg-Gw1NrKX8> <https://youtu.be/bR-z7mG344w>

## Erosão

O desgaste e o transporte de sólidos em taludes naturais são um processo contínuo. A erosão altera a geometria de uma encosta onde se pode levar à rutura do talude. Num exemplo silvícola, a erosão normalmente é vista quando o solo é fortemente compactado após a colheita. A exploração florestal exacerba a erosão, expondo solo mineral e removendo o solo. O chão da floresta protege o solo subjacente do impacto das gotas da chuva e ajuda a absorver a água. As estradas também levam ao aumento das taxas de erosão, alterando o padrão de drenagem natural.

## Características da encosta

**Altura:** A altura de uma encosta pode geralmente promover o risco de deslizamento de terra. Embora a força dos sedimentos dependa de vários factores, quanto mais espesso o depósito de sedimentos, mais provavelmente o seu peso irá provocar o movimento do subsolo ou deslizamento que conduza a um deslizamento de terras. O risco de um deslizamento de terras é tanto maior quanto maior for a inclinação da encosta.

**Tipo de material:** O material de solo que compõe uma encosta influencia o risco de ocorrência de um deslizamento de terras. Argila e sedimentos barrentos são os materiais mais instáveis que podem fazer uma encosta. Estes sedimentos de grão fino têm pouca coesão e são propensos a originarem todo o tipo de movimentos de terra desde os fluxos lentos até aos grandes aluimentos. Arenitos e depósitos de cascalho tendem a ser mais consistentes. São materiais menos propensos a escorregamentos ou aluimentos.

**Declive:** O ângulo de inclinação varia devido a factores tais como o tipo de sedimento e a taxa de erosão na base do declive. O declive também é afetado pela história de quedas e deslizamentos de terra no local. Algumas encostas são uniformemente em linha reta, enquanto outras são irregulares devido a movimentos de terras. Em geral, quanto maior a inclinação, mais fácil é para a gravidade para iniciar um deslizamento de terras.

**Vegetação:** Tipos, formas e distribuição da vegetação numa encosta e acima podem ser usados como uma indicação de estabilidade da área. Em áreas onde o solo se moveu, quer devido a deslizamentos

de terras anteriores ou arrastamento da superfície gradual, muitos troncos de árvores podem inclinar-se ou torcer na mesma direção. Troncos curvados ao nível das raízes indicam, muitas vezes, antigos escorregamentos. Vegetação natural que consiste apenas de pequenos arbustos e árvores pode indicar erosão de encostas ou um deslizamento de terras.

**Base rochosa:** As rochas cristalinas são mais estáveis e geralmente muito menos susceptíveis à erosão do que as rochas sedimentares. Afloramentos de rochas cristalinas constituem obstáculos de retenção da erosão e previnem deslizamentos. Maciços de rochas cristalinas são susceptíveis a despenhamento de blocos. Rochas sedimentares têm, segundo a sua tipologia, uma susceptibilidade variável a deslizamentos, aluimentos ou desmoronamento de blocos.

### 2.1.3 Forças actuantes potenciadoras de um deslizamento

#### Condições naturais

##### O Papel da Água

Embora a água nem sempre esteja diretamente envolvida como o meio de transporte em processos de movimentos de massa, não deixa de desempenhar um papel importante.

A água torna-se importante por várias razões.

A adição de água da chuva ou neve derretida acrescenta peso à encosta. A água pode infiltrar-se no solo ou rocha e substituir o ar no espaço dos poros ou fraturas. Como a água é mais pesada que o ar, aumenta o peso do solo. O peso é a força, e força é tensão dividida pela área, então a tensão aumenta e isso pode levar à instabilidade de taludes.

A água tem a capacidade de alterar o ângulo de repouso (o ângulo de inclinação que é o ângulo estável para a inclinação).

Grãos secos não consolidados formarão uma pilha com um ângulo de inclinação determinado pelo ângulo de repouso. O ângulo de repouso é o ângulo mais íngreme em que uma pilha de grãos não consolidadas permanece estável, e é controlado pelo contacto de atrito entre os grãos. Em geral, para materiais secos o ângulo de repouso aumenta com o aumento do tamanho do grão, mas geralmente situa-se entre cerca de 30 e 45 °.

Materiais não consolidados ligeiramente molhados exibem um maior ângulo de repouso porque a tensão superficial entre a água e os grãos sólidos tende a manter os grãos no lugar.

Quando o material fica saturado com água, o ângulo de repouso é reduzido para valores muito pequenos e o material tende a escoar como um fluido. Isso ocorre porque a água fica entre os grãos e elimina o contacto de fricção entre grãos.

A água pode ser adsorvida ou absorvida por minerais no solo. Adsorção, faz com que a molécula de água eletronicamente polar se una à superfície dos minerais. Absorção faz com que os minerais incluam as moléculas de água na sua estrutura. Por adição de água desta forma, o peso do solo ou rocha é aumentado. Além disso, se a adsorção ocorre, o contacto de fricção superficial entre os grãos minerais

pode ser perdido resultando numa perda de coesão, reduzindo assim a resistência do solo.

Em geral, as argilas com maior teor de água têm menor resistência do que as argilas secas, e, assim, a adsorção de água leva à redução da resistência de solos ricos em argila.

A água pode dissolver os cimentos minerais que mantêm os grãos juntos. Se o cimento é feito de calcita, gesso, ou halite, todos os quais são muito solúveis em água, a água que entra no solo pode dissolver este cimento e, assim, reduzir a coesão entre os grãos minerais.

## **Liquefação**

Como já discutido, a liquefação ocorre quando sedimentos soltos se tornam saturados com água e os grãos individuais perdem contacto uns com os outros quando a água fica entre eles.

Isso pode ocorrer como resultado de vibrações de terra (por exemplo em virtude de sismos) ou pode ocorrer quando a água é adicionada em resultado de fortes chuvas ou da fusão do gelo ou neve. Também pode ocorrer gradualmente por infiltração lenta de água em sedimentos soltos e em solos.

A quantidade de água necessária para transformar o sedimento ou solo de uma massa sólida numa massa líquida varia com o tipo de material. Sedimentos ricos em argilas em geral necessitam de mais água, porque a água é primeiramente absorvida pelos minerais de argila, tornando-os ainda mais do tipo sólido, sendo então é necessária mais água para afastar os grãos individuais uns dos outros.

As águas subterrâneas existem em quase toda parte debaixo da superfície da terra. São água que enche os espaços dos poros entre os grãos numa rocha ou solo ou enche fraturas na rocha. O limite superior do freático é a superfície que separa a zona saturada abaixo, em que todo o espaço dos poros é preenchido com água a partir da zona insaturada acima. Mudanças no nível do limite superior do freático ocorrem devido a alterações na precipitação. O limite superior do freático tende a aumentar durante os períodos húmidos quando mais água se infiltra para dentro do sistema, e diminui durante os períodos de seca, quando a água se infiltra menos. Tais mudanças no nível do plano de água podem ter efeitos sobre os fatores descritos acima.

Outro aspeto da água que afeta a estabilidade do talude é a pressão do fluido. À medida que solo e rocha se enterram na terra, os grãos podem reorganizar-se para formar uma estrutura mais compacta, mas a água dos poros é estrangida a ocupar o mesmo espaço. Isto pode aumentar a pressão do fluido para um ponto onde a água acaba a suportar o peso da massa de rocha sobrejacente. Quando isto ocorre, a fricção é reduzida e, assim, a tensão de cisalhamento que prende o material sobre o declive é também reduzida, resultando em falha do declive.

## **Precipitação**

Uma encosta enfrentando períodos prolongados de chuva podem ser suscetíveis a falhas. A precipitação satura, amacia e corrói o solo inserindo-se nas rachaduras do solo e enfraquecendo as camadas do solo devido ao aumento das forças de infiltração. A falha nestes casos pode levar a deslizamentos de terra.

## **Ondas, marés e nível do mar**

Vários processos marinhos afectam o risco de deslizamento ao longo de uma encosta costeira. O aumento gradual, mas contínuo do nível do mar actualmente registado está a provocar a erosão crónica ao longo da base de muitas encostas. Como o nível do mar sobe, a ação das ondas e inundações costeiras pode chegar mais alto e mais para o interior e erodir a base de falésias costeiras. A erosão pode aumentar a inclinação da encosta e torná-la mais suscetível a deslizamentos de terras. As marés também são importantes na erosão e transporte de sedimentos e erosão das praias ou assoreamento de outras zonas. Tempestades, ao criarem vento, ondas e inundações podem acentuar a erosão na base de uma encosta ou de um penhasco, aumentar a inclinação das encostas, e tornar mais provável um deslizamento de terras.

## **Águas superficiais**

A quantidade, tipo e localização das águas superficiais podem influenciar a estabilidade de taludes e podem contribuir para alguns deslizamentos de terras. Pântanos, lagoas e riachos acima da encosta podem fornecer água para a encosta e também para a água subterrânea. A elevação ou topografia da superfície terrestre determina qual o caminho pelo qual a água superficial flui. A água que corre sobre a encosta pode lavar o sedimento, aumentar a inclinação, e enfraquecer os sedimentos restantes segurando a encosta.

## **Freático**

A água subterrânea é proveniente de fontes de superfície, tais como chuva ou de um riacho, ladeira acima na bacia hidrográfica local. A água no solo tende a fluir horizontalmente abaixo da superfície e pode escoar para fora de uma encosta ou escarpa. Ressurgências ou nascentes na face de uma encosta podem contribuir para uma alteração do nível freático e uma consequente alteração das condições de coesão interna do maciço.

## **Intemperismo**

Intemperismo em argila e silte, mas também em rochas consolidadas pode alterar a força e estabilidade. A secagem da argila pode aumentar a resistência ao deslizamento. O ciclo sazonal de congelamento e descongelamento da encosta pode levar a queda após um degelo.

## Materiais problemáticos

Solos de argilas expansivas - Estes são os solos que contêm uma elevada proporção de um tipo de argila mineral chamado esmectite ou montmorillonite. Tais minerais de argila expandem quando ficam molhados quando a água entra na estrutura de cristal e aumenta o volume do mineral. Quando tais argilas secam, a perda de água faz com que o volume diminua e as argilas encolham ou compactem (este processo é referido como hidrocompactação) (Fig. 2.4).

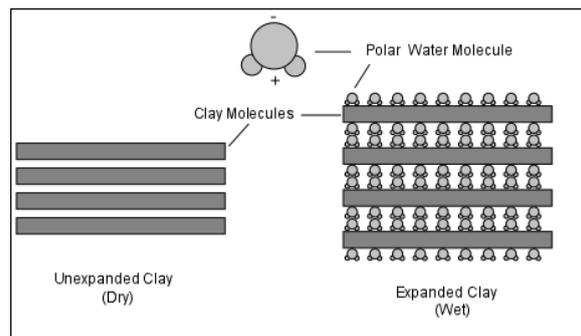


Fig. 2.4 – ilustração do processo de expansão das argilas montmoriloníticas

Um outro material que apresenta inchaço e compactação semelhante como um resultado da adição ou remoção de água é a turfa. A turfa é material orgânico rico acumulado no fundo dos pântanos como decomposição da matéria vegetal.

Em alguns solos, os minerais de argila são dispostos de forma aleatória, com muito espaço poroso entre os grãos individuais. Esta é muitas vezes referida como uma estrutura de "castelo de cartas". Muitas vezes, os grãos são mantidos nesta posição por sais (tais como o gesso, a calcite, ou halite) precipitados no espaço de poros que "colam" as partículas em conjunto.

Como a água se infiltra para dentro dos espaços dos poros, tal como discutido acima, pode tanto ser absorvido para os minerais de argila, e pode dissolver os sais que prendem o "castelo de cartas" juntos (Fig. 2.5).

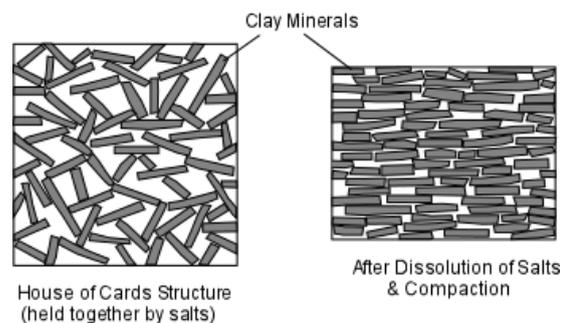


Fig. 2.5 efeito de desconstrução estrutural de alguns tipos de solos quando a água dissolve os sais que lhes conferem estrutura

A compactação do solo ou agitação do solo pode, portanto, causar uma mudança rápida na estrutura do material. Os minerais de argila alinhar-se-ão uns com os outros e o espaço aberto será reduzido.

Mas isso pode causar uma perda de tensão de cisalhamento do solo e resultar numa Falha num plano de escorregamento ou numa situação de liquefação.

Algumas argilas, chamadas argilas tixotrópicas, quando, sem perturbação, podem fortalecer a sua estrutura, quando perturbadas perdem a sua resistência ao cisalhamento. Assim, pequenos sismos ou vibrações causadas por seres humanos ou o vento podem de repente causar uma perda de resistência em tais materiais.

### **Materiais e estruturas frágeis**

Planos de estratificação – São essencialmente os planos de base de rochas sobrepostas de diferentes naturezas ou separadas por uma camada muito pouco espessa de um material que molhado pode funcionar como lubrificante. Esses planos são, pois, susceptíveis de sofrerem deslizamento, particularmente quando ocorrer a lubrificação dos planos de separação pela intrusão de água. No diagrama abaixo, observe como a inclinação acima da estrada à esquerda é, inerentemente, menos estável do que a inclinação acima da estrada à direita.

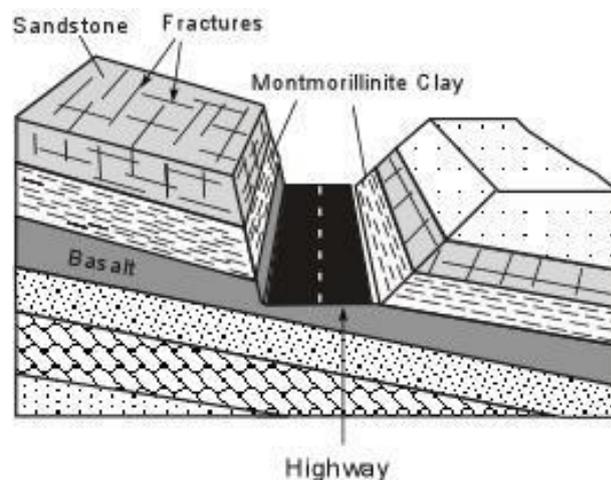


Fig. 2.6 – Ilustração de uma situação de risco induzido pelo corte de estratos inclinados

Camadas frágeis - Algumas rochas são mais resistentes do que outras. Particularmente, os minerais de argila geralmente tendem a ter uma baixa resistência ao cisalhamento. Se ocorrer uma rocha ou solo entre as rochas ou solos mais fortes, a camada mais fraca será o lugar mais provável para a falha ocorrer, especialmente se a camada mergulha como se mostra na ilustração acima. Da mesma forma, a areia solta não consolidada não tem qualquer força de coesão. Uma camada de areia separando dois planos rochosos torna-se então uma camada potencialmente desestabilizante.

Planos de foliação - Durante o metamorfismo da rocha, o stress diferencial faz com que folhas de

minerais de silicato, como minerais de argila, biotite e moscovite, se desenvolvam com as suas folhas paralelas uma à outra. Isto resulta na rocha tendo uma foliação ou xistosidade. Uma vez que estes silicatos podem facilmente perder a sua coerência paralelamente à sua estrutura em folha, a foliação ou xistosidade pode tornar-se uma superfície de deslizamento, em especial se mergulha na direção do declive (Fig. 2.7).

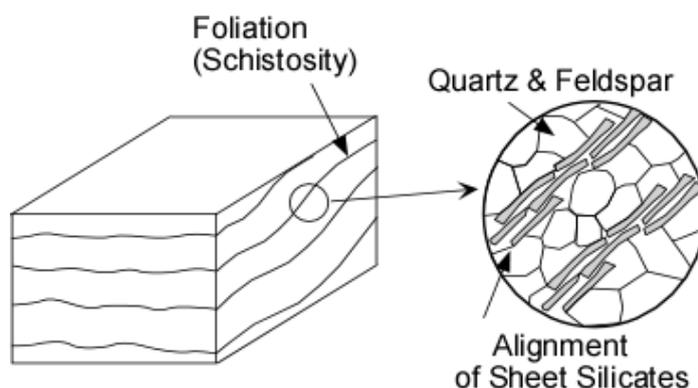


Fig. 2.7 – Ilustração das estruturas de xistosidade que podem propiciar deslizamentos

Em resumo, os principais fatores que afetam a estabilidade de taludes são:

- ☐ Força do solo e rochas;
- ☐ Tipo de solo e estratificação;
- ☐ Descontinuidades e camadas frágeis.
- ☐ Camada superior dos lençóis freáticos e infiltração através da encosta;
- ☐ Cargas externas;
- ☐ Geometria da encosta.

### Atividade humana

**Uso do solo:** A atividade humana e uso do solo podem contribuir para ou reduzir o risco de um deslizamento de terras. Atividades que aumentem o escoamento na crista e superfície de uma encosta, superfícies regadas e aumento do declive de encostas ajuda os processos desestabilizadores naturais. A água superficial, recolhida por telhados, calçadas, caminhos e relvados flui superficial e sub-superficialmente causando erosão e, por meio de infiltração, a perda de coesão. Qualquer intervenção numa encosta que concentre o escoamento (como valas ou trilhos) são factores de concentração do fluxo do escoamento com os riscos inerentes.

A água numa encosta (e no interior do maciço) pode provir de rupturas de tubagens, drenos, canaletas e sistemas de drenagem ou de infiltração de água residuais. Esta água altera a coesão do maciço e

contribui para fraquezas internas que propiciam o deslizamento. A ocorrência de importantes ressurgências (originando “piping”) aumentam igualmente o risco estrutural.

A remoção da vegetação pode levar a uma maior erosão resultando em numa superfície mais íngreme que é mais propensa a deslizamentos. A vegetação tende a remover a água do solo, fortalecer o solo com as raízes, e diminuir o impacto da forte chuva na superfície.

Adicionando peso no topo de uma encosta pode aumentar o risco de um deslizamento de terras. Edifícios, paisagismo, ou outras construções na parte superior da encosta aumentam as forças propiciadoras dum deslizamento de terras. Saturando o solo com água que aumenta o lençol freático também adiciona peso. Até a vibração do terreno, assim como a perfuração de poços ou escavação profunda, podem localmente aumentar o risco de um deslizamento de terras.

Em geral, as atividades humanas que aumentam a quantidade ou taxa de processos naturais pode, de várias maneiras, contribuir para o risco de deslizamento de terras.

### **2.1.5 Eventos desencadeadores de movimentos de massa**

As causas dos deslizamentos de terra estão normalmente relacionadas com instabilidades nas encostas. Em geral, é possível identificar uma ou mais causas de deslizamento e um factor determinante do deslizamento de terra. A diferença entre estes dois conceitos é subtil, mas importante. As causas de deslizamento são as razões pelas quais ocorreu um deslizamento de terra nesse local e, nesse momento. As causas de deslizamento de terra estão listadas na tabela a seguir, e incluem fatores geológicos, morfológicas, físicos e fatores associados com a atividade humana.

As causas podem ser consideradas fatores que tornaram a encosta vulnerável a falhas, que predisõem a instabilidade da encosta. O factor de desencadeamento da ruptura é o evento que determina início do deslizamento de terra. Assim, as causas combinam-se para tornarem uma encosta vulnerável ao desabamento, e o factor de ruptura inicia o movimento. Os deslizamentos de terra podem ter muitas causas, mas ter apenas um factor de ruptura. Normalmente, é relativamente fácil determinar o factor de ruptura após o deslizamento de terra ocorrer (embora seja geralmente muito difícil fazê-lo previamente ao deslizamento, podendo-se identificar quer a existência de risco ou de propensão para o escorregamento e, particularmente, acções que podem determinar a ruptura).

Um movimento de massa pode ocorrer sempre que uma encosta se torna instável. Às vezes, como no caso do deslizamento e solifluxão, a encosta é sempre instável e o processo é contínuo. Mas outras vezes, eventos desencadeadores podem ocorrer causando uma instabilidade repentina. Aqui vamos discutir os principais eventos desencadeadores, mas deve-se ter a noção de que se uma encosta está muito perto da instabilidade, apenas um evento menor pode ser necessário para causar uma falha e desastre. Isso pode ser algo tão simples como uma formiga removendo o único grão de areia que mantém a encosta no lugar.

## **Deslizamentos de terra e água**

A saturação das encostas por água é a principal causa de deslizamentos. Este efeito pode ocorrer na forma de chuvas intensas, neve derretida, mudanças nos níveis de água subterrânea, mudanças de nível de água ao longo da orla costeira, de barragens ou diques de terra, das margens de lagos, reservatórios, canais e rios.

Os deslizamentos e inundações estão intimamente ligados porque ambos estão relacionados à precipitação, escoamento e saturação de solo por água. Além disso, os fluxos de detritos e lama geralmente ocorrem nos canais de água pequenos, íngremes e muitas vezes são confundidos com cheias; na verdade, esses dois eventos, muitas vezes ocorrem simultaneamente na mesma área.

Os aluimentos podem provocar inundações através da formação de diques de escombros que bloqueiam vales e cursos de água, permitindo grandes quantidades de água represada e risco de cheias se houver rupturas. Isto provoca inundações e, se a barragem falhar, posteriores inundações a jusante. Além disso, o deslizamento de detritos sólidos pode acrescentar volume e densidade aos fluxos normais ou causar bloqueios e desvios do canal, criando condições de inundação ou erosão localizada. Os deslizamentos também podem causar o ultrapassar da capacidade de reservatórios e/ou capacidade reduzida de reservatórios para armazenar água.

## **Choques**

Um choque repentino, como um terremoto pode desencadear instabilidade de taludes. Choques menores, como caminhões pesados andando na estrada, árvores balançando com o vento, ou explosões causadas por humanos feitas explosões também podem causar episódios de movimento de massas.

Os sismos aplicam carga sísmica que reduz a resistência ao cisalhamento nos solos. Estas forças de cisalhamento fazem com que os grãos do solo se compactem, reduzindo os poros do solo. Depois a água preenche rapidamente os espaços entre os grãos do solo. Isto acontece tão rapidamente que, mesmo solos de granulação grossa não podem dissipar as pressões do excesso de água dos poros. Este fenómeno é conhecido como liquefação. Por vezes, as forças dinâmicas são tão grandes que a pressão da água dos poros é aumentada para valores próximos de stress vertical total, resultando na tensão total efetiva a aproximar-se de zero.

## **Cargas sobre a parte superior da encosta**

Alterando as cargas sobre a parte superior da encosta (construções, depósitos, etc.) aumentam as forças de gravidade que atuam sobre o declive determinando uma maior pressão sobre as forças de resistência. Cargas colocadas no topo de uma encosta aumentam a carga gravitacional e podem causar falha da encosta. Por outro lado, cargas colocadas no sopé do talude, também conhecido como berma, aumentam a estabilidade do talude. Empilhando rochas, por exemplo, na berma de uma encosta pode ajudar a estabilizar encostas frágeis. Embora as fendas de tensão possam não ser sempre um fator

significativo em falhas de taludes, elas são dignas de menção, porque são bastante comuns. Em primeiro lugar, uma fenda de tensão modifica a superfície de deslizamento. Quando uma fenda de tensão está presente, a superfície de deslizamento intersecta a base da fenda de tensão e não a superfície da base da estrada. Em segundo lugar, quando uma fenda de tensão é cheia com água, há uma pressão hidrostática aplicada ao longo da profundidade da fenda. O resultado é uma diminuição no fator de segurança devido a um momento crescente de força. Por último, a fenda de tensão proporciona uma abertura para a água escoar através da encosta e em camadas de solo subjacente. Isso pode induzir forças de percolação, que comprometem a encosta.

### Alteração do balanço hídrico interno da encosta

Alterando a drenagem, aumentando a infiltração rápida ou a alteração do nível da água subterrânea determinam mudanças na coesão dos materiais da encosta e a resistência ao cisalhamento derivada.

### Modificação da encosta

A modificação de uma encosta, quer por seres humanos ou por causas naturais pode resultar na mudança do ângulo de declive de modo a que já não esteja no ângulo de repouso. Um evento de movimento de massa pode então restaurar a encosta ao seu ângulo de repouso.

### Desgaste da base

Linhas de água erodindo a base das margens de linhas de água, ou a acção das ondas na base de uma falésia costeira podem originar um deslizamento ou um desmoronamento (Fig. 2.8). (Nas vias de água navegáveis as ondas provocadas pelos navios têm efeitos semelhantes aos dos das ondas marinhas.

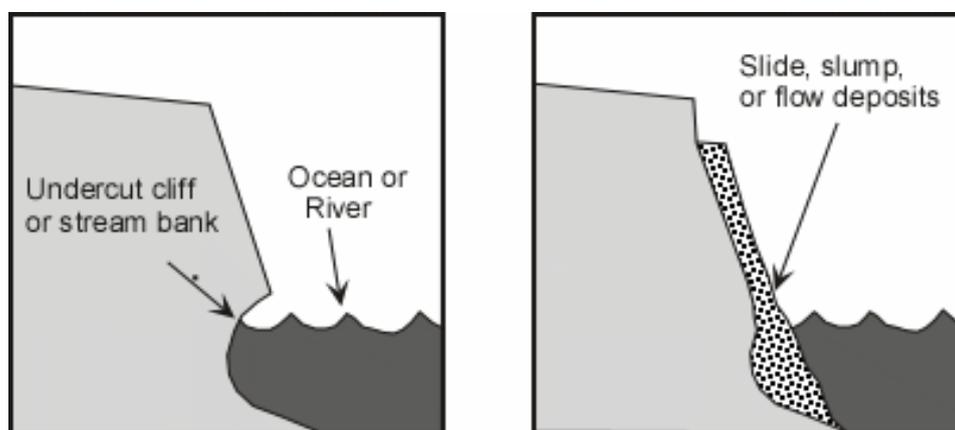


Fig. 2.8 Ilustração da instabilização de uma margem ou de uma falésia costeira por acções da torrente

ou das ondas.

A escavação da base é particularmente importante quando a construção de infra-estruturas exige mais espaço e, portanto, é necessário remover a base das encostas adjacentes. A consolidação inadequada destes cortes é uma das principais causas humanas de derrocadas.

### **Sistemas de fraturas**

Sistemas de fraturas nas rochas correndo paralela e perpendicularmente aos planos de estratificação.

### **Erupções vulcânicas**

Produzem choques como explosões e terremotos. Também causam degelo ou lagoas vazias, libertando rapidamente grandes quantidades de água que, misturada com o rególito pode reduzir a dimensão dos grão e originar fluxos de pedras, de lama e deslizamentos de encostas. Os deslizamentos de terra devido à atividade vulcânica são dos tipos mais devastadores. A lava vulcânica pode derreter a neve muito rapidamente, causando um dilúvio de rochas, solo, cinzas e água que acelera rapidamente nas encostas íngremes dos vulcões, devastando qualquer coisa no seu caminho. Estas correntes de detritos vulcânicos (também conhecidas como “lahar”) atingem grandes distâncias, desde que deixam os flancos do vulcão, e podem danificar estruturas nas áreas planas que rodeiam os vulcões.

### **Mudanças na coesão da encosta**

Qualquer coisa que age para mudar de repente ou gradualmente a coesão da encosta também pode ser um evento desencadeador. Por exemplo, a desagregação cria materiais mais fraco e, portanto, conduz a uma falha da encosta.

### **Alterações do coberto vegetal**

A vegetação mantém o solo no lugar e retarda o fluxo de água. Árvores têm raízes que seguram o solo e fortalecem as encostas. A remoção de árvores e vegetação, quer por seres humanos ou por um incêndio florestal, muitas vezes resulta em falhas das encostas na próxima estação chuvosa.

Em resumo, as principais causas das rupturas das encostas são:

- Erosão;
- Precipitação;

- Terramotos;
- Fatores geológicos;
- Cargas externas;
- Atividades de construção, como escavação e enchimento de encostas;
- Abaixamento rápido do nível freático no maciço;
- Incremento da pressão da água dos poros;
- A mudança na topografia;
- Mudança de drenagem e infiltração;

Tab. 2.1 Principais causas de aluimentos movimentos de terra em geral

<p><b>Causas geológicas</b></p> <p>Materiais susceptíveis aos processos de meteorização  Materiais fracturados  Materiais fissuradas  Descontinuidade orientadas no sentido das forças de instabilidade  Contrastes de permeabilidade entre camadas  Contrastes de materiais entre camadas  Chuva e queda de neve  Terramotos</p> <p><b>Causas morfológicas</b></p> <p>Ângulo de inclinação  Elevação  Ressalto  Erosão fluvial  Erosão marítima  Erosão glacial  Erosão de margens laterais subterrâneo Erosão subterrânea  Acumulação de materiais no coroamento das encostas  Mudanças da vegetação  Erosão</p>	<p><b>Causas físicas</b></p> <p>Chuvas intensas  Rápida fusão da neve  Precipitação prolongada  Abatimento rápido  Terramotos  Erupção vulcânica  Degelo  Ciclo de congelamento - descongelamento  Mudanças nos lençóis freáticos  Pressão da água dos poros do solo  Escoamento superficial  Atividade sísmica  Erosão do solo</p> <p><b>Causas humanas</b></p> <p>Escavação  Aterros  Abatimentos  Uso do solo (por exemplo, construção de estradas, casas, etc.)  Gestão da água  Exploração mineira  Pedreiras  Vibração  Desmatamento  Perda de água  Usos do solo padronizados Poluição</p>
--	---

### 2.1.6 Avaliar e mitigar os riscos de movimentos de massas

Como vimos aberturas de movimentos de massas podem ser extremamente perigosas e resultar em extensas perdas de vidas e bens. Mas, na maioria dos casos, as áreas que são propensas a tais riscos

podem ser determinadas com algum conhecimento geológico, encostas podem ser estabilizadas ou evitadas, e sistemas de alerta podem ser colocados podendo minimizar tais riscos.

### **Avaliação de risco**

Há geralmente há indicações do risco de escorregamento sob a forma de depósitos distintos e estruturas geológicas deixadas pelos acontecimentos de movimentos de massa recentes, sendo possível, se houver recursos disponíveis, a construção de mapas de todas as áreas propensas a possíveis riscos movimento de massas.

Os planeadores podem usar esses mapas de risco para tomar decisões sobre as políticas de uso do solo nessas áreas ou, como será discutido a seguir, podem ser tomadas medidas para estabilizar encostas para tentar evitar um desastre.

### **Predição**

A previsão, a curto prazo, de eventos de movimento de massa é um pouco mais problemática. Para eventos desencadeadores de terremotos, estão presentes os mesmos problemas que são inerentes à previsão de terremotos. A instabilização de encostas e os eventos desencadeadores exigem a atenção constante dos responsáveis. Os rios de movimentos de massas decorrentes de erupções vulcânicas podem ser previstos com o mesmo grau de certeza que erupções vulcânicas podem ser previstas, mas, novamente, a ameaça tem de ser reconhecida e avisos emitidos. Condições hidrológicas, tais como precipitação intensa podem ser previstas com alguma certeza, e avisos podem ser emitidos para áreas que podem ser suscetíveis a processos de movimentos de massa causados por tais condições. Ainda assim, é difícil saber exatamente quais das milhões de altas encostas que existem estarão vulneráveis a eventos provocados por precipitação intensa.

Alguns sinais de alerta podem ser reconhecidos individualmente por observações de coisas ao seu redor:

- ❑ Nascentes, infiltrações, ou solo saturado em áreas que não são tipicamente molhadas;
- ❑ Novas rachaduras ou protuberâncias incomuns no chão, pavimentação de ruas ou calçadas;
- ❑ Solo afastando-se de fundações;
- ❑ Estruturas auxiliares, tais como decks e pátios inclinados e / ou em movimento em relação à casa principal;
- ❑ Inclinações ou rachaduras nos pisos de cimento e fundações;
- ❑ Linhas de água interrompidas e outras utilidades subterrâneas;
- ❑ Postes, árvores, muros ou cercas inclinadas;
- ❑ Deslocamento de linhas de cerca;

- ☐ Desabamento ou abatimento dos pisos de estrada;
- ☐ Aumento rápido nos níveis de água dos afluentes, possivelmente acompanhados pelo aumento da turbidez (teor de solo);
- ☐ Diminuição repentina nos níveis de água dos afluentes embora ainda esteja chovendo ou a precipitação tenha parado recentemente;
- ☐ Portas ou janelas encravadas, rachas e fissuras visíveis indicando deslocamentos da perpendicular;
- ☐ Um fraco ruído surdo que aumenta de volume é perceptível quando o deslizamento se aproxima;
- ☐ Sons incomuns, tais como árvores rachando ou pedregulhos batendo uns nos outros, pode indicar detritos em movimento;

### **Prevenção e Mitigação**

Todas as encostas são suscetíveis a riscos de movimentos de massa se um evento desencadeador ocorre. Assim, todas as encostas devem ser avaliadas para potenciais perigos de movimento de massas. Movimento de massas às vezes podem ser evitados através do emprego de técnicas de engenharia para tornar a encosta estável. Entre elas estão:

- ☐ Contenção;
- ☐ Cobertura;
- ☐ Drenagem;
- ☐ Remodelação.

**No entanto, algumas encostas não podem ser estabilizadas. Nestes casos, os seres humanos devem evitar estas áreas ou usá-las para fins que não aumentem a suscetibilidade de vidas ou bens para os perigos dos movimentos de massas.**

#### **2.2.1 Principais tipos de aluimentos**

##### **Fluxos de detritos**

O material da encosta que se torna saturado com água pode tornar-se num fluxo de detritos ou fluxo de lama. A massa liquefeita de rochas e lama resultante pode atingir árvores, casas e carros bloqueando, assim, pontes e afluentes causando inundações ao longo do seu caminho. Os fluxos de detritos são, muitas vezes, confundidos com enchentes, mas são processos completamente diferentes.



Fig. 2.9 Canal de fluxo de detritos com depósitos à esquerda depois das tempestades de 2010 em Ladakh, NW Himalaias indianos

Os fluxos lamacentos em áreas alpinas causam danos graves a estruturas e infraestruturas e, muitas vezes, ceifam vidas humanas. Podem começar como o resultado de fatores relacionados com a encosta e os deslizamentos superficiais podem danificar os leitos, resultando no bloqueio temporário da água. Quando as represas aluem ou são destruídas, um “efeito de dominó” pode ser criado, com um crescimento notável do volume da massa da corrente, a qual carrega, simultaneamente todos os detritos (solo, pedras, rochas, árvores, etc. para o canal a jusante. A mistura sólido-líquida pode atingir densidades até 2 toneladas/m<sup>3</sup> e velocidades até 14 m/s. Esses processos normalmente causam as primeiras interrupções graves das estradas, devido não só aos depósitos acumulados na estrada (que podem chegar a centenas de metros cúbicos), e em alguns casos, a evacuação completa de pontes ou estradas ou ferrovias que cruzam o canal de corrente. Os danos, normalmente, derivam de uma subestimação comum das correntes de lama-detritos: nos vales alpinos, por exemplo, as pontes são frequentemente destruídas pela força de impacto da corrente porque a sua amplitude é geralmente calculada apenas para uma descarga de água. Numa pequena bacia hidrográfica nos Alpes italianos (área = 1.76 km<sup>2</sup>) que foi afectada por um aluimento, verificou-se uma ponta de cheia de 750 m<sup>3</sup>/s numa secção a jusante da zona do aluimento. Na mesma secção, em condições normais o pico de cheia estimado seria de 19 m<sup>3</sup>/s, um valor cerca de 40 vezes menos do que o que ocorreu quando dos fluxos associados ao deslizamento.

### **Aluimentos de terras**

Movimentos de terras são descidas de fluxos viscosos, de materiais de grão fino saturados, que se movem em qualquer velocidade de lento para rápido. Tipicamente, podem mover-se a velocidades de 0,2 a 20 km/h. Embora sejam parecidas com correntes de lama, em geral, são mais lentos e são cobertos com material sólido arrastados pela corrente. São diferentes das correntes de fluidos, porque são mais rápidos. Argila, areia fina e lodo, e material piroclástico de grão fino são todos suscetíveis aos movimentos de terras. A velocidade dos movimentos de terras depende da quantidade de água no próprio fluxo: quanto maior o conteúdo de água, maior será a velocidade.

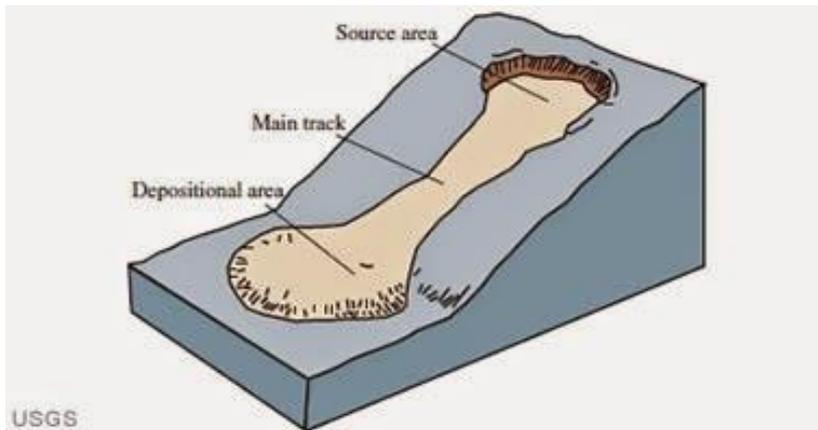


Fig. 2.10 Movimentos de terras

Estes deslizamentos ocorrem quando a pressão nos poros do solo aumenta até um valor em que a massa do solo e da água nele acumulada ultrapassa a força de resistência ao deslizamento (atrito).

Os movimentos de terras ocorrem muito mais durante períodos de precipitação elevada, que satura o solo e adiciona água ao conteúdo da encosta. Desenvolvem-se fissuras durante o movimento de material semelhante à argila, que promove a intrusão da água nos movimentos de terra. Em seguida, a água aumenta a pressão da água dentro dos poros do solo e reduz a resistência ao corte do material.

### **Deslizamento de detritos**

Um deslizamento de detritos é um tipo de deslizamento caracterizado pelo movimento caótico de rochas do solo e detritos misturados com água ou com gelo (ou ambos). É geralmente desencadeado pela saturação das encostas com vegetação densa que resulta numa mistura incoerente de madeira quebrada, vegetação mais pequena e outros detritos. As avalanches de detritos diferem dos deslizamentos de detritos, pois o seu movimento é muito mais rápido. Este é, geralmente, o resultado da menor coesão ou maior teor de água e de encostas geralmente mais íngremes.

As falésias íngremes podem ser originadas por avalanches de detritos catastróficas. Estas têm sido comuns nos flancos submersos de vulcões de ilhas oceânicas, como os Açores Madeira ou Canárias.

Os deslizamentos de detritos geralmente começam com grandes rochas que vão quebrando à medida que vão deslizando em direção ao fundo da encosta. Este processo é muito mais lento do que uma avalanche de detritos. As avalanches de detritos são muito rápidas e toda a massa parece liquefazer enquanto desliza para o fundo da encosta. Isto é causado por uma combinação de material saturado e encostas íngremes. À medida que os detritos se deslocam pela encosta geralmente seguem canais de fluxo, deixando uma cicatriz em forma de V ao longo da encosta. Isso difere da cicatriz em forma de U de uma movimentação rotacional.

## Deslizamentos de terra em planos mais profundos

Deslizamentos de terra em que a superfície de deslizamento é principalmente profundamente localizada abaixo da profundidade máxima de enraizamento de árvores (tipicamente, a profundidades superiores a dez metros). Deslizamentos de terra profundos ocorrem geralmente em zonas de regolitos profundos, rocha muito alterada e originam aluimentos profundos em planos translacionais, rotacionais ou complexos. Estes tipos de deslizamentos têm maior probabilidade de ocorrência numa região com atividade tectónica ativa. Geralmente movem-se lentamente, apenas alguns metros por ano, mas ocasionalmente movem-se mais rapidamente. Tendem a ser de maiores dimensões do que os aluimentos mais superficiais e seguem um plano de fraqueza da rocha ou de uma falha da mesma. Podem ser identificados visualmente como zonas de escarpa concavas no topo e zonas declivosas na base.

## Tipos e classificação de deslizamentos de terra

A Tab. 2.2 Mostra um esquema de classificação de deslizamento de terra (USGS).

Tab. 2.2 Classificação dos tipos deslizamento de terra e materiais a eles associados (USGS)

TYPE OF MOVEMENT		TYPE OF MATERIAL		
		BEDROCK	ENGINEERING SOILS	
			Predominantly coarse	Predominantly fine
FALLS		Rock fall	Debris fall	Earth fall
TOPPLES		Rock topple	Debris topple	Earth topple
SLIDES	ROTATIONAL	Rock slide	Debris slide	Earth slide
	TRANSLATIONAL			
LATERAL SPREADS		Rock spread	Debris spread	Earth spread
FLOWS		Rock flow (deep creep)	Debris flow	Earth flow (soil creep)
COMPLEX		Combination of two or more principal types of movement		

Consulte mais informações:

<http://www.geologypage.com/2015/04/landslide.html#ixzz5FZL0Cz2O>

### 3 EROÇÃO DO SOLO

**Erosão do solo** é um problema contínuo a longo prazo. A erosão envolve o descolamento, o transporte e a deposição de partículas de solo e agregados. A produção de sedimentos é definida como a quantidade total de material erodido a ser transportada e depositada, a partir da sua fonte, para um ponto de sedimentação a jusante. Assim, as taxas de produção de sedimentos são directamente dependentes quer das taxas de perda de solo como da eficiência do transporte pelo escoamento superficial e o fluxo de canal de drenagem.

Os processos naturais formação de solo, ocorrem a uma taxa alarmantemente mais lenta do que a perda de solo por erosão hídrica ou eólica. Estima-se que anualmente se perdem até 50 milhares de milhão de toneladas de solo são perdidos em todo o mundo somente devidos à erosão hídrica. As principais variáveis que afectam a erosão pela água são a precipitação e o escoamento superficial. Pingos de chuva, a forma mais comum de precipitação, podem ser bastante destrutivos quando atingem o solo nu. Com impactos de velocidade superior a 30 km/h, os pingos de chuva desagregam as partículas de solo. O escoamento superficial transporta as partículas assim desagregadas as quais, por sua vez podem desagregar outras partículas de solo e, conseqüentemente, originar progressivamente grandes volumes de sedimentos transportados e posteriormente depositados.

**Erosão laminar ou em sulcos superficiais** é causada principalmente pela chuva. No entanto, alguns dos problemas de erosão mais graves, tais como erosão em sulcos profundos e ravinamento resultam todos do escoamento superficial concentrado. Outros tipos de erosão por água incluem deslizamentos de terra.

A erosão do solo é, por natureza um processo natural. Corresponde, no essencial, à destruição e transporte da camada superficial do solo. A importância desse movimento decorre em grande medida do facto da camada superficial do solo corresponder à parte da solo mais rica em matéria orgânica e mais adequada para o desenvolvimento das comunidades vegetais e da agricultura bem como pela grande maioria das funções depuradoras, metabolizadoras, tamponizadoras e de retenção de poluentes, nutrientes e outras eventuais substâncias contaminantes. Por outras palavras, a erosão do solo, em circunstâncias naturais, é um processo que ocorre natural e lentamente que se refere à perda do horizonte superficial do solo por acção da água e do vento.

As actividades agrícolas e florestais, bem como todas aquelas que perturbem ou destruam o coberto vegetal ou movimentem o solo, destruindo a sua estrutura, aceleram exponencialmente a acção erosiva da chuva e do vento (Fig. 3.1).

Quando as actividades agrícolas são realizadas, a camada superior do solo é exposta e é muitas vezes levada pelo vento ou pela chuva. Quando ocorre a erosão do solo, o movimento do solo desprendido está normalmente facilitado por processos naturais, como vento ou movimento de água ou pelo impacto do homem, como por exemplo, lavar a terra.

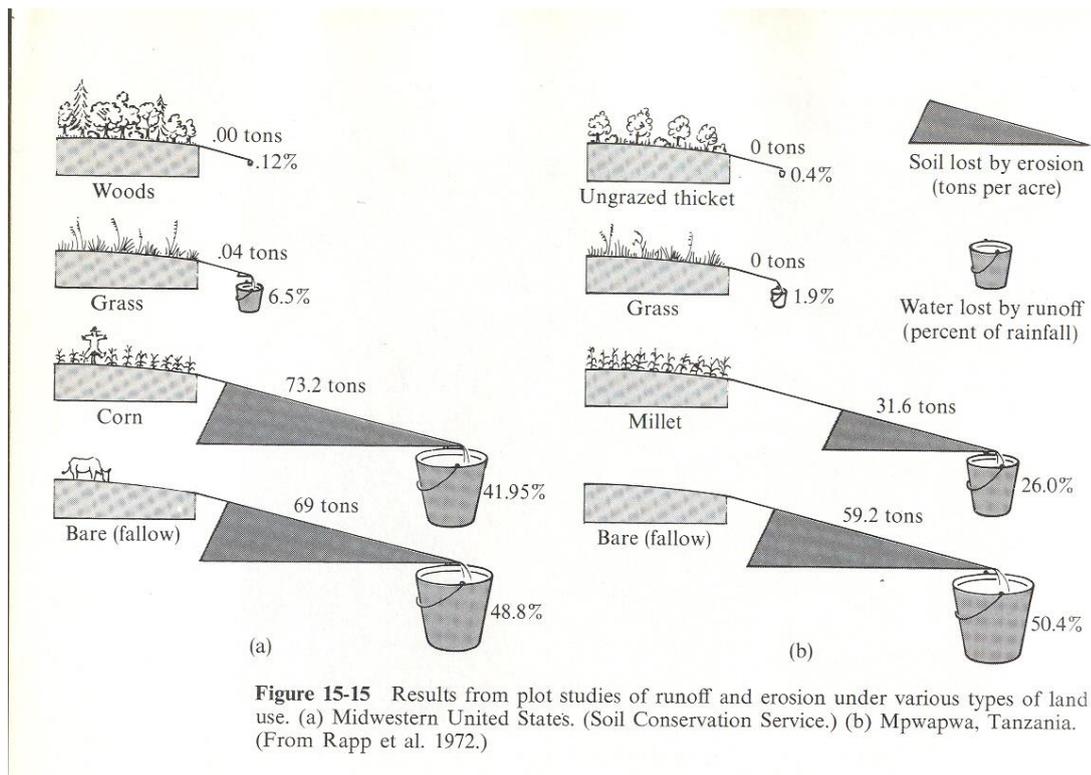


Fig. 3.1 – Aumento da perda de solo e do escoamento superficial em função do coberto vegetal

O processo de erosão do solo é composto por três partes:

- **Desgaste ou arranque:** Isto é, quando a estrutura da camada superior do solo é desagregada e, na prática, separada do resto do solo;
- **Transporte:** Isto é, quando o solo é transportado para outra área;
- **Deposição:** Onde o solo sedimenta em zonas mais planas onde o escoamento é mais lento.

Em termos globais, os recursos naturais são tipicamente afetados por dois factores principais, os que resultam de processos naturais como os processos climáticos (precipitação, hidrológicos ou gravíticos) ou então aqueles devidos à influência humana. Uma das principais preocupações sobre a erosão do solo é que ela pode afetar permanentemente a terra, o que pode ser devastador para os agricultores ou aqueles com atividades agrícolas.

### 3.1 Causas da erosão do solo

Como mencionado, as causas predominantes de erosão do solo estão relacionadas com perturbações, quer de origem natural (tempestades, queda de árvores, fogo, etc.) quer influenciados pela presença da actividade humana. Algumas das principais causas da erosão do solo incluem:

- **Precipitação e escoamento de águas pluviais:** Num determinado episódio de intensa precipitação, a erosão do solo é comum. Primeiro de tudo, a água começa a quebrar o solo, dispersando os materiais de que é feito. Normalmente, o escoamento de águas pluviais terá impacto sobre os materiais mais leves como o lodo, matéria orgânica e partículas de areia mais finas, mas com precipitação intensa, esta também pode incluir os componentes materiais de maior dimensão;
- **Agricultura:** Quando o terreno é trabalhado por meio de culturas agrícolas ou de outros processos, reduz a estrutura geral do solo, além de reduzir os níveis de matéria orgânica, tornando-o mais susceptível aos efeitos da precipitação e da água. Lavrar em particular, porque rompe e suaviza a estrutura do solo, pode ser um dos principais contribuintes para a erosão. Práticas agrícolas que reduzem esta atividade tendem a ter muito menos problemas com a erosão do solo;
- **Declive do terreno:** As características físicas do terreno também podem contribuir para a erosão do solo. Por exemplo, terrenos com uma inclinação elevada irão perpetuar o processo de saturação de águas pluviais ou de escoamento na área, principalmente devido ao movimento rápido da água descendo uma ladeira;
- **A falta de vegetação:** A vegetação (natural ou cultivada) ajuda a manter a estrutura dos solos, reduzindo a quantidade de erosão do solo. Áreas com menos flora que ocorre naturalmente podem ser uma indicação de que o solo é propenso a erosão;
- **Vento:** O vento pode ser um fator importante na redução da qualidade do solo e na promoção da erosão, especialmente se a estrutura do solo já foi comprometida. No entanto, os ventos mais fracos normalmente não causam muitos danos ou nenhuns. O solo mais susceptível a este tipo de erosão é solo arenoso ou mais leve que pode ser facilmente transportado pelo ar.

Um grande problema com a erosão do solo é que não há como dizer o quão rápido ou devagar irá ocorrer. Se determinada em grande parte pelos acontecimentos meteorológicos ou climáticos em curso, pode ser um processo de evolução lento que nem é sequer notado. No entanto, a ocorrência de condições meteorológicas severas ou a ocorrência de perturbações naturais e particularmente humanas (lavras, pisoteio, movimentação de terras), podem contribuir para a erosão rápida, originando grandes prejuízos ambientais e económicos.

### 3.2 Fatores que determinam o risco de erosão hídrica do solo

A avaliação do risco relativo de erosão de solo nu envolve a consideração de classes de erodibilidade quer de cada tipo de solos como dos declives e do comprimento das encostas. O coberto vegetal é também uma característica fundamental como se verá adiante.

Os fatores importantes que afetam os riscos de erosão pela água são:

- Classes de declive;
- Comprimento dos trechos de igual declive do terreno
- Erodibilidade do solo;
- A resistência do solo ao desgaste.

A erosão aumenta com o aumento do declive. A forma de inclinação (concava ou convexa) também afeta a taxa de perda de solo em certa medida.

A erodibilidade do solo é um tipo complexo de propriedade do solo que afeta o potencial de erosão. Há uma grande diferença entre solos tendo em conta a sua susceptibilidade à erosão pela água. Estas diferenças podem ser em termos de resistência ao desgaste das partículas do solo, por exemplo, colapso estrutural devido ao impacto das gotas de chuva ou um fluxo de água e as características de infiltração, que permitem absorver a água da chuva que cai sobre a superfície do solo; e limitando assim o escoamento. Desta forma, a erodibilidade do solo reflete duas qualidades subsidiárias; elas são a resistência do solo ao desgaste e a susceptibilidade estrutural à acção desagregadora das gotas de chuva ou da força do escoamento superficial.

A resistência do solo ao desgaste ou desagregação depende essencialmente da textura, estrutura e capacidade de dispersão. A textura do solo afecta a resistência do solo, a estrutura da superfície e a estabilidade dos agregados. Os outros factores que afectam a resistência ao desgaste ou desagregação, são o cascalho e pedras na superfície do solo bem como a coerência estrutural da superfície do solo.

#### **Avaliação do risco de erosão hídrica:**

O risco de erosão hídrica é definido como a susceptibilidade intrínseca do solo à erosão pela água. O clima, topografia e características do solo são os factores determinantes bem como o coberto vegetal e os padrões e tipologia de uso e gestão do solo.

O risco potencial de erosão corresponde a uma característica intrínseca do solo, enquanto o risco real (hazard) resulta da combinação em cada caso concreto, do risco e dos usos e tipologia de gestão do solo.

O método mais satisfatório para avaliar o risco de erosão são os modelos de predição de perda de solo, tendo em conta os efeitos do clima, erodibilidade do solo, inclinação, comprimento do declive, cobertura vegetal e as práticas de conservação do solo. Entre todos a EUPS, ou seja, a Equação Universal de Perda de Solo é considerada um modelo empírico muito útil para este fim. A EUPS prevê a taxa de perda de solo na base de vários factores (R, K, LS, C e P), simplesmente por multiplicando-os todos.

A USLE (Equação Universal de Perda de Solo), desenvolvida pelos cientistas W. Wischmeier e D. Smith,

é a equação de perda de solo mais amplamente aceite e utilizado. A sua forma é a seguinte:

$$A = R * K * LS * C * P$$

- **A** = Perda média anual de solo (massa por unidade de área);
- **R** = Índice de erosividade;
- **K** = Fator de erodibilidade;
- **LS** = Fator fisiográfico - L é para o comprimento da vertente & S é para declive;
- **C** = Fator de coberto vegetal;
- **P** = Fator de prática de conservação do solo.

Avaliando os fatores na USLE:

#### **R - O índice de erosividade da precipitação**

Mais apropriadamente chamado de índice de erosividade, é uma estatística calculada a partir da soma anual de energia da precipitação em cada tempestade (correlaciona-se com o tamanho da gota de chuva) vezes a sua intensidade máxima 30 - minutos. Como esperado, varia geograficamente.

#### **K - O fator de erodibilidade do solo**

Este fator quantifica o carácter coesivo ou de ligação de um tipo de solo e a sua resistência ao deslocamento e transporte devido ao impacto das gotas de chuva e do escoamento superficial.

#### **LS - O fator fisiográfico**

Encostas íngremes produzem velocidades de fluxo terrestres mais elevadas. Encostas mais longas acumulam escoamento de áreas maiores e também resultam em velocidades de fluxo mais elevadas. Assim, ambos resultam em aumento potencial da erosão, mas de uma forma não forma linear. Por conveniência L e S são frequentemente agrupados num termo único.

#### **C - O fator de coberto vegetal**

Este fator é a razão da perda de solo de áreas cultivadas sob condições específicas para perdas correspondentes a condições de pousio, e zonas cultivadas contínuas. O mais computacionalmente complicado dos fatores EUPS, incorpora os efeitos de: gestão do solo (datas e tipos), culturas, distribuição da erosividade sazonal, histórico de culturas (rotação), e o nível de rendimento da colheita (potencial de produção de matéria orgânica).

#### **P - O fator de prática de conservação do solo**

As actividades incluídas neste termo incluem a lavra ao longo das curvas de nível, a alternância de distintas colheitas (nomeadamente com diferentes momentos de maturação e colheitas), também ao longo das curvas de nível e o terraceamento.

<https://youtu.be/yM3tly6bhRc>

Quando se trata de encontrar soluções para a erosão dos solos, as técnicas mais úteis encontradas tendem a ser aquelas que enfatizam o reforço da estrutura do solo, e reduzindo os processos que o afetam.

- **Lavrar com cuidado:** Porque lavrar rompe a estrutura do solo. Lavrando menos com menos passagens vai preservar mais o solo crucial;
- **Rotação de culturas:** A abundância de rotação de culturas é crucial para manter a terra feliz e saudável. Isso permite o aparecimento de matéria orgânica, tornando mais férteis as plantações futuras;
- **Estrutura melhorada para plantas:** Apresentando terraços ou outros meios de estabilizar a vida das plantas ou até mesmo o solo em torno delas pode ajudar a reduzir a possibilidade de que o solo desprenda e sofra processos de erosão. Impulsionar áreas que são propensas à erosão com a vida vegetal resistente pode ser uma ótima maneira de evitar efeitos futuros;
- **Controle de água:** Para aquelas áreas onde a erosão do solo é predominantemente causada por água - seja ela natural ou feita pelo homem – canaletas de drenagem e tubos de escoamento podem ajudar a direcionar estas fontes de água para longe das áreas suscetíveis, ajudando a evitar o excesso de erosão. Tendo estes filtros em áreas específicas, em vez de levar a corpos de água naturais é um foco para reduzir a poluição;
- **Aumento do conhecimento:** Um fator importante para prevenir a erosão do solo é educar cada vez mais pessoas que trabalham com terra sobre por que é uma preocupação, e o que elas podem fazer para ajudar a reduzi-la. Isto significa divulgação para os agricultores em áreas suscetíveis com maneiras que podem ajudar a proteger as culturas contra as intempéries, ou maneiras que os podem ajudar a certificar-se se os seus solos permanecem compactos sem restringir atividades para o crescimento das plantas.

<https://youtu.be/im4HVXMG168>

<https://study.com/academy/lesson/soil-erosion-effects-prevention.html>

Tab. 3.1 Classes de erodibilidade para os diferentes tipos de solo (de acordo com as classificações da FAO e do SROA)

Classificação F.A.O. Escala 1:1 000 000		Classificação S.R.O.A. Escala 1:25 000		VALOR DE ERODIBILIDADE
Nome	Código	Nome	Código	
	RO	Afloramentos rochosos		0.00
Fluvissoles	Jc	Aluviossolos Antigos Calcários	Atlc, Atc, Atac	0.41
	Je	Aluviossolos Antigos Não Calcários	Atl, At, Ata	0.19
	Jc	Aluviossolos Modernos Calcários	Alc, Ac, Aac	0.44
	Jd, Je	Aluviossolos Modernos Não Calcários	Al, A, Aa	0.26
Luvissoles	Lo	Argiluvitados Pouco Insaturados (Atlânticos)	Med.Pard, Verm, Am	0.30
Vertissolos	Vc	Barros Castanho-Avermelhados	Cb, Bvc, Cpv, Cbc	0.34
	Vp	Barros Pretos	Bp, Bpc, Cp, Cpc	0.32
Cambissolos	Bkv	Calcários Pardos Para-Barros	Pc'	0.30
	Bk	Calcários Pardos, Normais	Pc, Pcg, Pcr, Pcs, Pcx, Pte, Pct, Rc	0.32
	Bcc	Calcários Vermelhos, Normais	Vac, Ve, Vcr, Vcs, Vct, Vcx	0.36
	Bcv	Calcários Vermelhos Para-Barros	Vc'	0.33
Luvissoles	Lg	Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Solos Argiluvitados Pouco Insaturados	Pb, Sag	0.36
Cambissolos	Bh	Litólicos Húmicos	Mns, Mnx	0.32
	Bhc	Litólicos Húmicos Vermelhos		0.32
	Bd, Be	Litólicos Não Húmicos	Par, Pq, Pqa, Pqm, Ppg Psn, Pt, Vf, Vts, Vt	0.31
	Bc	Litólicos Não Húmicos (Vermelhos)		0.31
Litossolos	Id, Ie	Litossolos	Eb, Ec, Ed, Eg, Egn, Ep Eq, Ets, Etc, Et, Ex	0.39
	Ie	Litossolos de Climas Sub-húmidos e Semiáridos	Idem	0.39
	Ie	Litossolos de Climas Sub-húmidos e Semiáridos (de rochas ultrabásicas)	Idem	0.39
Luvissoles	Lo	Mediterrâneos Pardos de Materiais Não Calcários, Normais	Pgn, Ppx, Pmg, Px	0.29
	Lv	Mediterrâneos Pardos de Materiais Não Calcários Para-Barros	Pm	0.23
	Lga, Lg	Mediterrâneos Pardos de Materiais Não Calcários, Para Solos Hidromórficos	Pag, Pagx, Pdg, Pmh, Ppm	0.26
	Lo	Mediterrâneos Pardos de Materiais Calcários, Normais		0.34
	Lkv	Mediterrâneos Pardos de Materiais Calcários, Para-Barros	Pac, Pbc	0.31
	Lkg	Mediterrâneos Pardos de Materiais Calcários, Para-Hidromórficos	Pdc	0.32
	Lrk, Lcr, Lf	Mediterrâneos Vermelhos de Materiais Não Calcários, Normais	Vgn, Pv, Vx, Pvx, Vte, Sr	0.32
	Lp	Mediterrâneos Vermelhos de Materiais Não Calcários, Com Materiais Lateríticos	Sr*	0.31
Lrk	Mediterrâneos Vermelhos de Materiais Calcários, Normais	Vcc, Ved, Pvc, Vcv, Scv	0.38	
Lrv	Mediterrâneos Vermelhos de Materiais Calcários, Para-Barros	Vcm	0.19	
Planossolos	We	Planossolos	Ps	0.25
Podzóis	Po	Podzóis Com e Sem Surraipa	Pz, Ppt, Ppr, Ap	0.28
	Pg	Podzóis Hidromórficos Sem Surraipa	Aph	0.51
	U	Rankers		
Regossolos	Rc	Regossolos Psamíticos	Rg	0.06
	Rd	Regossolos Psamíticos	Idem	0.06
	Re	Regossolos Psamíticos	Idem	0.06
Solonchaks	Zg	Salinos de Salinidade Moderada ou Elevada	Asl, Aslc, As, Ase, Asa, Asac - Assl, Asslc, Ass, Assc, Assa, Assac	0.18

Tab. 3.2 Factor C (da equação Universal de Perda de solo) de cada tipo de uso do solo

	AGRUPAMENTO	Factor K	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	FACTOR C
Territórios Artificializados 0.01	Zonas com dominância de habitações	0.01	1110	Tecido urbano contínuo	0,005
			1120	Tecido urbano descontínuo	0,01
	Zonas com revestimento predominantemente artificializado	0.01	1210	Espaços de actividades industriais, comerciais e de equip.gerais	0,01
			1220	Infraestruturas da rede de auto-estradas e da rede ferroviária	0,01
			1230	Zonas portuárias	0,01
			1240	Aeroportos	0,01
	Zonas alteradas artificialmente sem vegetação	0.3	1310	Pedreiras, zonas de extração de areia, minas a céu aberto	0,5
			1320	Descargas industriais, zonas de espalhamento de lixos	0,1
			1330	Estaleiros	0,01
	Zonas verdes ordenadas	0.02	1410	Espaços verdes urbanos	0,02
1420			Zonas com equipamentos desportivos e de ocupação dos tempos livres	0,02	
Área com ocupação agrícola 0.3	Áreas agrícolas com culturas anuais	0.3	2110	Zonas de utilização agrícola fora dos perímetros de rega	0,4
			2120	Perímetros regados	0,2
			2130	Arrozais	0,05
	Culturas permanentes	0.1	2210	Vinhas	0,2
			2211	Vinha + Pomar	0,15
			2212	Vinha + Olival	0,2
			2220	Pomares	0,05
			2221	Pomar + Vinha	0,1
			2222	Pomar + Olival	0,1
			2230	Olivais	0,1
			2231	Olival + Vinha	0,1
	Pastagens	0.02	2310	permanentes	0,02
	Zonas agrícolas heterogéneas	0.3	2410	Culturas anuais associadas às culturas permanentes	0,4
			2420	Sistemas culturais e parcelares complexos	0,2
			2430	Terras ocupadas principalmente por agricultura com espaços naturais importantes	0,3
2440			Territórios agro-florestais	0,3	
Florestas e meios semi-naturais 0.1	Florestas	0.1	3110	Folhosas	0,1
			3111	Sobreiro	0,1
			3112	Azinhaira	0,1
			3113	Sobreiro / Azinhaira	0,1
			3114	Castanheiro	0,1
			3115	Carvalho	0,1
			3116	Eucalipto	0,2
			3120	Resinosas	0,05
			3121	Pinheiro Bravo	0,05
			3122	Pinheiro Manso	0,05
	3130	Floresta com mistura de várias espécies florestais	0,05		
	Zonas com vegetação arbustiva ou herbácea	0.02	3210	Pastagens pobres, trilhos	0,05
			3220	Landes e matagal	0,02
			3230	Vegetação esclerofítica (maquial, carrascal e esteval)	0,02
			3240	Espaços florestais degradados	0,1
	Zonas descobertas sem ou com pouca vegetação	0.4	3310	Praias, dunas, areais e solos em cobertura vegetal	0,05
			3320	Rochas nuas	0,01
			3330	Estepes sub-desérticas	0,5
3340			Zonas incendiadas recentemente	0,5	
3350			Neves eternas e glaciares	0	
Meios aquáticos 0.005	Zonas húmidas continentais	0.005	4110	Zonas apauladas	0,005
			4120	Turfeiras	0
	Zonas húmidas marítimas	0.005	4210	Sapais	0,005
			4220	Salinas	0,005
			4230	Zonas intertidais	0,005
Superfícies com água 0	Zonas de água doce	0	5110	Linhas de água	0
			5120	Planos de água, lagos	0
	Zonas de água salgada	0	5210	Lagunas e cordões litorais	0
			5220	Estuários	0
5230	Mar e Oceano	0			

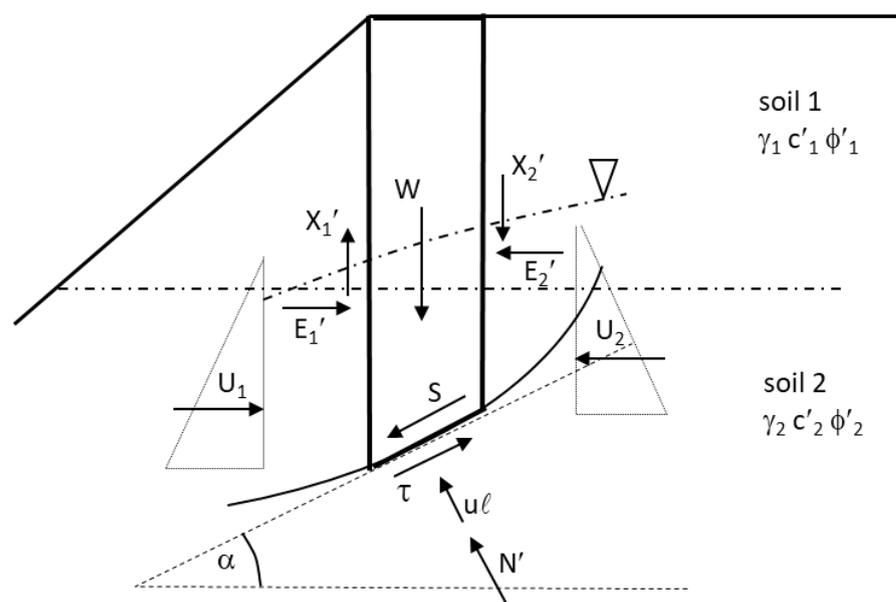
## 4 AVALIAÇÃO DO RISCO DE INSTABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS E TALUDES

### 4.1 Modelação da estabilidade de taludes

#### 4.1.1 Movimentos de massa, deslizamentos de terras (ver exemplo prático de cálculo no Cap. 9)

O modelo SLIP4EX (Greenwood, 2006; Norris e Greenwood, 2006) é um dos muitos modelos de avaliação da estabilidade de taludes e para as simulações de estabilidade de taludes. A principal razão para esta seleção é o fato de que SLIP4EX ser um modelo especialmente concebido para avaliar a influência da vegetação na estabilidade de taludes e comparar os fatores de segurança com e sem vegetação. Além disso, já existem aplicações altamente diversificadas do método permitindo uma avaliação mais fácil dos resultados (por exemplo, Stokes, 2000).

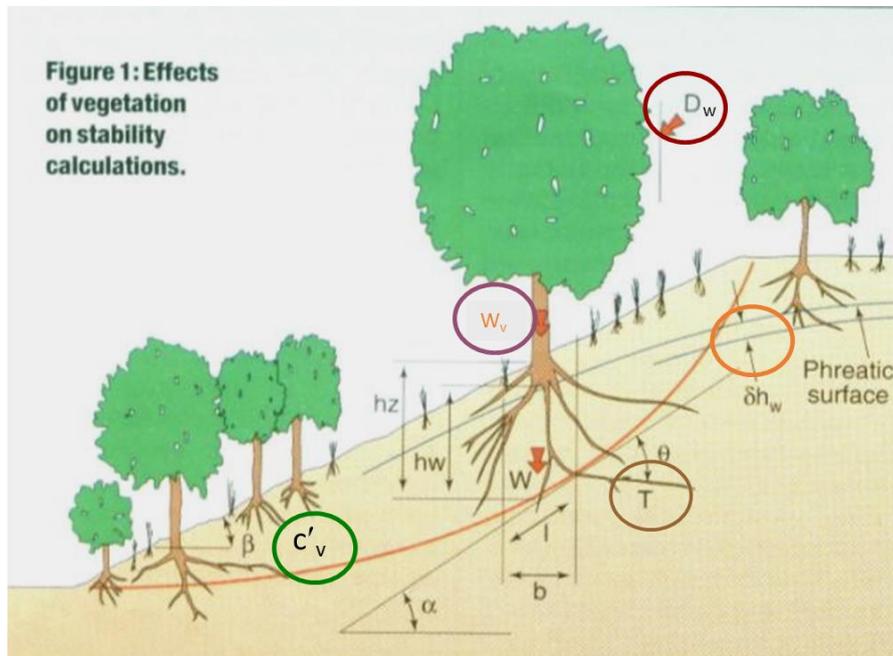
O modelo SLIP4EX é baseada na equação Greenwood original para o cálculo do fator de segurança de uma encosta (Greenwood, 1989; Morrison e Greenwood, 1989) usando a equação de estabilidade tradicional integrando o efeito das forças hidráulicas (Greenwood, 2006; Norris e Greenwood, 2006), que se provou ser confiável e consistente:



$$F = \frac{\sum [c' l + (W \cos \alpha - ul - (U_2 - U_1) \sin \alpha) \tan \phi']}{\sum W \sin \alpha}$$

onde  $c'$  é coesão eficaz na base da fatia,  $l$  é o comprimento ao longo da base de fatia,  $W$  é peso do solo,  $\alpha$  é a inclinação da base de fatia para a horizontal,  $\phi'$  é o ângulo eficaz de atrito na base de fatia,  $u$  é a pressão da água na base de fatia,  $U_1$  e  $U_2$  são as forças de água intersticial no lado esquerdo e direito da fatia (com base nas condições hidrostáticas assumidos abaixo da superfície do lençol freático ou derivada a partir de uma rede de fluxo para situações hidráulicos mais complexos). Considerando os

efeitos da vegetação, a equação é alterada da seguinte forma (Greenwood, 2006):



$$F = \frac{\Sigma[(c' + c'_v)\ell + ((W + W_v) \cos \alpha - (u + \Delta u_v)\ell - ((U_2 + \Delta U_{2v}) - (U_1 + \Delta U_{1v})) \sin \alpha - D_w \sin(\alpha - \beta) + T \sin \theta) \tan \phi']}{\Sigma[(W + W_v) \sin \alpha + D_w \cos(\alpha - \beta) - T \cos \theta]}$$

$$F = \frac{\Sigma[(c' + c'_v)\ell + ((W + W_v) \cos \alpha - (u + \Delta u_v)\ell - ((U_2 + \Delta U_{2v}) - (U_1 + \Delta U_{1v})) \sin \alpha - D_w \sin(\alpha - \beta) + T \sin \theta) \tan \phi']}{\Sigma[(W + W_v) \sin \alpha + D_w \cos(\alpha - \beta) - T \cos \theta]}$$

onde os fatores que indicam a influência da vegetação são exibidos em negrito:  $c'_v$  é a coesão melhorada devido às raízes,  $W_v$  é o peso da vegetação,  $uv$  é a mudança na pressão da água devido à vegetação,  $U_{1v}$  e  $U_{2v}$  são mudanças nas forças de água intersticial devido à vegetação,  $D_w$  é a força do vento,  $T$  é força de tracção de raízes e  $\theta$  é o ângulo de raízes relativo ao plano de deslizamento.

<https://youtu.be/2wT2he6Numk> <https://youtu.be/b8WEeGrPhgc> <https://www.geostru.eu/slope-stability-analysis/>

[https://people.eng.unimelb.edu.au/stsy/geomechanics\\_text/Ch11\\_Slope.pdf](https://people.eng.unimelb.edu.au/stsy/geomechanics_text/Ch11_Slope.pdf)

<http://civil.utm.my/azril/files/2016/04/Chapter-4-Slope-stability.pdf>

<http://web.pdx.edu/~i1kc/programming/slopes/LandslideNotes.pdf>

## 5 INTERVENÇÕES PARA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES

### 5.1 Efeitos de consolidação da vegetação nas encostas

No que toca a erosão superficial (associada à chuva) é uma função dos seguintes factores:

$$\text{Erosão pela chuva} = f \left\{ \begin{array}{l} \text{Clima – intensidade e duração da chuvada} \\ \text{Solo – erodibilidade inerente} \\ \text{Topografia – comprimento e declive da encosta} \\ \text{Vegetação – tipo e grau de cobertura} \end{array} \right.$$

Neste quadro, a prevenção e correcção desta só podem ser conseguidas agindo ao nível do solo (aumentando a sua coesão e resistência estrutural à acção erosiva da gota de água), reduzindo os declives e o comprimento dos trajectos de escoamento livre, reduzindo a energia desses escoamento e a sua decorrente capacidade de arranque e transporte e, finalmente, garantindo uma cobertura eficaz do solo protegendo-o da acção das gotas de chuva.

A vegetação, através do seu aparelho aéreo (que amortece e desvia as gotas de chuva e que aumentando a rugosidade da superfície da encosta retarda o escoamento e retira-lhe energia), do seu aparelho radicular (que arma e estrutura o solo (particularmente nos estratos superficiais mais susceptíveis à erosão e particularmente no caso das herbáceas com relevo para as gramíneas) e através da dinamização dos processos orgânicos e microbiológicos do solo (contribuindo para a humificação e a formação de compostos orgânicos estruturantes das partículas de solo) tem um papel incontornável e sempre crescente na prevenção e correcção dos processos erosivos.

Importa ainda referir, em termos das abordagens de Engenharia Natural, que na prevenção e controle da erosão ainda têm de ser referidos os sistemas vivos ou inertes que actuam sobre os factores de declive e comprimento (incluem-se aqui todos os sistemas lineares de drenagem e de estruturação da superfície da encosta (entrançados, faxinas, grades de vegetação, etc.)) assim como os sistemas que permitem o controle do ravinamento e a recuperação dessas mesmas ravinas e que actuam essencialmente reduzindo ou retendo o escoamento e propiciando a sedimentação.

A vegetação mais adequada para estas funções é, naturalmente aquela que garante uma cobertura superficial mais densa e contínua e uma combinação de um raizame muito denso capaz de uma boa e resistente armação do solo combinado com um raizame profundante capaz de uma ancoragem dos horizontes superficiais (pelo menos 50 cm). A presença de leguminosas é muito importante, não só pela natureza de ancoragem do seu aparelho radicular, como pelas suas funções simbióticas de fixação de azoto que contribuem para um aumento da fertilidade de solos normalmente muito pobres.

Mas não é só a vegetação herbácea que contribui para a prevenção e correcção da erosão superficial, já que a vegetação lenhosa, ao garantir igualmente funções de cobertura, retardamento do escoamento e armação do solo (em particular as espécies com aparelhos radiculares densos superficiais e sub-superficiais), são também importantes “materiais de construção” nestas áreas de intervenção técnica.

Já no que se refere aos movimentos de massa (escorregamento e aluimentos) o factor crítico tem a ver com a força de atrito interno do material ( $\tau$ ) o qual é função da coesão ( $c$ ) do material, da tensão vertical a que está sujeito ( $\sigma$ ) e do ângulo de atrito específico do material ( $\phi$ ) (Tab. 5.1):

Tab. 5.1 - Causas de rotura em taludes e encostas (extraído de Coppin e Richards, 1990)

<i>Aumento da tensão de ruptura</i>	<i>Redução das forças de resistência à ruptura</i>
1. Sobrecarga do talude e encosta (estruturas ou aterros no coroamento)	Aumento da pressão intersticial de água reduzindo as forças de coesão internas (infiltração devido a tempestades ou drenagem insuficiente, variação da pressão da água intersticial devido a sismos)
2. Remoção do suporte lateral (cortes e escavações na base do talude ou encosta)	Presença de argilas expansivas (absorção de água com a resultante redução da coesão intrínseca)
3. Mudanças rápidas do nível da água adjacente ao talude (“afundamento súbito”)	Meteorização e degradação físico-química (troca iónica, hidrólise, dissolução, etc.)
4. Aumento das tensões laterais (fendas e fissuras preenchidas com água)	Ruptura progressiva por redução crescente das forças de resistência internas
5. Cargas devidas a tremores de terra (aumento nas forças de desestabilização horizontais e verticais)	

A correcção destes factores de risco pode ser muito significativamente auxiliada pela vegetação de *per si* ou complementarmente a outras técnicas construtivas.

Estas acções correspondem essencialmente aos seguintes efeitos proporcionados pela vegetação (Fig. 5.1):

- **Efeitos benéficos**
  - **Reforço radicular:** as raízes reforçam mecanicamente o solo pela transferência da tensão de ruptura para a resistência tênsil das raízes
  - **Redução da humidade do solo** – A evapotranspiração e a interceptação pode limitar o aumento de uma pressão positiva nos poros do solo (determinando a redução do valor de coesão)
  - **Escoramento e ancoramento** – Os ramos e raízes enterrados podem funcionar como estruturas de escoramento e ancoramento que contrariem as forças de ruptura paralelas ao plano da encosta
  - **Sobrecarga** – O peso da vegetação pode, em certas circunstâncias, aumentar a estabilidade através de um aumento da força coesiva na superfície de falha
- **Efeitos adversos**
  - Aumento de cargas externas e riscos decorrentes do derrube em situações de tempestade (são resolúveis com uma adequada manutenção)

Concretizando melhor esta acção, temos que ela se materializa ao nível da contribuição das raízes para a resistência ao corte (Fig. 5.2) a qual decorre da sua capacidade de ancoragem associada á resistência específica de cada tipo de raiz à ruptura e do aumento da coesão interna do solo devido ao efeito de armação do solo e à influência sobre a humidade de mesmo.

Considerando as técnicas específicas de Engenharia Natural da intervenção no sentido da prevenção e correcção das situações associadas a movimentos de massa, estas incluem-se predominantemente no grupo das técnicas de estabilização.

- W Peso total da coluna de solo, kN/m<sup>2</sup>
- C',  $\phi$  Parâmetros efectivos de resistência no plano de escorregamento
- l Comprimento do plano de escorregamento sob a coluna de solo, m (b sec  $\alpha$ )
- u Pressão da água nos poros no plano de escorregamento, kN/m<sup>2</sup> ( $\gamma_w h_w$ )
- u<sub>v</sub> Redução na pressão da água nos poros no plano de escorregamento devido à evapotranspiração, kN/m<sup>2</sup>
- c'<sub>R</sub> Coesão acrescida do solo devido ao reforço pela matriz radicular no plano de escorregamento, kN/m<sup>2</sup>
- c'<sub>S</sub> Coesão acrescida do solo devido à evapotranspiração no plano de escorregamento, kN/m<sup>2</sup>
- S<sub>w</sub> Sobrecarga devido ao peso da vegetação, kN/m
- D Sobrecarga paralela ao declive devida à acção do vento, kN/m
- T Força tênsil das raízes actuando na base da coluna, kN/m (ângulo assumido entre as raízes e o plano,  $\theta$ )
- h<sub>s</sub> Altura vertical da coluna de solo sobre o plano de escorregamento, m
- h<sub>w</sub> Altura vertical da coluna do freático sobre o plano de escorregamento, m

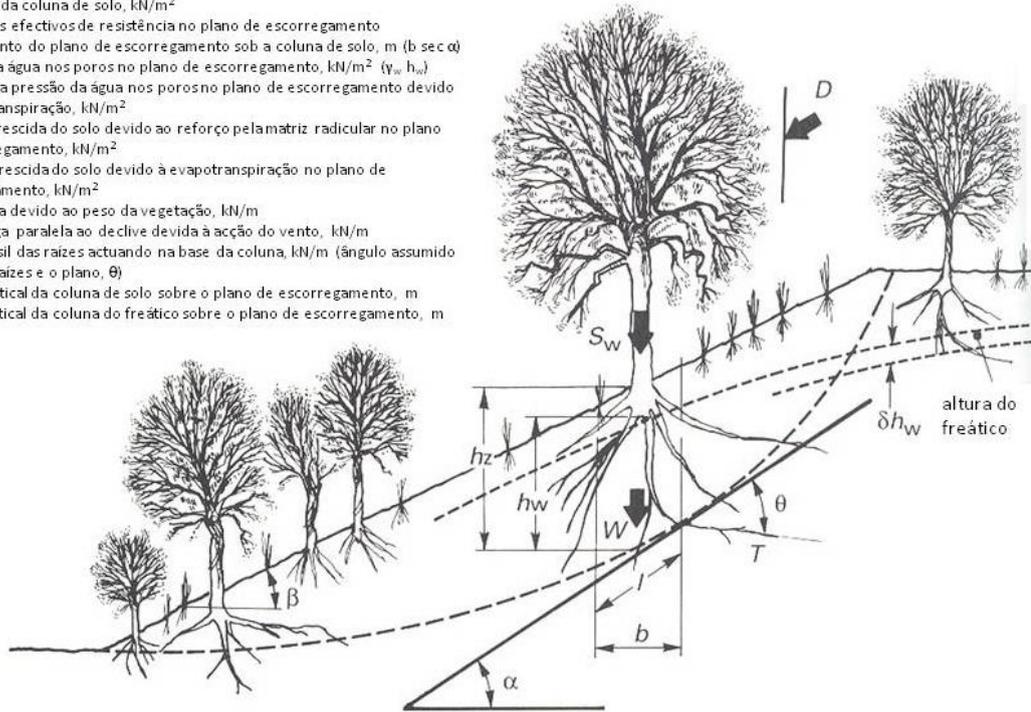


Fig. 5.1 - Efeitos da Vegetação num talude (Coppin e Richards, 1990)

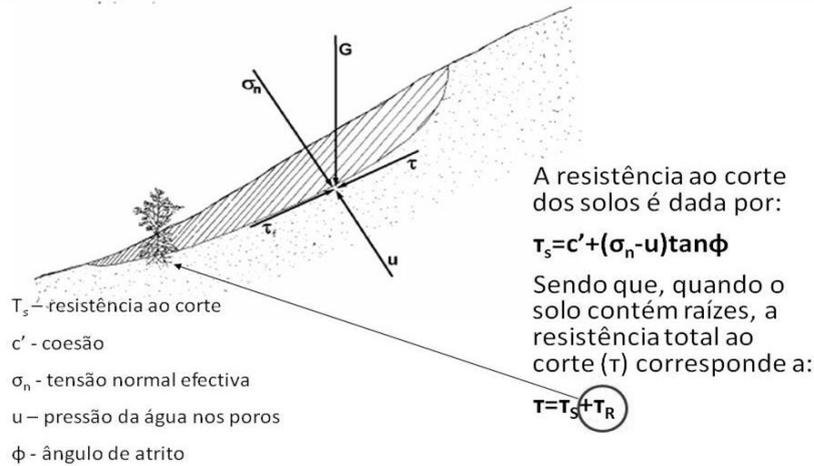


Fig. 5.2 – Ilustração do efeito de aumento da resistência ao corte propiciado pelas raízes da vegetação (adaptado de Coppin e Richard, 1990)

A opção por métodos exclusivamente vivos, por métodos combinados ou por métodos exclusivamente inertes prende-se com dois factores principais: o risco associado à ruptura do talude e encosta e a susceptibilidade dos mesmo a essa ruptura.

A selecção das técnicas mais adequadas deve, portanto, obedecer a critérios claros. Os efeitos de consolidação da vegetação contra a erosão superficial são os seguintes: intercepção, estruturação, retardamento e infiltração.

Os efeitos de consolidação da vegetação sobre os movimentos de massa nas encostas são, portanto:

- fixação/consolidação do solo,
- extração de humidade,
- reforço e sustentação.

Esta consolidação é garantida pelas seguintes funções de consolidação da vegetação: cobertura do solo, ancoragem, estruturação, suporte e reforço.

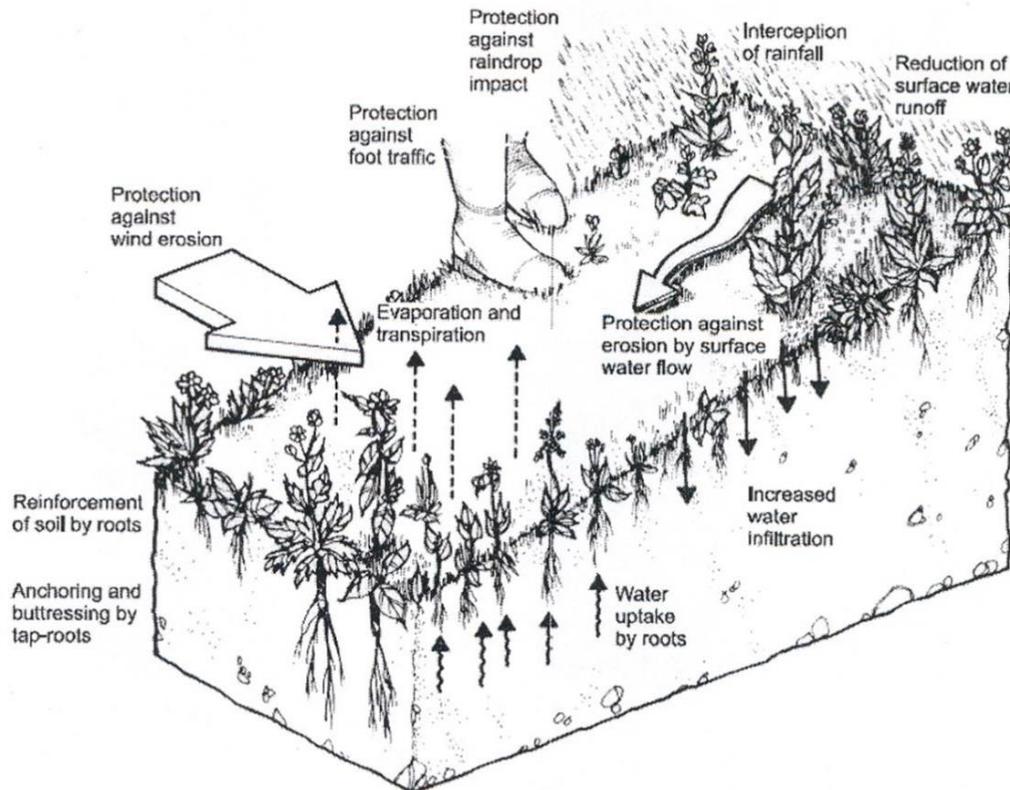


Fig. 5.3 Influências da vegetação no solo (Coppin & Richards, 1990)

As formações herbáceas e arbustivas densas são muito eficazes para controlar e reduzir a erosão do solo. Isso ocorre principalmente porque as raízes das plantas tendem a estabilizar o solo, tornando-o mais difícil de erodir. As folhas das plantas também ajudam a reduzir a velocidade das gotas de chuva que caem no chão, tornando mais difícil a desagregação do solo e erosão. Formações vegetais densas (principalmente de arbustos e herbáceas perenifólios) são as melhores opções, pois não deixam áreas de solo nu expostas aos elementos.

Solos cobertos por vegetação correm menos risco de erosão pela água e movimento de terras. O papel que as raízes desempenham na estabilização de taludes tem sido reconhecido há muitos anos, ao passo que o interesse em testes de bio-mecânicos das raízes (em particular de espécies do Mediterrâneo) surgiu apenas recentemente.

## **5.2 Princípios básicos de Engenharia Natural em sistemas terrestres**

Os princípios básicos que se aplicam ao controlo da erosão do solo convencional, também se aplicam em geral à Engenharia Natural em sistemas terrestres. Estes princípios são principalmente orientações do senso comum que envolvem planeamento, tempo e minimização da perturbação, bem como a conceção das próprias medidas individuais. Os princípios aplicáveis podem ser resumidos como se segue:

### **5.2.1 Ajustar o sistema de Engenharia Natural em sistemas terrestres à área**

Isso significa considerando a topografia local, geologia, solos, vegetação e hidrologia. Evite extensa nivelção e terraplanagem em áreas críticas e realize testes de solo para determinar se o crescimento vigoroso da planta pode ser suportado. No mínimo, colete as seguintes informações:

#### **Topografia e exposição**

- Observe o grau de inclinação em áreas estáveis e instáveis. Observe também a presença ou ausência de humidade;

O provável sucesso de técnicas de Engenharia Natural em sistemas terrestres pode ser melhor determinado observando encostas estáveis existentes nas proximidades do local do projeto;

- Anotar o tipo e densidade da vegetação existente em áreas com e sem humidade e em declives voltados para direções diferentes. Certas plantas crescem bem em encostas voltadas para leste, mas não sobreviverão em encostas viradas a sul;
- Olhe para as áreas onde a vegetação pode estar a crescer mais vigorosamente do que outros a vegetação de outros locais. Este é geralmente um bom indicador do excesso de humidade, tais como infiltrações de água e nível freático, ou pode refletir uma mudança nos solos.

#### **Geologia e solos**

- Consulte geólogos sobre a história geológica e tipos de depósitos (coluvião, glacial, aluvião, outro);
- Anotar evidências de deslizamentos anteriores. Se existem evidências no local, determinar se o deslizamento ocorreu ao longo de uma superfície de rutura profunda ou superficial. Árvores inclinadas ou deformadas podem indicar movimentos anteriores da encosta anterior ou derrocadas. Além de evidências no local, confira fotos aéreas, que podem revelar características

que podem não ser evidentes a partir de uma visita ao local;

- Determinar o tipo de solo e profundidade. Use o relatório de levantamento de solos, se disponível, ou consulte os especialistas em solos.

## **Hidrologia**

- Determinar a área de drenagem associada à área problemática. Observe se a água pode ser desviada da área do problema;
- Determinar a precipitação anual. Há descargas concentradas?
- Calcular os picos dos fluxos ou descarga média ao longo da área do projeto;
- Se for identificada uma área escoada, localizar a fonte da água. Determinar se a água pode ser interceptada e desviada da encosta.

### **5.2.2 Acções básicas**

#### **Manter a vegetação existente sempre que possível**

A vegetação oferece uma excelente proteção contra a erosão superficial e falhas de encostas rasas. Medidas/Técnicas de Engenharia Natural em sistemas terrestres são projetados para ajudar ou melhorar o restabelecimento da vegetação.

#### **Limitar a remoção da vegetação**

- Limite áreas completamente desmatadas ao menor tamanho prático;
- Limitar a duração da perturbação para o menor tempo prático;
- Retire e guarde a vegetação lenhosa existente que possa ser usada posteriormente no projeto;
- Calendarize a limpeza dos terrenos horário para períodos de baixa precipitação, sempre que possível.

#### **Armazenar e proteger solo**

O solo arável removido durante as operações de limpeza e de compensação pode ser reutilizado durante as operações de plantação.

### **Proteger as áreas expostas durante a construção**

Podem ser usadas medidas temporárias de erosão e controle de sedimentos.

### **Desviar, drenar, ou armazenar o excesso de água**

- Instalar um sistema adequado para lidar com o aumento e / ou escoamento concentrado causado por condições de solo e de superfície alterados durante e após a construção;
- Instalar medidas de erosão e controle de sedimentos permanentes no projeto antes da construção ser iniciada, se possível.

## **5.3 Considerações de design**

### **Terraplanagem**

Normalmente, os terrenos exigem alguma terraplanagem antes da instalação de sistemas de Engenharia Natural. Um corte de terreno ou um talude muito declivosos exigem, por exemplo uma modelação que reduza o declive. O grau de redução do declive necessário depende do tipo de solo, das condições hidrológicas da geologia e de outros factores locais.

### **Calendarização e prazos**

Planeamento e coordenação são necessários para atingir os prazos e calendarização estimados. A disponibilidade sazonal de plantas ou a melhor época do ano para instalá-las pode não coincidir com a época de construção ou com cronogramas de construção apertados. Em alguns casos, plantas enraizadas podem ser usadas como uma alternativa às estacas não enraizadas em dormência.

### **Danos vegetativos em estruturas inertes**

Danos vegetativos em estruturas inertes podem ocorrer quando espécies inadequadas ou materiais de plantas que excedam o tamanho das aberturas das estruturas são utilizadas. Danos vegetativos não costumam ocorrer a partir de raízes. As raízes das plantas tendem a evitar, estruturas de retenção de face aberta porosas por causa da luz solar excessiva, deficiências de humidade, e a falta de um meio de crescimento.

## **Requisitos de humidade e efeitos**

O material de aterro traseiro de uma estrutura de retenção estável tem certas propriedades mecânicas e hidráulicas específicas. Idealmente, o preenchimento é material grosseiro, granular e drenagem livre. Quantidades excessivas de argila, lodo e matéria orgânica não são desejáveis. Drenagem livre é essencial para a integridade mecânica de uma estrutura de retenção de terra e também é importante para a vegetação, que não pode tolerar condições de solo alagado. O estabelecimento e a manutenção da vegetação, no entanto, requer geralmente a presença de alguns materiais finos e matéria orgânica no solo para fornecer a humidade adequada e a retenção de nutrientes. Em muitos casos, estes requisitos biológicos podem ser satisfeitos sem comprometer o desempenho de engenharia da estrutura. No caso dos muros de madeira tipo "cribwall", por exemplo quantidades adequadas de finos e outros materiais orgânicos devem ser incorporados no enchimento para permitir o desenvolvimento da vegetação. Gabiões podem ser preenchidos com rocha e de solo para facilitar o crescimento de vegetação. Estacas vegetativas lenhosas devem ser colocadas entre as travessuras durante o enchimento e para dentro do solo para além da estrutura. As necessidades das plantas e os requisitos das estruturas devem ser levados em conta na conceção de um sistema.

## **5.4 Drenagem**

Dependendo do declive da encosta ou aterro, uma das formas mais eficazes para ajudar a evitar a erosão é criar desvios que canalizam o excesso de água pela encosta abaixo ao longo de um percurso predeterminado. Uma das maneiras mais simples de fazer isso é criar valas abertas ou drenos simplesmente cavando ao longo da encosta em intervalos regulares. O uso de tubos e calhas também é muito eficaz, e funcionam tão bem como drenos naturais quando projetado e instalado corretamente.

### **5.4.1 A hierarquia da drenagem**

Os problemas de drenagem de um bairro individual são parte de uma hierarquia de problemas relacionados com a rede de drenagem de toda a cidade e correspondentes com a hierarquia de drenos que o compõem. Estes drenos variam desde os canais principais ou grandes esgotos, que recolhem a água de grandes áreas da cidade até as pequenas valas ou canos que correm ao longo da borda da estrada ou servem propriedades individuais.

Na posição mais básica da hierarquia está o corpo de água recetor no qual se fazem as descargas do sistema. Este pode ser o mar, um lago ou um rio. O nível de água no corpo recetor fixa o nível mínimo dos canais de drenagem, porque a necessidade do bombeamento de águas pluviais não é aceitável. Mesmo se fosse possível pagar bombas grandes o suficiente para lidar com as quantidades de água envolvidos, elas não seriam práticas por causa das muitas dificuldades de manutenção e a extensão dos danos que resultariam do mau funcionamento ou avaria das bombas. O nível de água no corpo recetor chega muito perto do nível do solo em muitas áreas planas, o que significa os drenos não podem ser

feitos a grande profundidade.

A seguir, na hierarquia, está o sistema de drenagem principal, composto de drenos principais, às vezes chamados de esgotos interceptores. Estes servem grandes áreas de uma cidade ou a cidade como um todo, e muitas vezes seguem a linha de canais de drenagem naturais, como rios ou córregos. A concepção, construção e manutenção de drenos primários de uma cidade exigem extensas habilidades de engenharia e uma grande base financeira, e estão bem além dos meios de uma comunidade individual. Estes drenos não são considerados aqui.

Finalmente, está o sistema de drenagem secundário, uma rede de pequenos drenos dentro de cada bairro. Estes são conhecidos como micro-drenagem ou laterais, e cada um serve uma pequena área de captação, que vão desde uma única propriedade a vários blocos de casas. Esta publicação trata principalmente com o nível secundário do sistema de drenagem. A este nível, as melhorias podem ser feitas com investimentos modestos, e soluções de baixo custo são muitas vezes apropriadas.

#### **5.4.2 Factores que afectam os fluxos de águas pluviais**

Nem toda a água que cai em forma de chuva precisa ser removida pelo sistema de drenagem. Alguma parte vai-se infiltrar no solo, enquanto outra pode ficar em poças e outras depressões e eventualmente evaporar. A proporção que escorre pela superfície do solo e tem de ser levada no sistema de drenagem é conhecida como o coeficiente de escoamento. Na prática, há pouca possibilidade de evaporação durante uma tempestade, de modo que o coeficiente de escoamento para utilizar no cálculo do tamanho dos drenos necessários baseia-se na capacidade de infiltração do solo. Isso depende principalmente das condições do solo, do declive do terreno, e do uso do solo:

- Condições do solo. A água escoar mais prontamente em solos arenosos do que de argila ou em terreno rochoso;
- Terreno. A água flui mais rapidamente por uma encosta íngreme, tendo menos tempo para se infiltrar do que quando está parada ou se move lentamente numa área plana;
- Uso do solo. A vegetação retém muita da água e também solta o solo, tornando assim a infiltração mais fácil. Coberturas e superfícies pavimentadas, por outro lado, impedem a infiltração.

Coeficientes de escoamento são, portanto, mais elevados nas áreas de solo de argila ou de rocha, em encostas íngremes e em áreas de densa construção e com pouca vegetação. Como um exemplo disto, a quantidade de água a ser drenada a partir de uma área habitacional de alta densidade pode ser 5-6 vezes maior do que quando a área era pouco desenvolvida e coberta de vegetação.

A velocidade a que a água entra no sistema de drenagem depende do coeficiente de escoamento, mas também da taxa de precipitação. Claro que isso pode variar, de uma forte chuvada para um leve aguaceiro, e é difícil estimar a intensidade máxima de precipitação que irá ocorrer num determinado ano, por causa da imprevisibilidade do tempo. No entanto, analisando registos de precipitação anteriores, é possível fazer uma estimativa da probabilidade de qualquer taxa particular ocorrer. Quanto mais grave é a tempestade (isto é, quanto maior a taxa de precipitação), menor é a probabilidade da sua ocorrência.

Esta probabilidade é geralmente expressa como um "período de retorno". Uma tempestade com uma probabilidade de 1 em 20 de acontecer em qualquer ano diz-se ter um período de retorno de 20 anos, e é chamada de uma tempestade de 20 anos. Isso não significa, é claro, que isso aconteça exatamente a cada 20 anos, mas que, em média, isso acontecerá, muitas vezes, numa média de cinco vezes por século.

Se um sistema de drenagem foi concebido para uma tempestade invulgarmente grave com um período de retorno de 100 anos, pode nunca ser totalmente utilizado dentro da sua validade. O dinheiro gasto na construção de um sistema com uma tão grande capacidade poderia ter sido melhor gasto na construção de esgotos menores em áreas que não têm nenhum. Escolher o período de retorno ideal para a concepção de um sistema de drenagem urbana é um julgamento difícil pesando o risco dos esgotos transbordarem, e os danos que isso pode causar, contra o custo de construção de esgotos maiores para evitá-lo.

Os danos nas estradas pela água da chuva é muitas vezes a principal justificativa para a drenagem mas deve ser alargado a todas as situações susceptíveis de inundação. Em encostas íngremes, uma única tempestade forte que faz com que os drenos transbordem pode causar enormes danos pela erosão, de modo que um período de retorno mais longo possa ser mais justificado do que nas áreas planas.

#### **5.4.3 Problemas das encostas íngremes**

Áreas declivosas facilmente sofrem erosão quando o coberto vegetal está danificado e quando o uso intensivo do solo desnuda o solo. Portanto, é importante evitar que a água desça em fluxos descontrolados que podem enfraquecer casas e transformar caminhos e ruas em passagens intransitáveis. Como uma regra de ouro, declives de mais de 5% podem ser considerados íngremes.

Em terrenos íngremes, a única maneira de manter a água no solo é através de socalcos, de modo a reduzir o declive. Existem vários métodos que são usados para controlar a erosão em terras agrícolas. No entanto, estes podem ser aplicados numa área urbana somente se o bairro ainda não tenha sido integralmente constituído.

Quando a água está concentrada numa linha natural ou artificial de drenagem abaixo de um declive íngreme, ela pode fluir a grande velocidade e, assim, causar danos consideráveis. Vários métodos podem ser usados para levar a água para baixo gradualmente e em quantidades controladas:

- (a) Desviando horizontalmente a água usando um murete em terra ao longo da curva de nível ou por drenos com um trajecto e capacidade de drenagem equivalente, reduzindo assim a velocidade do fluxo de água e evitando a acumulação de toda a água de toda a encosta num dreno;
- (b) Conduzindo a água em ziguezague controlado através de deflectores incorporados ao dreno para abrandar o fluxo de água;
- (c) Construir degraus nos canais de drenagem com mais de 30% de declive de modo a reduzir a energia do escoamento. O mesmo efeito pode ser conseguido com dreno em pedra grosseira de grandes dimensões sobre fundo impermeável e que pela sua elevada rugosidade retiram energia ao fluxo de água;
- (d) Barragens de retenção são uma solução menos dispendiosa para o problema, e podem ser utilizadas

em todas as linhas de drenagem construídas ou não. A água deposita os sedimentos transportados antes do muro da barragem, reduzindo progressivamente a sua capacidade de retenção pelo que estes depósitos devem ser removidos regularmente. As paredes das barragens devem ser bem inseridas no chão de cada lado por baixo, para garantir que a água não passe elas. Em particular, a base de cada parede não deve ser maior do que a crista da próxima a jusante.

As barragens de retenção podem ser feitas de vários materiais, além de betão ou alvenaria. Pilhas de pedras grandes ajudam a dissipar a energia da água que flui através dos espaços tortuosos entre as pedras. As pedras devem ser suficientemente grandes para resistir a serem arrastadas a jusante pela água.

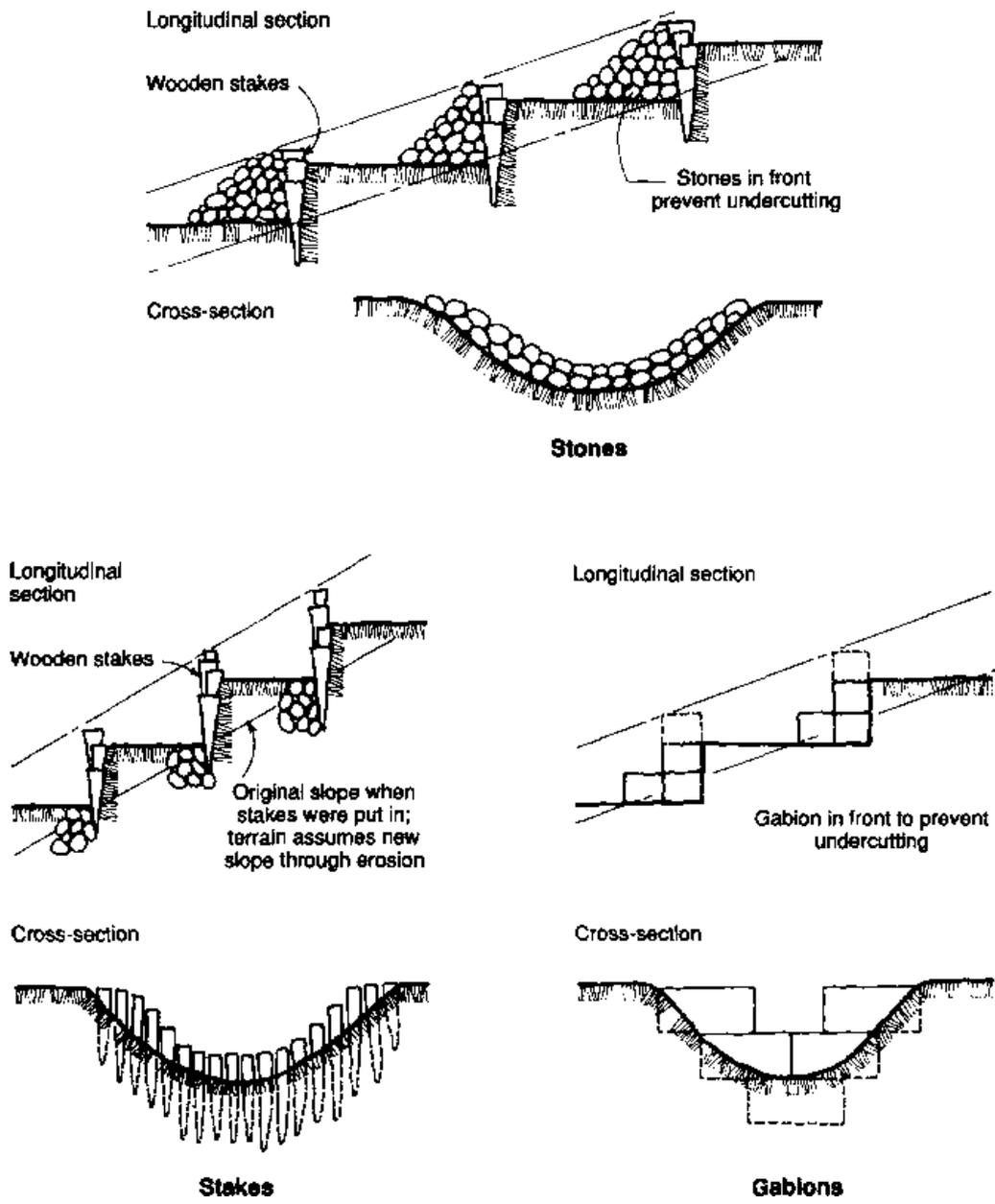


Fig. 5.4 Exemplos de barragens de retenção ou dissipadores

Em áreas onde pedras de tamanho suficiente não estão disponíveis, rochas mais pequenas podem ser ligadas num embrulho grande ou fardo conhecido como um gabião. Um gabião consiste no enchimento de um grande cesto de malha de arame galvanizado com pedras, para fazer um grande fardo retangular de cerca de 0,5-1,0 metros cúbicos.

## **6 PROPRIEDADES BIOTÉCNICAS DAS PLANTAS - acções de vegetação para estabilização de taludes (potencialidades e limites)**

### **6.1 Ações gerais**

As raízes das plantas absorvem nutrientes e água, bem como fornecem suporte mecânico contra o vento, neve e forças gravitacionais exercidas pela própria planta. As raízes também auxiliam na agregação do solo onde se desenvolvem, melhorando a estabilidade do talude e reduzindo a erosão do solo. O estudo do sistema radicular e estabilidade de taludes é desafiador e abrangente; portanto, dados empíricos sobre este tema são difíceis de obter. A pesquisa é limitada devido a muitas questões metodológicas. Em primeiro lugar, as raízes são difíceis de amostrar. Elas podem crescer a grandes profundidades abaixo do solo e ocupam grandes quantidades de área. Isso torna a amostragem tediosa e seja altamente difícil reunir dados concretos e precisos. Em segundo lugar, as árvores e arbustos têm uma grande variedade de dimensões de raízes que são elaboradas e extensivamente entrelaçadas. Por último, a natureza complexa das interações entre as características bióticas e abióticas, como rochas e outros resíduos, complicam ainda mais o problema.

### **6.2 Papel hidrológico das raízes**

Falhas de taludes de pouca profundas podem ocorrer quando a pressão da água dos poros é aumentada e a tensão efetiva é reduzida devido a grandes eventos de precipitação. Fatores específicos do local, como “percursos de escoamento hidrológico preferenciais, declividade, espessura do solo e propriedades dos materiais”, também podem contribuir para a rutura do talude. As raízes são responsáveis pela criação de macroporos e cavidades no solo, melhorando, desse modo, a infiltração. No entanto, um aumento da taxa de infiltração também leva a uma subida do nível freático ou de saturação, aumentando assim a pressão de infiltração. A cadeia contígua de macroporos abaixo do chão da floresta que transporta água sub-superficial é conhecida como fluxo tubular. Este fluxo desempenha um papel na estabilidade de taludes e deslizamentos iniciais “já que a variação espacial em resposta hidrológica é atribuída à sua influência”. Investigações permitiram verificar que 50-90% as cicatrizes de escorregamentos de terras mostravam canais tubulares (“piping”) particularmente no coroamento de origem d escoamento. Durante chuvadas muito intensas estes canais, caso estejam obstruídos podem causar instabilidade do talude ao evitar a dissipação da água pela massa do talude. Isto faz com que a pressão da água dos poros aumente, diminuindo assim a tensão efectiva na massa de solo. Quando a água entra nestes canais do solo, acelera e exerce uma força friccional nas partículas de solo. Quando a infiltração ocorre a velocidades elevadas, pode causar erosão. Este processo de erosão é conhecido como “pipping”. Isto pode originar o colapso das paredes do canal tubular e resultar numa descarga sedimentar. Consequentemente os canais tubulares do solo podem aumentar em certas circunstâncias a estabilidade do talude ao aumentar a drenagem e reduzindo a pressão da água nos poros.

Contudo, erosão tubular repetitiva durante longos períodos de tempo pode reduzir a estabilidade das encostas. O colapso de um canal tubular irá normalmente desviar a água para outro canal, mas, se a

água não pode fluir por outra cavidade fica retida e aumenta significativamente a pressão nos poros o que reduz as forças de retenção internas e pode eventualmente conduzir a um escorregamento por perda de coesão do maciço.

A maioria das falhas de encosta em condições insaturadas resultam de grandes eventos de precipitação e infiltração. À medida que a pressão negativa da água nos poros é reduzida, a força de cisalhamento do solo diminui abaixo do valor crítico ao longo da superfície de deslizamento potencial, causando a falha. Quando os solos drenam rapidamente, ocorre sucção e criam uma pressão negativa. O solo não tem força real e irá ruir. Diminuindo o grau de saturação irá diminuir a permeabilidade do solo. O aumento do grau de saturação de uma massa de solo provoca um aumento da permeabilidade porque a película de água existente sobre as partículas do solo resulta numa resistência de atrito inferior à inundação. Se o solo não está completamente saturado, a taxa de fluxo tenderá a decair à medida que a infiltração de água vai progressivamente saturando o solo ao preencher os vazios e formar filmes de água em torno das partículas de solo.

As propriedades dos materiais, tais como o tipo de solo e tamanho dos grãos têm um papel importante na determinação da permeabilidade de uma massa de solo e, em última análise, falha da encosta. A permeabilidade é importante porque se relaciona diretamente com pressão da água dos poros. Solos de granulidade fina, como argila têm muito maiores áreas de superfície e, assim, absorvem grandes quantidades de água e causam condições de inchaço e apresentam má drenagem, enquanto os solos de grãos grossos são mais flexíveis e têm grandes proporções de vazios. A permeabilidade é indiretamente controlada pelo tamanho da partícula. Uma vez que o índice de vazios é função do tamanho da partícula, partículas finas que existem dentro da areia irão interferir com a água que flui através dos poros relativamente grandes entre as partículas granulosas/grosseiras. À medida que as partículas finas migram e se acumulam na amostra de solo, o bloqueio do fluxo de água irá aumentar e o resultado será uma menor permeabilidade.

### **6.3 Papel mecânico das raízes**

As raízes proporcionam apoio mecânico para uma massa de solo através da sua resistência à tração, propriedades adesivas e de atrito. As raízes que crescem perpendicularmente à superfície do solo proporcionam resistência às forças de cisalhamento que atuam sobre o solo. Fig. \*\*) Raízes que se estendem paralelamente ao solo reforçam a resistência à tração da zona do solo. A massa de solo é reforçada não só por esses dois aspetos de fortalecimento, mas também em termos de distribuição espacial que ocupa. Raízes finas (1-2 mm de diâmetro) são um sistema de raiz terciário e representam menos de 5% da biomassa de uma árvore, mas fornecem mais do que 90% da absorção de água e de nutrientes de todas as raízes (Schwarz et al. 2009). As raízes grossas são maiores do que 2 mm de diâmetro e consistem em 15- 25% de biomassa de uma árvore. Elas podem ser divididas em quatro classes: raízes principais, raízes laterais, raízes basais e raízes adventícias. Estas classes podem ser subdivididas em raízes primárias e secundárias, em que as raízes secundárias resultam a partir de raízes primárias que se originam a partir do sistema radicular. Existe documentação que comprova uma correlação positiva entre raízes finas e o reforço de solos, mas o mesmo não pode ser dito das raízes grossas uma vez que dados não estão provados. A eficácia das raízes grossas depende muitíssimo da sua profundidade e densidade espacial. Se a densidade espacial não é suficiente, o efeito de reforço das

raízes é insignificante uma vez que o solo pode facilmente mover-se em torno das raízes. Em geral, raízes finas são mais eficazes em reforço de solos, mas para a estabilidade de taludes pouco profunda, a vantagem de raízes finas é menos óbvia. Os principais fatores que governam a estabilidade do talude superficial são: número, tamanho, resistência à tração e rigidez à flexão de raízes penetrantes nas falhas dos taludes. Uma maior quantidade de raízes finas é mais eficaz na estabilização do solo do que um número menor de raízes grossas desde que a resistência à tração aumente à medida que diminui o diâmetro da raiz. Além disso, durante uma falha de encostas, raízes finas tendem a quebrar, mas permanecem fixas no solo, enquanto as raízes grossas podem simplesmente deslizar para fora. No entanto, apenas raízes grossas podem penetrar grandes profundidades e ancorar firmemente a massa de solo. Além disso, estendendo-se profundamente, raízes grossas podem fixar grandes volumes de solo e estabilizar taludes superficiais. Raízes grossas também têm uma rigidez maior à flexão que significa que podem suportar maiores tensões de flexão do que raízes finas. É ideal ter uma combinação de ambas as raízes finas e grossas. Uma grande densidade de raízes finas nas camadas superiores dos estratos do solo ajuda o solo a resistir a tensão enquanto raízes grossas que se estendem profundamente no solo e cruzando planos de corte fornecerem estabilidade de flexão e forças de cisalhamento. A eficácia da estabilização mecânica das encostas depende da profundidade da zona de solo mais fraco, o mecanismo de falha mais provável e o declive da encosta. O ambiente em torno do solo desempenha um grande papel na determinação da eficácia da fixação pela raiz. Factores que condicionem ou impeçam o crescimento das raízes incluindo a presença de rochas ou de planos elevados de água subterrânea (mas não só), reduzem as suas funções de estabilização.

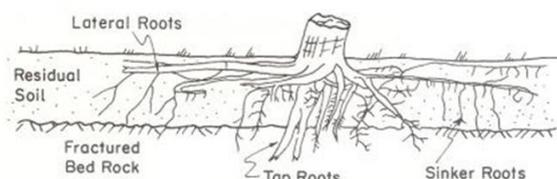


Figure 3-5. Main components of woody root system including lateral, tap, and sinker roots.

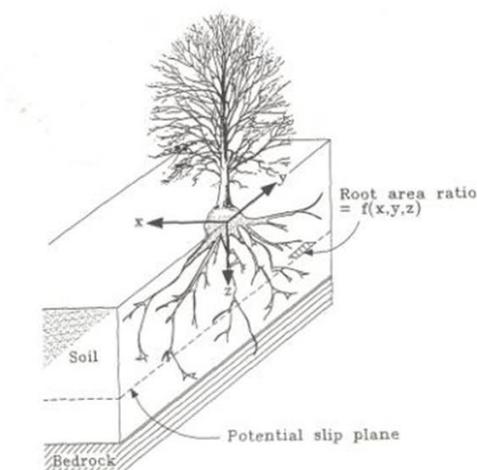
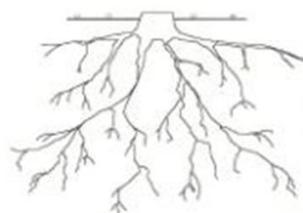


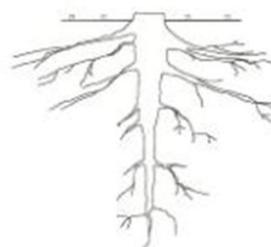
Figure 3-12. Schematic diagram showing variation in root area ratio within a slope. (From: Vegetation and slope stability by D. Greenway, in: *Slope Stability*, edited by M. F. Anderson and K. S. Richards. Copyright 1978. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Ltd.)



**Superficiais:** sem capacidade de estabilização do maciço da encosta



Em **coração:** elevada capacidade de estruturação e agregação



Em **pivot:** elevada capacidade de ancoragem

Principais tipos de raízes

## 6.4 Reforço dos taludes pelas raízes

As espécies de árvores têm um efeito sobre a estabilidade do talude, devido à variabilidade da força da raiz entre espécies. Cada espécie tem a sua própria e única profundidade de raiz, densidade e distribuição espacial. Algumas espécies têm esperança de vida mais curta enquanto outros são mais propensas a distúrbios. As folhosas, especificamente amieiro vermelho, são conhecidas por ter uma vantagem competitiva sobre as coníferas em áreas recentemente perturbadas e muitas vezes são as primeiras a regenerar. Estudos mostraram que muitos deslizamentos de terra ocorreram em estreita proximidade com folhosas. Descobriu-se que mais de 60% dos deslizamentos ocorreram em média a 6 m ou menos de uma folhosa viva enquanto cerca de 80% dos deslizamentos foram uma distância de 6 m ou mais de uma conífera viva. Devido ao curto período de vida do amieiro vermelho e algumas espécies de folhosas, pode haver períodos em que a estabilização do solo pela penetração das raízes é inexistente. As folhosas e as coníferas têm aparelhos radiculares semelhantes e atingido profundidades idênticas. No entanto, foram encontradas coníferas com mais de 25% das suas raízes penetrantes a profundidades maiores do que 60 cm e 10% das raízes em profundidades de 90 cm. Em comparação, apenas 0,5% de raízes de folhosas atingiu profundidade de 90 cm. Uma profundidade de enraizamento maior pode estabilizar um maior volume de solo e potencialmente reduzir o risco de deslizamentos de terra.

## 6.5 Fatores espaciais-temporais das raízes

Três plantações de cedro japonês foram estudadas para determinar a influência de diversos parâmetros na estabilização de taludes. O estudo ajudou a mostrar as diferenças na densidade da raiz e estabilidade de taludes, dependendo da idade e da estrutura suporte. A densidade de raízes descobriu-se ser mais alta na camada juvenil, mas diminuiu na posição intermédia e aumentou novamente na camada madura. Achados semelhantes de densidade de raízes ao longo do tempo têm sido documentados em outras espécies. Não está claro o que provoca os picos de densidade de raízes em diferentes idades de desenvolvimento das árvores. No entanto, na fase juvenil, a densidade da raiz aumenta rapidamente porque as árvores jovens precisam atribuir mais recursos à biomassa abaixo do solo para a absorção de água e nutrientes. Assim que uma árvore atinge a maturidade, há um aumento na densidade de raiz, talvez devido à diminuição da biomassa acima do solo como resultado de uma falta de nutrientes. Há menos demanda por nutrientes e água pelas raízes finas na maturidade, porque a produtividade e a quantidade relativa de biomassa da folhagem da árvore diminuem. Como resultado, as raízes finas eventualmente tornam-se raízes grossas, a fim de fornecer suporte estrutural para a árvore madura. Nas três plantações, a densidade de raiz verificou-se ser maior nos primeiros 0,20 m do solo. As camadas superiores do solo contêm maiores nutrientes e melhor arejamento e teor de humidade. A densidade radicular diminuiu drasticamente com a profundidade devido à falta de nutrientes e condições de crescimento favoráveis. Através de cálculos do factor de segurança verificou-se que a idade da formação vegetal e a sua estrutura têm um efeito na estabilidade do talude. Formações juvenis e intermédias têm os factores de segurança mais elevados (1.59 a 2.03) ao contrário das formações mais maduras (1.32 a 1.54). A vegetação aumenta o factor de segurança para todas as idades da formação por um

factor de 15-27% com um maior aumento em formações juvenis. Isto pode ser atribuído à maior densidade de troncos por ha e à maior densidade de enraizamento das formações juvenis. Foi também demonstrado que o fator de segurança aumenta à medida que o número de árvores aumenta e a distância entre as árvores diminuiu. Por isso, é importante ser extremamente cuidadoso quando se está planeando implementar quaisquer tratamentos silvícolas em encostas instáveis, especialmente em povoamentos antigos.

## 7 Deslizamentos de terras

### 7.1 Valor, benefícios e limitações da vegetação na redução da erosão

Árvores, arbustos, e herbáceas podem manter taludes e reduzir a erosão a partir da água superficial, as águas subterrâneas pouco profundas, em certa medida, processos costeiros. As árvores perenes e outra vegetação são uma mais valia e capazes de proteger o solo e remover a água durante os meses de inverno, quando as plantas de folha caduca estão latentes. A mistura diversificada de ambas perenes e plantas de folha caduca fornecem a maior proteção.

As plantas também podem ter valor como paisagem e barreiras de som, desencorajar o acesso a áreas perigosas, e definir o espaço num quintal. As plantas nativas melhoram o habitat dos animais selvagens, fornecendo nidificação e cobertura, alimentação e corredores seguros. Uma vez estabelecidas, as plantas nativas requerem pouca manutenção ou cuidados. As espécies devem ser escolhidas pela sua facilidade de estabelecimento, adaptabilidade, utilidade e disponibilidade.

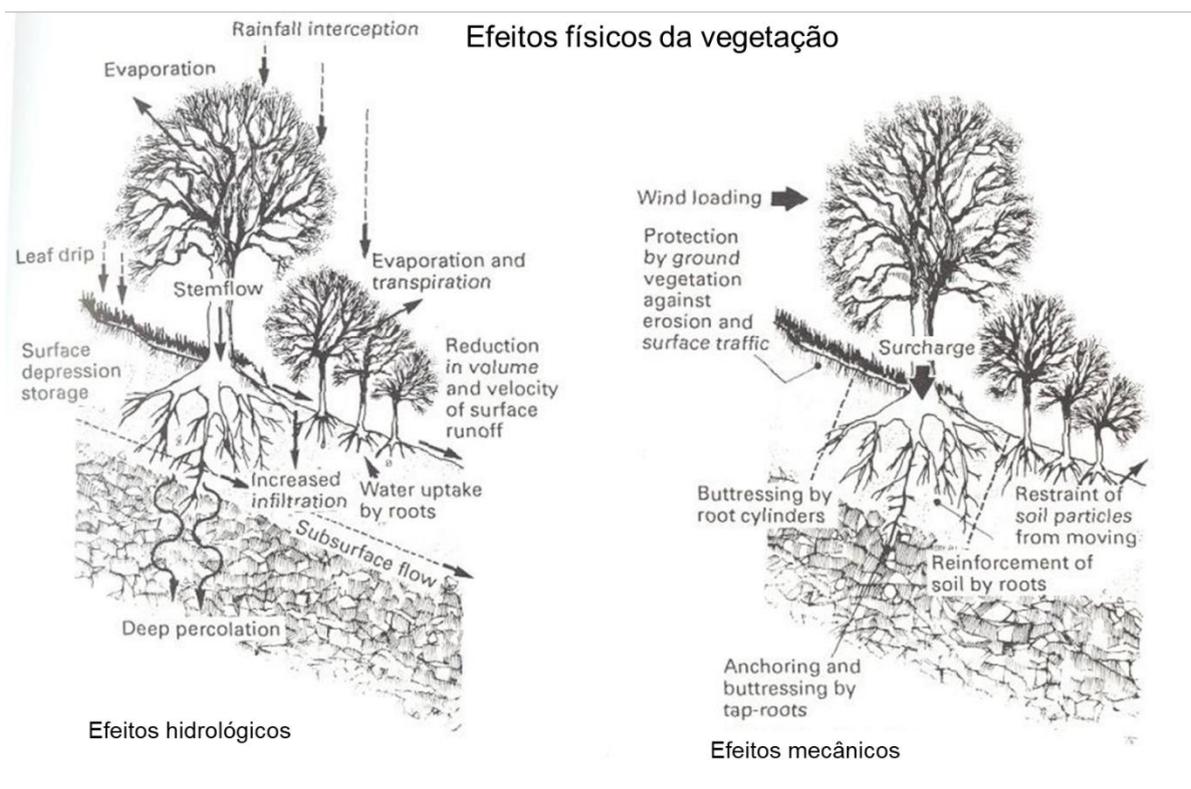


Fig. 7.1 Efeitos técnicos da vegetação num talude

Relvados regados de grande dimensão no coroamento do talude devem ser evitados porque

as herbáceas tendem a aumentar os lençóis de água durante condições de chuva, quando os solos estão saturados. Plantas de folha persistente de baixo crescimento ou plantas perenes devem as que deve estabelecer nas zonas de coroamento do talude.

## **7.2 O valor de vegetação na estabilização de taludes**

A folhagem intercepta a precipitação, provocando perdas de absorção e evaporação que reduzem o escoamento da água de superfície e erosão.

As árvores e arbustos perenes continuam a atividade metabólica conhecida como evapotranspiração, que extrai a humidade do solo, ao longo do ano. À medida que a extração de madeira e limpezas ocorrem, os níveis de água sobem, e solos permanecem saturados por períodos mais longos, reduzindo a coesão do solo e aumentando a taxa de deslizamento de terras.

As raízes reforçam o solo, aumentando a força lateral de atrito e a coesão durante condições de saturação. Muitas encostas podem persistir para além do seu ângulo de repouso e permanecem estáveis, como resultado das redes de raízes complexas dentro de blocos de solo.

As raízes das árvores seguram estratos de solo vertical e lateralmente por meio de raízes estruturais de grande diâmetro. Estas raízes podem ir muito além da copa ou coroa da árvore.

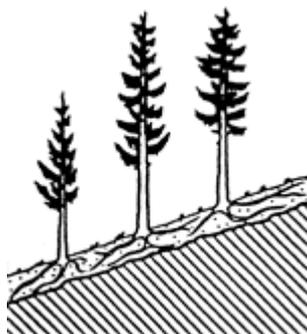
As raízes, especialmente as raízes de alimentação finas das árvores, arbustos e herbáceas, ligam-se às partículas do solo na superfície do chão, reduzindo a sua suscetibilidade à erosão superficial e desmoronamento durante as condições de solo saturado.

Árvores de grande porte podem prender, retardar ou reduzir a gravidade e a extensão das falhas por justaposição uma encosta. Isso funciona da mesma maneira que os muros de contenção. No caso das árvores, porém, o sistema é de certa forma auto-reparador, e torna-se progressivamente mais forte ao longo do tempo, enquanto estruturas de engenharia são mais fortes quando instaladas e tornam-se progressivamente mais fracas ao longo do tempo. Obviamente, árvores plantadas precisam de tempo suficiente para desenvolver sistemas de raízes e tornarem-se eficazes na estabilização de taludes.

## **7.3 Limitações da Vegetação**

Nas imagens seguintes, são mostrados diferentes cenários onde a combinação de diferentes tipos e estratigrafia de raízes dão lugar a diferentes capacidades de consolidação das plantas:

### Tipo A



Caracterizado por solos rasos (menos do que 1 m de profundidade) sobrepondo material que, pela sua origem e natureza origem (crocha compacte, moreias glaciares, lodo denso ou barro) resiste à penetração das raízes. Os solos superficiais são totalmente consolidados com as raízes de árvores. O enraizamento lateral, embora superficial, muitas vezes resiste às falhas das encostas se a densidade e distribuição das árvores forem adequadas para proporcionar uma matriz de raízes-rede interconectada. O enraizamento é horizontal e lateral como um a placa, desenvolvendo-se sobre o plano de fractura. Sujeito a deslizamentos rápidos e superficiais durante eventos extremos de chuva ou neve.

**Efeito de estabilização das raízes:** Moderado se não for comprometido. O solo tende a tornar-se rapidamente instável quando perturbado, ou sujeito a maiores influências hidrológicas. Fixação - menor. coesão do solo - alta.

### Tipo B



Caracterizado por solos pouco profundas (profundidade inferior a 1 metro) sobrepondo o material de origem (areia densa, depósitos de moreias glaciares, etc.) que permitem uma penetração significativa das raízes. O grau de fixação das raízes no material de origem é dependente da natureza das fraturas no material de origem e das espécies de árvores predominantes. As raízes interceptam o plano potencial de falho aumentando a resistência ao escorregamento.

**Efeito de estabilização das raízes:** Alto. As árvores individuais são estáveis sem uma dependência significativa das árvores adjacentes. Ambos os benefícios de coesão e de fixação do solo são elevados.

#### Tipo C



Estes cenários são caracterizados por solos mais profundos (4-1 dm) com uma zona de transição não distinta em que a tensão de cisalhamento do solo aumenta com a profundidade. Os pressupostos incluem: (1) as funções de zona de transição de moderador de drenagem, permitindo a concentração das águas subterrâneas e aumento da pressão da água dos poros; (2) o plano de falha atravessa a zona de transição; (3) zona de solo é mais facilmente penetrada e atravessada por raízes do que em **Tipo B**. (Exemplo: arenoso, franco sobre material solto sobre material compactado).

**Efeito de estabilização das raízes:** Fixação - alta. Coesão do solo - alta.

#### Tipo D



Caracterizado por solos profundos em que quer os solos, quer o plano de falha são mais profundos do que a profundidade de enraizamento. A profundidade real do solo para esta condição ocorrer depende da morfologia das raízes (profundidade, propagação, etc.) das espécies de árvores da encosta. Por exemplo, numa encosta onde predominam amieiros vermelhos, uma profundidade do solo relativamente superficial exibiria condições do Tipo D, enquanto que numa encosta arborizada com abetos-de-Douglas os efeitos estabilizadores seriam significativamente maiores para a mesma profundidade.

**Efeito de estabilização das raízes:** Fixação - menor. Coesão do solo - moderado.

Algumas plantas típicas do Mediterrâneo aumentam a resistência do solo à erosão e deslizamentos superficiais decorrente do escoamento superficial. Algumas espécies mediterrânicas foram submetidas a força de tração das raízes, a tensão de cisalhamento e/ou testes de arranque, e até a arquitetura do seu sistema radicular desenvolvido nas encostas foi estudada. Em geral, o desenvolvimento do sistema radicular é influenciado por fatores genéticos e ambientais, por exemplo o seu teor de lenhina e celulose, estrutura e textura do solo, temperatura e disponibilidade de água, estações e altitude. Na natureza, pode ser observada uma grande variedade de sistemas radiculares, tanto no plano horizontal como vertical. Conseqüentemente, o seu impacto na consolidação de solos é mais ou menos heterogêneo. Por outro lado, eles aumentam a resistência da parte superior do solo à erosão e as raízes mais finas têm uma resistência à tração maior por unidade de área transversal. Por outro lado, as raízes mais grossas podem ser comparadas a unhas biológicas, que provavelmente tendem mais para serem arrancadas do que para quebrarem; as raízes mais grossas usam apenas uma pequena parte da sua resistência à tração. A importância das raízes finas também é demonstrada. A literatura refere também que enquanto a resistência à tração das raízes é geralmente medida em dezenas ou centenas de megapascal e as forças de cisalhamento do solo são normalmente na gama das dezenas de quilopascal, as diferenças entre espécies na resistência à tração das raízes vivas são provavelmente menos significativas para a estabilidade do talude que as diferenças entre espécies na distribuição das raízes. O impacto das raízes de na fixação do solo é geralmente expressa como um aumento da coesão do solo. Um certo número de fatores influencia a análise de resistência à tração: espécies, estação, idade, compactação do solo, deformação de raízes, solo e humidade da raiz, preservação da raiz, análises no campo ou laboratório de teste, o tipo e tamanho do equipamento de análise, procedimento para fixação da raiz, a velocidade da análise e a taxa de alongamento. O método e qualidade da plantação e a poda das raízes (subterrânea) influenciam o desenvolvimento radicular quando se estabelece uma estrutura de suporte plantada. Três métodos principais podem ser utilizados: sementeira direta no local, o transplante de plântulas semeadas em cunetas, plantação de plântulas com raízes expostas e estacaria (de raiz nua, ou em cunetas).

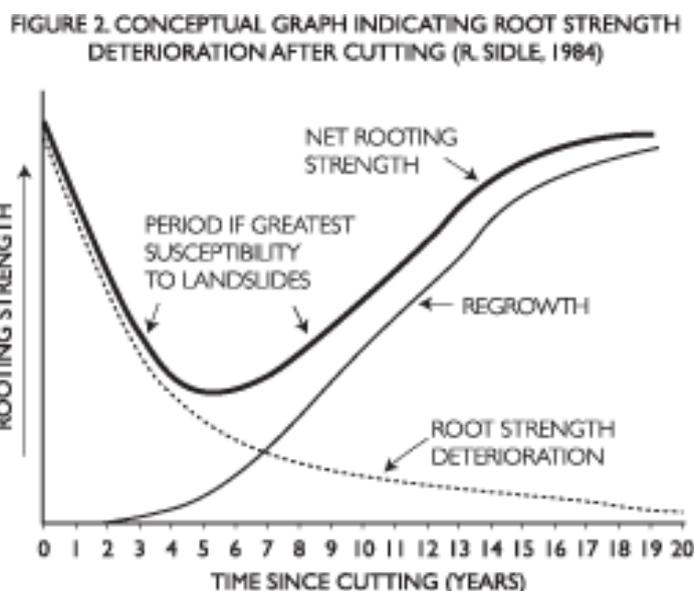


Fig 7.2 Gráfico conceptual indicando a deterioração da força da raiz após o corte (R. Sidle. 1984)

As limitações da vegetação para prevenir, reduzir ou prender falhas nas encostas e erosão são muitas vezes devido às práticas de manejo da terra anteriores, tais como a exploração madeireira, as alterações topográficas, aumento ou fluxo de água de superfície canalizado, cortes rasos. Uma vez iniciadas, falhas nos taludes exigem um gasto de tempo, esforço, planejamento crítico e dinheiro para estabilizá-los com sucesso. O uso da vegetação, em particular, exige previsão e vários anos de monitorização e manutenção até que as plantas estejam estabelecidas e eficazes. O estabelecimento pode demorar até três anos. Pode levar até 15 anos para a vegetação arbustiva desenvolver os valores discutidos acima, ainda mais anos para as árvores alcançarem estatura suficiente para serem eficazes. Os impactos do corte de árvores em encostas íngremes podem levar vários anos para se tornarem aparentes.

Os proprietários dos terrenos precisam estar cientes de que nem toda a vegetação proporciona um controle de erosão eficaz. Só porque é verde não significa necessariamente que funciona. Tais espécies comuns como a amoreira do Himalaia, cavalinha, hera, e amieiro vermelho estão frequentemente presentes em taludes perturbados e têm valor limitado de controle da erosão. Amoreira e hera, em particular, tendem a desencorajar a instalação de vegetação mais desejável.

Em algumas situações, é necessária uma combinação de engenharia geotécnica e técnicas vegetativas para assegurar uma solução prática para problemas de taludes. O melhor momento para empregar meios vegetativos relativamente de baixo custo é antes de ocorrerem falhas graves. Nota: Deve entender-se claramente que as condições climáticas anormalmente duras antes do pleno desenvolvimento de uma matriz de raiz vegetativa podem resultar numa falha ou falha parcial de um tal sistema de estabilização de taludes. Empreiteiros de paisagismo devem compreender os processos que afetam os taludes, técnicas a serem implementadas para garantir o sucesso, e os potenciais perigos de trabalhar em encostas íngremes em áreas vulneráveis.

Há várias situações onde a vegetação é relativamente ou totalmente ineficaz para proteger um talude de ruir. Estes incluem: (1) margens baixas susceptíveis à ação erosiva das ondas; (2) áreas de instabilidade geológica profunda; (3) margens e encostas quase verticais; e (4) áreas instáveis muito húmidas ou secas para a vegetação se poder estabelecer.

## **7.4 Recomendações**

Plantações em áreas que não foram, recentemente, sujeitas a falhas de taludes são um investimento adequado. Medidas preventivas, implementadas antes que ocorram problemas graves, são relativamente baratas. Ter em mente que as plantações de espécies mais desejáveis para substituição de espécies existentes, tais como amieiro vermelho devem estar bem estabelecidas (2-3 anos) antes dos amieiros serem removidos, de forma a manter os benefícios de ligação do solo adequados dentro da zona de raiz eficaz (ERZ) das árvores cortadas. A ERZ pode ser determinada aproximadamente como um diâmetro 15 cm maior

do que o diâmetro do aparelho radicular por cada centímetro e meio do diâmetro do tronco. Em preparação para a plantação, amieiros como prunosas podem ser distribuídos com compassos amplos que não ponham, contudo, em risco a estabilidade da encosta durante o período de estabelecimento. O corte de árvores em encostas sem posterior replantação pode ter sérias consequências futuras.

A seleção adequada de espécies arbustivas e arbóreas a colocar na encosta vai minimizar os requisitos de manutenção, melhorando significativamente a estabilidade do talude. Dever-se-á ter cuidado na seleção de espécies que se desenvolvem sob condições específicas do local encontrados no local na encosta. Estes incluem a humidade do solo, luz / sombra, e o tipo de enraizamento.

## 8 TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL EM SISTEMAS TERRESTRES

### 8.1 Técnicas de proteção do solo

#### 8.1.1 Sementeira

##### Vantagens e desvantagens (adaptado de Coppin e Richards, 1990)

	Sementeira mecânica em linhas	A lança	Hidrosementeira (com ou sem mulch)	Com mulch seco (palha)	Com fenos	Com geotexteis orgânicos
<b>Topografia e terreno</b>	Declives < 15°, necessário terreno adequado	Declives < 20° ou superiores se inteiramente manual. Adequase a terreno rugoso	Qualquer terreno dentro do limite de alcance do aspersor (40 a 200 metros)	Qualquer terreno, declives < 45° mas alcances de apenas 20 a 30 metros	Qualquer terreno, declives < 45° mas alcances de apenas 20 a 30 metros	Qualquer terreno, declives < 45° mas limitado ao método de sementeira (a lança ou hidro-sementeira)
<b>Obstruções</b>	Limitadas, a abertura do covacho precisa de sítios limpos	Poucas limitações	Poucas limitações	Poucas limitações	Poucas limitações	Poucas limitações
<b>Época do ano e precipitação</b>	Limitada por uma humidade do solo elevada	Limitada à estação húmida, a incorporação mulch alarga o período de aplicabilidade	Limitada à estação húmida, o mulch alarga o período de aplicabilidade	A presença do mulch alarga o período de aplicabilidade e protege a semente em ambientes mais agressivos	A presença do mulch alarga o período de aplicabilidade e protege a semente em ambientes mais agressivos	A presença do geotextil alarga o período de aplicabilidade e protege a semente em ambientes mais agressivos
<b>Textura do solo</b>	Não em solos pedregosos, difícil em solos pesados	Solos irregulares permitem que as sementes se alojem em cavidades do solo com	Solos irregulares permitem que as sementes se alojem em cavidades do solo com microclima mais favorável	Qualquer	Qualquer	Qualquer

	Sementeira mecânica em linhas	A lança	Hidrosementeira (com ou sem mulch)	Com mulch seco (palha)	Com fenos	Com geotexteis orgânicos
<b>Quantidades unitárias de sementes</b>	Pequenas quantidades são suficientes	Maiores quantidades para garantir o sucesso e cobrir falhas	Maiores quantidades em solos pobres para garantir o sucesso e cobrir falhas	Maiores quantidades em solos pobres para garantir o sucesso e cobrir falhas	Apenas o complemento necessário às sementes presentes no feno	Maiores quantidades em solos pobres para garantir o sucesso e cobrir falhas
<b>Dimensão das sementes</b>	Adequada apenas a sementes pequenas e uniformes, a mistura tem de ser misturada previamente	Pode utilizar uma grande diversidade de tamanhos previamente misturados	Pode utilizar uma grande diversidade de tamanhos sem necessidade de mistura prévia	Pode utilizar uma grande diversidade de tamanhos sem necessidade de mistura prévia	Pode utilizar uma grande diversidade de tamanhos sem necessidade de mistura prévia	Pode utilizar uma grande diversidade de tamanhos com ou sem necessidade de mistura prévia
<b>Distribuição das sementes</b>	Uniforme, em linhas, o solo entre as linhas não fica protegido	Variável, aleatória	Aleatória, de difícil controlo com operadores inexperientes			
<b>Estabelecimento das sementes</b>	Método mais efectivo	Variável, melhora com a incorporação	Variável, melhora com a adição de mulch	Boa, nas condições adequadas	Boa, nas condições adequadas	Boa, nas condições adequadas
<b>Fertilização</b>	Normalmente constitui uma operação separada	Operação separada. A incorporação garante a mistura	É normalmente realizada na mesma operação			

	Sementeira mecânica em linhas	A lança	Hidrosementeira (com ou sem mulch)	Com mulch seco (palha)	Com fenos	Com geotexteis orgânicos
<b>Mulching e incorporação</b>	Desnecessário. As sementes são colocadas à profundidade adequada	Desejável. Operações separadas excepto em terreno muito rugoso	É normalmente realizada na mesma operação	É normalmente realizada na mesma operação	É normalmente realizada na mesma operação	Desejável. Operações separadas excepto em terreno muito rugoso
<b>Equipamento</b>	Semeadores	Facilmente disponíveis: manual, tractor ou helicóptero	Equipamento especializado	Equipamento especializado	Equipamento especializado	Dependendo da técnica de sementeira pode necessitar de equipamento especializado
<b>Custo relativo</b>	Reduzido em terrenos favoráveis	Mais barata em áreas adequadas	Cara, mas com custos eficientes em terrenos rugosos	Cara, mas com custos eficientes em terrenos muito difíceis	Cara, mas com custos muito eficientes em terrenos muito difíceis	Cara, mas com custos eficientes em situações de elevada susceptibilidade
<b>Dificuldade e logística</b>	Simples. Recurso a maquinaria agrícola standard	Muito simples. Recurso a maquinaria agrícola standard	Maquinaria e operadores especializados. De realização rápida	Maquinaria e operadores especializados. Processo complexo	Maquinaria e operadores especializados. Processo complexo	Maquinaria e operadores especializados. Processo complexo

## **Descrição da principais tipologias de sementeira**

### **Sementeira manual:**

- a) Com misturas comerciais de origem certificada (origem das espécies, composição de mistura, grau de pureza, grau de germinação);
- b) Com flores colhidas diretamente no campo a partir de estações com condições semelhantes àquelas em que deve operar.

A cobertura é imediata, com um efeito anti-erosão da superfície determinado pelo retículo radical enterrado no solo (10 - 30 cm).

### **Aplicações**

Superfícies planas ou com declives de menos de 25 ° - 30 °, destinadas a revegetação, de acordo com as condições ambientais (exame das condições pedoclimáticas, análise florística e / ou da vegetação), para evitar escoamento e a erosão do vento e para limitar a secagem.

### **Materiais**

Sempre que houver necessidade, a sementeira é combinada com a disseminação de fertilizantes orgânicos e / ou inorgânicos, cuja quantidade varia de acordo com o período de intervenção: na primavera será maior, porque a estação permite que as plantas utilizem a maior parte deles; no outono para evitar lixiviação a quantidade não utilizada pelas plantas para a chegada da estação fria.

Uma variante melhorada de sementeira é o Método Schiechteln que inclui, além da sementeira, a colocação na terra de mulching com palha de fibra longa e fixando-o com uma emulsão agregante. É muito adequado para substratos pobres em matéria orgânica, pouco profundos e solos secos localizados em altas altitudes, e zonas montanhosas na área do Mediterrâneo.

## **Hidrossementeira**

### **Descrição**

A projeção das sementes é feita por uma máquina hidrossementeira, equipada com tambor, de uma mistura composta principalmente de sementes, aditivos, fertilizantes e água. Os vários componentes da mistura são misturados de formas mecânicas, que é então pulverizada sobre as superfícies a ser revestidos com gramíneas, por meio de bombas e injetores com a pressão adequada, o que não danificam as sementes. A presença de adesivos garante a proteção das sementes durante a primeira fase de germinação.

### **Aplicações**

Superfícies caracterizadas pela ausência ou falta momentânea de húmus, superfícies ou áreas íngremes dificilmente acessíveis com superfície de desenvolvimento considerável. O efeito anti-erosão é imediato, graças à presença de uma película devido ao adesivo/colante e, em seguida, o retículo radical

enterrado no solo (10 - 30 cm). Num curto espaço de tempo, é desenvolvido um ambiente adequado para a microfauna é.

### **Materiais**

As sementes serão fornecidas com certificação de origem da semente e em quantidades não inferiores a 30 - 60 gr / m<sup>2</sup>, água, fertilizantes / adubos, corretivos do solo, adesivos. A percentagem dos diferentes componentes da mistura varia de caso para caso; por isso é necessário realizar primeiro uma análise de teste que permite avaliar a composição.

### **Hidrossementeira aplicada sobre uma camada 3D**

#### **Descrição**

Projeção, em duas passagens, através de uma máquina hidrossementeira, de mistura de sementes, adubos, adesivos, de fibra orgânica (bagaço) e água para o revestimento da superfície. A distribuição deve ser homogênea e as camadas terão uma espessura de 0,5 a 2 cm. O uso de adesivos promove a fixação das sementes ao substrato e a formação de uma película anti-erosão, de suporte nas fases iniciais de germinação das sementes. O uso de fibra orgânica aumenta as funções de retenção de humidade e de suporte orgânico, o que facilita a germinação das sementes e o desenvolvimento da planta.

#### **Aplicações**

Superfícies flutuantes livres de solo vegetal, sujeitas a erosão, são por vezes combinadas com revestimentos vegetativos em malha de arame e esteiras, terra verde reforçada, etc. Taludes rodoviários e ferroviários, pedreiras, lixeiras. Encostas com declive excessiva, áreas com períodos prolongados de seca, encostas sujeitas ao movimento do solo. Esta técnica é bem adaptada para a eco-região Mediterrânea.

### **Materiais**

Meio mecânico (máquina hidrossementeira), fibras orgânicas (300-700 g / m), adubos e fertilizantes, sementes, adesivos à base de polímeros, água. A composição da mistura e a quantidade de sementes devem ser escolhidos na sequência de uma análise estacional, que leva em conta as características pedoclimáticas e da vegetação locais.

### **8.1.4 Mantas orgânicas**

#### **Descrição**

Mantas de fibra vegetal (palha, coco, misto) ou comm fios de juta ou de coco (de resistência notável), utilizados nos tratamentos anti-erosão de encostas que são pobres em matéria orgânica e sujeitas a forças erosivas. A manta é colocada para fora e fixa ao substrato por cavilhas de várias formas. É normalmente combinada com a sementeira e a plantação de estacas e / ou arbustos. Esta técnica tem

uma execução rápida e simples, com proteção imediata da superfície. Permite o encharcamento de superfícies inclinadas, com solos com poucos recursos físicos. Químicos e orgânicos, pouco estáveis. Os materiais do solo subjacente à manta são retidos, impedindo assim que sejam transportados para jusante.

### Aplicações

A juta é adequada em encostas com baixo declive, em rochas soltas (cascalhos, argilas), desnudados ou substratos recém-formados, mesmo irregulares, possivelmente com um substrato de terra sobre a superfície, substratos com pouca ou excessiva drenagem: a água infiltra-se, mas não estagna e não provoca erosão. As malhas da manta permitem que as plantas cresçam, assegurando assim a proteção da superfície assim que a manta se degrade por completo.

As mantas com fios de coco são adequadas nas encostas com declive maior em substratos de drenagem secos e fortes. Elas também são adequadas para taludes erodidos sujeitos a submersão periódica. As mantas protegem as escarpas da erosão meteórica e vento, melhoram o equilíbrio hídrico e térmico no solo, e trazem substância orgânica. A sua duração é variável, a fibra de coco, em particular, dura até 5 - 6 anos, mas a degradação final é completa.

### Materiais

Mantas biodegradáveis feitas de palha orgânica, fibra de coco ou de fibras misturadas com um peso não inferior a 250 g / m<sup>2</sup>, geralmente suportado por um tecido de fibras de foto biodegradável, com uma malha mínima de 1x1 cm, ou papel costurado com fio biodegradável, eventualmente pré-formado; mantas tecidas (geralmente com fios de juta ou de coco); suportes ou cavilhas em ferro de aço, em forma de U ou de madeira; mistura de sementes (40 g / m<sup>2</sup>); estacas e arbustos nativos.

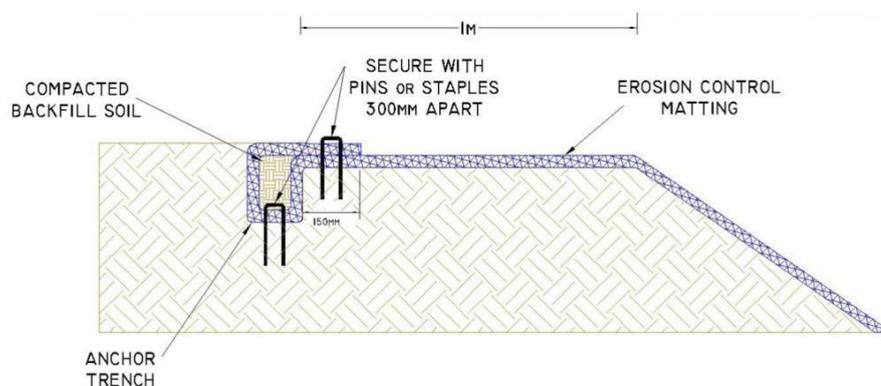


Fig. 8.1 Detalhe de mantas orgânicas para controle da erosão (Fonte: ECTC de 2008)

## 8.2 Uso de material lenhoso

### 8.2.1 Estacas vivas

#### Descrição

Estacas lenhosas e / ou ramos das espécies de plantas com capacidade de propagação vegetativa no

solo ou nas fissuras entre pedras, inserção em paliçadas vivas, gabiões e terras reforçadas. O uso de salgueiros é clássico, bem como outras espécies, tais como ligustro e tamargueira (o último resistente às condições alternadas de forte aridez e a presença de sais no solo). A densidade das plantas aumenta à medida que o declive aumenta: de 2-5 estacas / m<sup>2</sup> de 5-10 estacas / m<sup>2</sup>. A estabilização / efeito de consolidação em profundidade aumenta com o comprimento da parte enterrada das estacas. A estabilidade da encosta e da consolidação superficial do solo são limitadas ao desenvolvimento de um sistema radicular adequado. A poda ocasional de endurecimento e desbaste devem ser realizados para evitar populações monoespecíficas.

O efeito de drenagem (os salgueiros são verdadeiras "bombas de água") é devido à absorção e transpiração do material vivo usado.

Os galhos devem ser recolhidos e usados rapidamente. Armazenamento por períodos mais longos podem ser realizadas em armazéns refrigerados a baixas temperaturas (4-5 ° C) e 90% de humidade ou submersos em tanques de água fria.

### **Aplicações**

Encostas com declive limitado; interstícios e fissuras de penhascos, paredes, gabiões, terras reforçadas; como estacas vivas na colocação de redes, mantas, faxinas. A ação é inicialmente pontual, mas extensa e cobertura após o desenvolvimento (6 meses ÷ 1-2 anos).

Ampla aplicabilidade, com exclusão de substratos pedregosos e particularmente áridos: as várias espécies de salgueiros cobrem uma ampla gama de ambientes desde o nível do mar até 2000 m de altitude e mais além, mas temem as condições de forte aridez dos climas mais xéricos como é o caso dos climas mediterrânicos, a salinidade do substrato (proximidade ao mar), o excesso de sombra. Para as situações anteriores, a *Tamarix sp* resiste bem, mas não pode ser utilizada em alturas superiores a 4-500 m de altitude.

### **Materiais**

Para ser enterrado ou disposto sobre o solo: ramos de 2 ou mais anos,  $\varnothing$  2 ÷ 5 cm, L = 0,50 ÷ 0,80 m (ou mesmo 3m em certas técnicas), árvores lenhosas em arbusto geral com capacidade de propagação vegetativa (salgueiro); inserção durante a construção: galhos vivos de L 1 ÷ 5 m e diam. 1-5 cm.

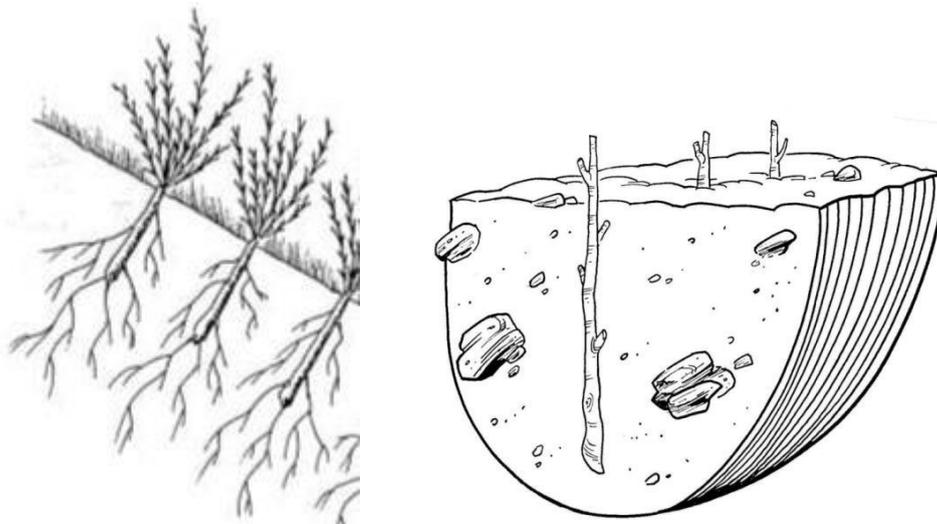


Fig. 8.2 Fonte: Polster de 2001

### 8.2.2 Plantação de arbustos

#### Descrição

Esta técnica consiste na plantação de arbustos indígenas jovens em torrões em vasos ou fitocélulas (de produção em viveiro) em furos especialmente preparados de tamanho apropriado para acomodar a raiz inteira ou a totalidade do volume da raiz da planta. A plantação deve ter lugar de acordo com um sexto da plantação irregular e com diferentes espécies dispostas em mosaico. Durante os primeiros anos, as plantas devem ser equipadas com um tutor, mulch na base para reduzir a competição com as espécies herbáceas e rede cilíndrica para a proteção da fauna. O transplante de raiz nua, amplamente utilizado na Europa central e também nas áreas alpinas italianas, não é muito viável nas regiões do sul. A estabilização do solo é limitada para o desenvolvimento de um sistema de raiz adequado e, por conseguinte, esta condição deve, inicialmente, ser garantida por outros materiais.

#### Aplicações

Superfícies de baixo declive, de preferência com a presença de solo orgânico. Em solos sem esta substância deve preparar furos no substrato e enchê-los com uma certa quantidade de solo para plantas, fibras orgânicas e fertilizantes adequadas para garantir o enraizamento das plantas; em tal terra ainda será de preferir a escolha de plantas com um comportamento pioneiro das etapas correspondentes à potencial dinâmica natural do local.

#### Materiais

Arbustos de viveiro em recipientes; altura entre 0,30 e 0,80 m; discos mulching, ou casca de pinheiro; tutores; redes de proteção anti-danos.

### 8.2.3 Entrançado vivo

#### Descrição

Esta técnica consiste em entrelaçamento de hastes de espécies lenhosas com capacidade de propagação vegetativa, em torno de estacas de madeira. Uma estabilização rápida é obtida até 25-30 cm de profundidade e contenção imediata do material. É uma técnica adaptável à morfologia da encosta. A sua execução exige mão de obra considerável e hastes longas e elásticas em quantidade suficiente nem sempre estão disponíveis para tecer. A estabilização é imediata para as camadas superficiais do solo, e há uma melhoria quando as hastes têm raízes, mesmo se o enraizamento é modesto em comparação com a quantidade de material utilizado.

Muitas vezes pode acontecer que os postes são quebrados devido a um excesso de carga a partir do aterro ou devido às pedras que caem de cima. Neste caso, são necessárias obras de manutenção e a substituição dos postes quebrados. O efeito estabilizador ocorre apenas no caso de vazios subterrâneos e de base, no qual os fenômenos de vegetação rasteira e enfraquecimento são reduzidos.

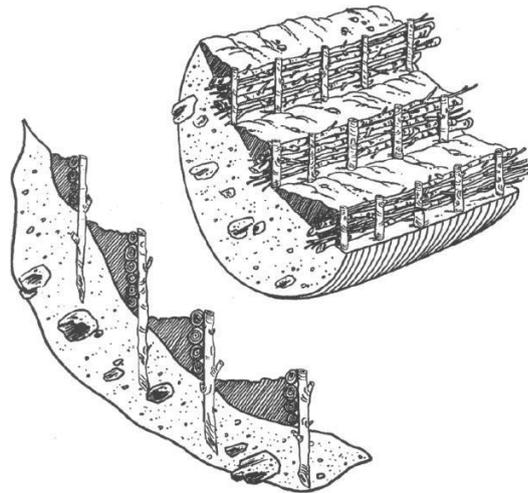


Fig. 8.3 Entrançados (Fonte: Dave Polster, 2002)

#### Aplicações

Desliza com inclinação máxima de 40 ° e submetida a movimento da superfície da terra ou deslizamentos modestos. Taludes de cursos de água a uma velocidade média-baixa e transporte reduzido de sólidos. Não é uma técnica que possa ser usada em cursos de água de alta energia.

Esta técnica pode ser usada em solos pedregosos ou rochosos, quando combinado com o suporte do solo.

## Materiais

Hastes elásticas com caruncho, adequadas para tecelagem e com capacidade para propagação vegetativa (salgueiros, *Tamarix sp*), não muito ramificadas, L min. 1,50 m e o da base não menos do que 2-4 cm; postes em coníferas ou madeira de castanheiro Ø 5 ÷ de 8 cm, L = 1,00 ÷ 1,50 m; cavilhas de ferro Ø 14 ÷ 16 mm, L 50 centímetros ÷ 1m.

### 8.2.4 Faixas de vegetação

#### Descrição

Consiste na plantação, dentro de socalcos escavados em filas paralelas em encostas, de ramos de plantas lenhosas com capacidade de reprodução vegetativa (*Salix sp*, *Tamarix sp*, etc) e / ou arbustos nativos enraizados e revestimento subsequente com o material proveniente da escavação superior. Um enraizamento profundo com efeito de drenagem é obtido; tanto a erosão e movimento do solo são impedidos; o escoamento superficial é abrandado. A plantação de madeiras enraizadas nas linhas permite atingir mais rapidamente um estágio avançado da série de vegetação potencial.

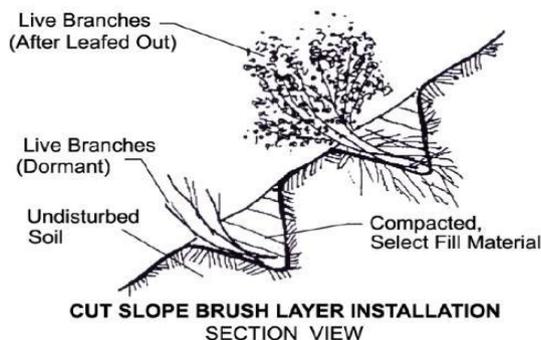
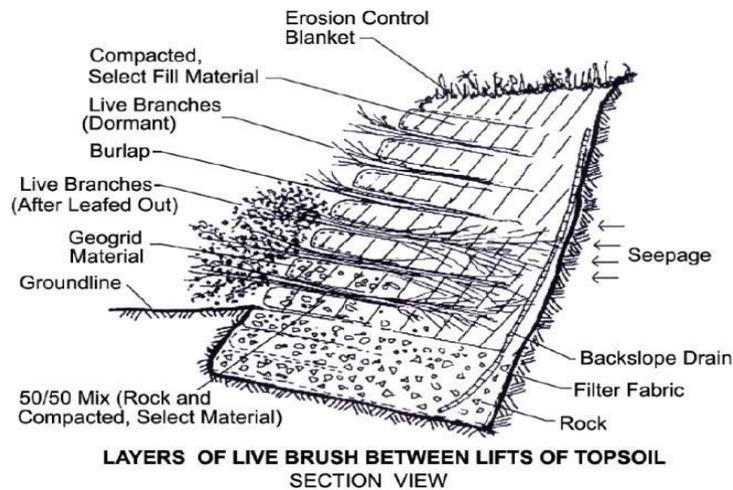


Fig. 8.4 Detalhes de faixas de vegetação (Instituto de Ciência Água, NRCS)

A técnica é cara devido à alta exigência de material vegetal. No caso do aterro, a colocação de estacas, ao mesmo tempo que a colocação do solo em cada faixa determina um efeito semelhante ao da terra reforçada, para a consolidação em profundidade.

### **Aplicações**

Encostas incoerentes, deslizamentos superficiais, detetados durante a fase de execução. Estabilização de aluimentos em material aluvionar ou proveniente de moreias glaciares, com um declive máximo de 40 °.

### **Materiais**

Ramos ou varetas de espécies com capacidade de reprodução vegetativa; arbustos enraizados.

## **8.2.5 Fascinas vivas**

### **Descrição**

Plantação de feixes vivos de espécies de madeira com capacidade de propagação vegetativa (hastes atadas com arame) no interior de um sulco:

- a) no declive: presas com cavilhas cravadas através dos feixes ou em frente a eles;
- b) na margem: enterrar estacas de madeira com orientação alternada, para assim tornar a estrutura mais elástica e maior suporte no caso da construção de esporões fluviais, por isso, é necessário fornecer o espaço necessário para o fluxo regular de água. A estabilização é rápida e fácil de implementar. Os custos também são contidos para movimentos de terra pobres. No entanto, o efeito de profundidade é limitado e os feixes são sensíveis à queda de pedras. Os ramos mais externos estão sujeitos à abrasão. Em taludes podem funcionar como drenos biotécnicos.
- c) mortos: ao longo das margens dos cursos de água a baixa velocidade de água e de transporte limitado de sólidos, feixes mortos das espécies de madeira são colocados, dispostos longitudinalmente na margem abaixo do nível médio de água. Obtém-se proteção imediata do pé num pequeno espaço e com o uso limitado de material. Executável em qualquer época do ano, também atua como um abrigo para pequenos animais aquáticos. Normalmente, não são aplicadas como uma solução de intervenção única, mas combinadas com outras técnicas envolvendo o uso de material vivo. As fascinas mortas constituem, portanto, uma protecção complementar provisória para outras técnicas de engenharia natural.

### **Aplicações**

Esta técnica pode ser usada em encostas com declive não superior a 35 °, com a necessidade de drenagem biotécnica, taludes rodoviários e ferroviários, escarpas de aterros sanitários. Cursos de água de média energia com taxas de fluxo relativamente constantes e nível médio.

## Materiais

a) e b) madeira com caruncho com capacidade de propagação vegetativa (salgueiro, tamargueira)  $\varnothing$  min. 1 cm e L min. 2,00 m; fio; postes de madeira  $\varnothing$  5 cm ou estacas de ferro  $\varnothing$  8 ÷ 14 mm e L min. 60 cm; terra.

c) hastes mortas com caruncho  $\varnothing$  min. 2 cm e L min. 2,00 m; postes de madeira  $\varnothing$  5 cm ou estacas de ferro  $\varnothing$  8 ÷ 14 mm e L min. 60; pedra.

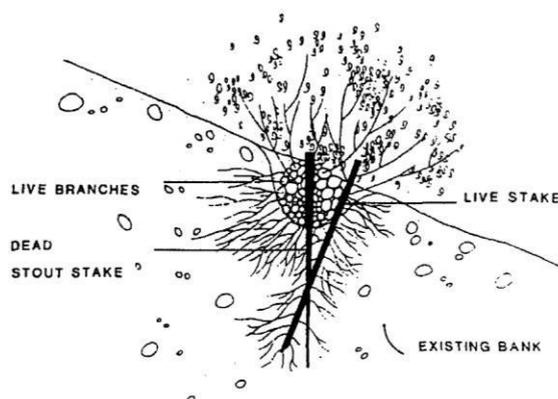


Fig. 8.5 Detalhe de uma faxina viva (Fonte: Robbin B. Sotir and Associates)

## 8.2.6 Paliçada viva

### Descrição

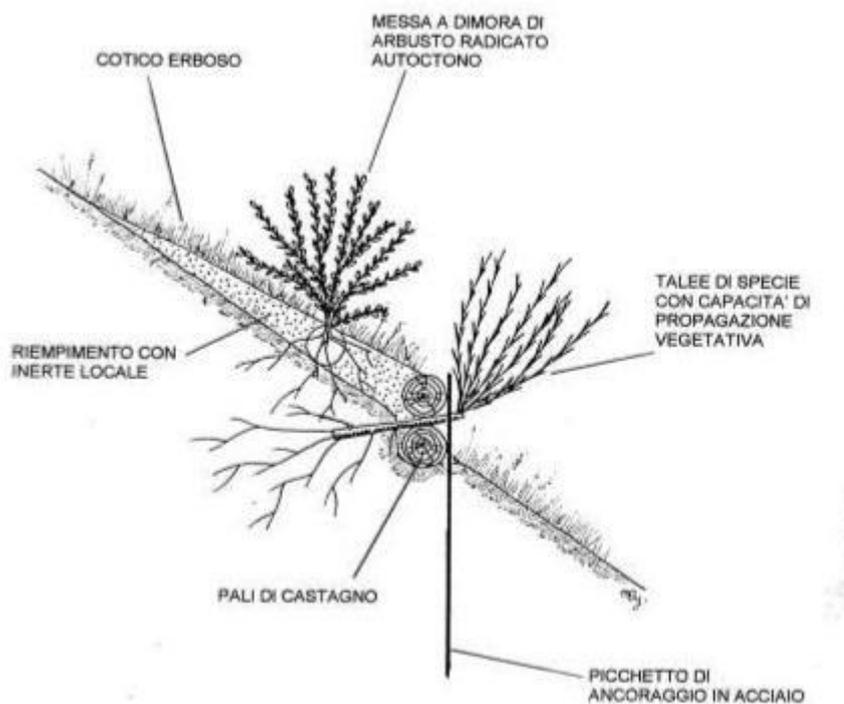
Intervenção para a estabilização de taludes consistindo na construção de estruturas de madeira, transversais à linha de declive máximo, constituídas por duas filas sobrepostas de troncos fixos com pinos de ferro, plantando estacas entre os dois troncos e arbustos a montante. Esta intervenção é caracterizada por valor de aplicação abrangente, limitado à estabilização superficial das encostas, tanto na escavação e em relevo.

### Aplicações

Escarpas em escavação, consolidação de sulcos de erosão, acumulação de material solto, em caminhos de incêndio, etc.

### Materiais

Castanheiros ou troncos de coníferas (exceto abeto)  $\varnothing$  15 ÷ 25 centímetros, G = 2,00 ÷ 5,00 m; cavilhas de ferro  $\varnothing$  14 (16) milímetros, L 40 ÷ 100 cm; estacas lenhosas de salgueiros; , arbustos indígenas; sementes nativas.



### 8.3 Técnicas de construção combinadas: técnicas de consolidação

#### 8.3.1 Grade viva

##### Descrição

Estrutura de toros obtida colocando troncos verticais e horizontais dispostos perpendicularmente uns aos outros, os últimos sobrepostos sobre os verticais e pregados a eles. No interior das câmaras, assim, obtidas, estacas de salgueiros e / ou arbustos enraizados (suportados, muitas vezes por malha galvanoplastida) são colocados durante a construção, e o conjunto é coberto com material terroso. A estabilização é imediata graças ao reforço de madeira e o efeito aumenta com o enraizamento das espécies de plantas, que também executam uma ação de drenagem. A madeira apodrece com o tempo pelo que, simultaneamente com um bom ancoramento a inserção das plantas na estrutura é vital para através do seu enraizamento profundo continuarem preencher as funções da grade viva. Para além do momento em que a madeira deixe de cumprir as suas funções.

##### Aplicações

Reconstrução do perfil de deslizamentos de terras com declives entre 45 ° e 55 °, que não podem ser reduzidos; encostas de infra-estruturas rodoviárias.

##### Materiais

Castanheiro ou troncos de coníferas (exceto abeto) Ø 15 ÷ 25 centímetros, G = 2,00 ÷ 5,00 m; cavilhas de ferro Ø 14 (16) mm, L = 40 ÷ 100 cm; estacas lenhosas de salgueiros L min. 1.00 m; inerte; sementes adequadas; arbustos nativos; arame e pregos galvanizados.

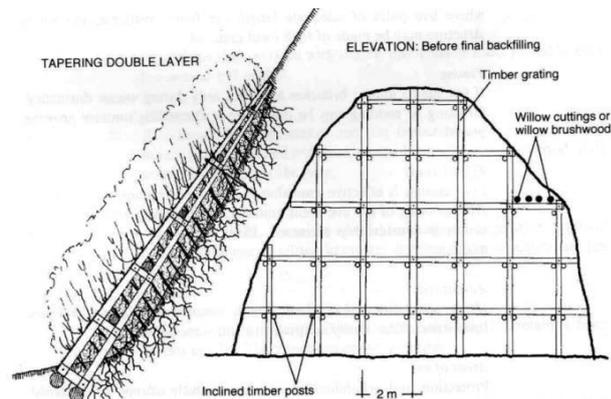


Fig. 8.6 Detalhe de uma grade viva (Fonte: Schiechl e Stern de 1996)

### 8.3.2 Muro de suporte vivo

#### Descrição

Estrutura de madeira que consiste num quadro de toros para formar câmaras nas quais são inseridas estacas e / ou faxinas de espécies com capacidade de propagação vegetativa. O trabalho, colocado na base de uma encosta ou de uma margem, é completado com o enchimento com material inerte e pedras na parte abaixo do nível médio de água. As pedras e os feixes colocados para fechar as células para o exterior garantem o não esvaziamento da estrutura. As estacas inseridas em profundidade são necessárias para garantir o enraizamento das plantas que em ambientes Mediterrânicos sofrem com condições de seca. O efeito de consolidação é notável, que é inicialmente ligado à durabilidade da madeira e é substituído ao longo do tempo pelo desenvolvimento da vegetação (biomassa aérea e sistema radicular). Neste sentido, alturas de menos de 2,5 m são recomendadas.

A madeira com o tempo deteriora-se, por isso além de pregar bem, é necessário que as plantas inseridos na estrutura tenham um bom desenvolvimento, a fim de, ao longo do tempo, cumprir a função de apoio e consolidação da encosta. A função de estabilização transferida entre os toros e a vegetação deve ser assegurada por meio de um bom design da técnica.

#### Aplicações

Esta técnica pode ser utilizada para a consolidação das encostas e deslizamentos de terra; na base de taludes rodoviários ou ferroviários; margens fluviais sujeitas a erosão dos cursos de água de médio de energia – elevado transporte de sólidos também de tamanho médio. A variante de um muro (caso muro de suporte vivo simples) é preferível em espaços limitados ou possibilidades de escavação.

#### Materiais

Troncos de castanheiro ou resinosas descascadas  $\varnothing 20 \div 30$  centímetros; tachas de metal  $\varnothing 12 \div 14$  mm; estacas e galhos (para ser combinado com lâminas vivas de salgueiro  $\varnothing 20 \div 30$  centímetros e feixes mortos  $\varnothing 25 \div 30$  cm no caso de margens empilhadas); materiais inertes do solo e rochas (nas margens empilhadas); arbustos nativos.

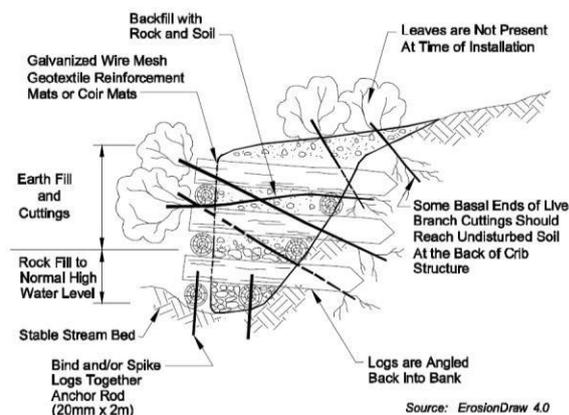


Fig. 8.8 Muro de suporte vivo em detalhe (Fonte: ErosionDraw 4.0)

### 8.3.3 Gabião vivo

#### Descrição

Técnica adequada para ambos os arranjos lineares e arranjos pontuais, consistindo de gabiões em malha de arame galvanizado duplo-torcido e malha hexagonal, preenchido no local com pequenas pedras de um tamanho mínimo de 15 cm, dispostas em filas paralelas sobrepostas. Dentro dos gabiões são inseridas estacas de salgueiro ou tamargueira com disposição irregular ou em filas na primeira malha do gabião superior (não entre um gabião e o outro). Para evitar a erosão da base, antes da colocação dos gabiões, uma fundação adequada prolongada é preparada em direção ao centro do leito (colchão). Estrutura de suporte elástica, muito adequada para à acomodação em condições de declive íngreme e em espaços limitados; o uso de seixos locais assegura uma coerência visual da estrutura com a a litologia local; ao longo de um período de 1-2 anos, as raízes dos salgueiros ou tamargueiras aumentam a estabilidade da própria estrutura, que também é mascarada pelo desenvolvimento das partes aéreas. Na sua utilização combinada com as plantas vivas que se prestam a várias aplicações de engenharia natural, que são suscetíveis a evolução adicional devido à adaptabilidade dos materiais. Já o seu uso tradicional tem plasticidade considerável dando origem a processos de renaturalização espontânea ao longo do tempo. Pode realizar tanto uma função de proteção contra a erosão nos rios e, ao mesmo tempo apoio da margem em caso de instabilidade gravitacional. São estruturas permeáveis que não impedem a filtração de água das e para as margens. Devem ser usados verificando a estabilidade em relação às tensões de arrastamento devido à ação da água. Geralmente, não são recomendados para utilização na presença de transporte intenso de sólidos, caracterizado por material de grande dimensão. Eles são usados para construir estruturas de apoio por gravidade, caracterizadas por uma elevada flexibilidade e permeabilidade. Eles devem ser dimensionados como obras de apoio pela realização dos controlos de estabilidade apropriados. A execução é rápida e simples, com efeito de contenção imediata. A realização é preferível em áreas com disponibilidade de material de pedra.

## Aplicações

Defesa longitudinal e / ou transversal dos cursos de água; base de encostas costeiras e instáveis; encostas de erosão; bridle in floodplains flooded occasionally; phytodepuration systems; defesa e apoio das margens de lagos; reconstrução e / ou substituição de muros de contenção de betão em terreno instável.

## Materiais

Seixos do rio  $\varnothing$  15 ÷ 30 cm ou pedras; caixa em arame de aço galvanizado (deve ter uma cobertura de proteção, se em contacto com a água), tipo torcido duas vezes 8 x 10 mesh; fio de ferro galvanizado  $\varnothing$  pontos de 2,2 mm ou de metal mecanizada em aço  $\varnothing$  3,0 milímetros; estacas de salgueiro ou *Tamarix sp* suficientemente longas para tocar o solo natural atrás do gabião, geralmente 1,5 - 2 m e o min. 2 cm.

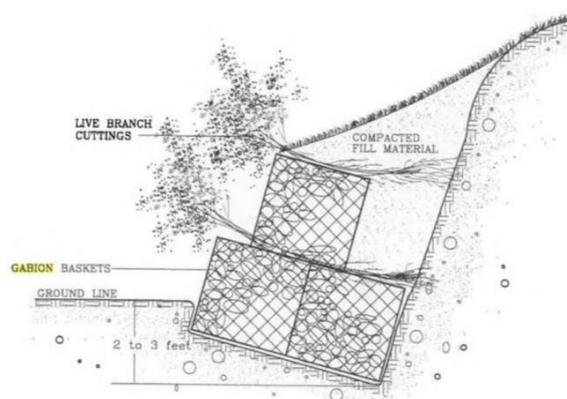


Fig. 8.9 Fonte: Gray e Sotir de 1996

### 8.3.4 Geogrelhas vegetadas

#### Descrição

Trabalho de apoio realizado através da combinação de materiais de reforço, em redes de plástico sintético ou metálico, de enchimento inerte e revestimento em esteiras sobre o lado externo, a fim de permitir o crescimento das plantas. De um ponto de vista estático, a estabilidade da estrutura é garantida pelo peso do solo consolidado internamente pelos reforços; a estabilidade da superfície de trabalho é assegurada pelas esteiras e as plantas. É uma estrutura de apoio muito adequada para acomodação em espaços limitados ou perto de infra-estruturas rodoviárias.

A plasticidade das morfologias que se podem obter e a sua total revegetação torna-a numa das técnicas mais facilmente re-executáveis. Para garantir o enraizamento e crescimento das plantas e gramíneas, as frentes devem ter uma inclinação máxima de 60 ° para permitir o fornecimento de água da chuva.

No caso de só se usar vegetação herbácea o decaimento natural das mantas deixa de preencher a função anti erosiva e toda a estrutura tende a ser arrastada. Quando as mantas perdem a sua funcionalidade. É, portanto, essencial inserir, durante a construção recomendada, estacas e arbustos enraizados e o uso combinado de tapetes sintéticos permanentes. Os artefactos resultam numa duração temporal alta e a

construção de módulos permite obter múltiplas formas, adequadas às condições locais de solo.

Portanto, é um trabalho elástico e permeável, mesmo que, devido aos custos e as dimensões globais, é maior do que as estruturas de parede de betão. É necessário encontrar material de enchimento com as características geotécnicas adequadas.

### Aplicações

Ele pode ser usado para suporte de aterros em escarpas, consolidação de taludes rodoviários e ferroviários, a consolidação de margens e aterros, terraplanagens anti-ruído, modelagem e reconstrução em casos de espaço limitado.

### Materiais

Dependendo dos diferentes tipos de construção, geotexteis geossintéticos são utilizados; grade de metal e geossintética; grade e armadura de metal; elementos em malha de arame duplo-trançado pré-montado. Em todos os casos, grampos, material de enchimento inerte, o solo de plantas, estacas de salgueiro vivo, arbustos enraizados, hidrossementeira normal ou de espessura são utilizados.

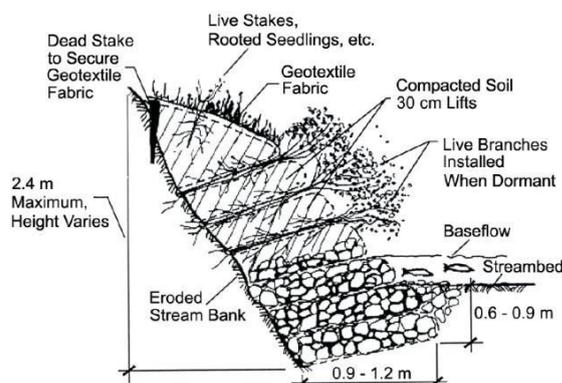


Fig. 8.10 Detalhe de uma geogrelho plantada sobre um gabião de (Science Institute Bacia, NRCS)

A adequação destas técnicas para a resolução de problemas de estabilidade de taludes e encostas está ilustrada na Tab. 8.1.

Tab. 1.8 Adequação das técnicas de Engenharia natural à resolução de problemas de estabilidade de taludes e encostas (Rauch, H.P. 2009 (com. pessoal))

Factor determinante	Mecanismos	Propriedade	Processo	Funções de estabilização necessárias				
				Função de protecção superficial	Função de armação < 0,2 m	Função de armação < 2 m	Função de drenagem biológica	Função de drenagem técnica
Influência predominante da gravidade	Despenhamento	rocha não consolidada	Desmoronamento de rochas	2	1	1		
	Escorregamento	material não consolidado, rotacional	Deslizamento rotacional		3	3	3	3
			deslizamento translacional	2	3	3	3	3
Influência predominante da água do solo, do gelo e da neve	Fluxo	rápido	Fluxo de solo		1	1	2	3
			Fluxo de lama		1	1	2	3
			Fluxo de calhaus		1	1	2	3
	Rastejamento	lento	Rastejamento de terra			2	2	3
			Rastejamento de solo			2	2	3
Influência predominante da chuva e de escoamentos concentrados de precipitação Influência predominante da chuva e de escoamentos ocasionais de precipitação	Perda		Formação de ravinas e barrancos	3	1	1	2	2
	Perda		Erosão superficial	3			2	2
	Combinação	Combinação e sobreposição de diversos processos						

#### 8.4 Trabalhos de manutenção

- Para gramíneas, juncos e herbáceas as seguintes medidas de manutenção podem ser usadas:
  - Segadura (parcial, ao longo de linhas, sazonais, de acordo com a maturação das sementes e frutos, usando equipamento e métodos adaptados ao biótopo);
  - Segadura debaixo de água;

- Trabalhos de melhoria como:
  - Voltar a semear;
  - Fertilização;
  - Instalação de placas relvadas, novas plantas ou partes de plantas;
  - Irrigação;
  - Recolha e retirada de lixo.
- Para árvores e arbustos podem ser usadas as seguintes medidas de manutenção:
  - Brotar a partir da raiz (rejuvenescimento alternado parcial);
  - Corte do topo das árvores (em árvores acima do nível de cheia, ao longo de estradas de manutenção, de acordo com considerações culturais e ecológicas);
  - Desbaste / remoção de plantas individuais devido a razões hidráulicas, ecológicas ou estéticas;
  - Poda;
  - A remoção das espécies invasivos como *Robinia* através da extração de um anel de casca de 50 centímetros a cerca de 100-150 cm de altura;
  - Intervenções de reparação como:
    - Replantação;
    - Fertilização;
    - Manutenção da densidade do coberto de árvores;
    - Irrigação;
    - Renovvação dos suportes das árvores;
    - Recolha e retirada de lixo.

### **Princípios básicos de manutenção**

A manutenção deve ocorrer apenas quando necessário - "deixar em vez de fazer":

- A escolha e aplicação do método de construção deve envolver de custos de manutenção mínimos;
- Deve cumprir os objetivos tão rápido e com custos baixos quanto possível;
- A estrutura desenvolvida garante a eficácia plena e harmoniosa de todos os objetivos técnicos, ecológicos, económicos e estéticos;
- Máxima diversidade e biodiversidade;
- Segurança do tráfego rodoviário e ferroviário;
- Contribuição contínua para uma maior eficácia;
- Deve ficar claro que a manutenção também pode levar a desenvolvimentos negativos. A adaptação das abordagens de manutenção às condições e processos naturais é a única forma

para evitar erros de manutenção que podem ser mais negativos que nenhuma manutenção;

- O desenvolvimento dos trabalhos de manutenção tem de ser adaptado ao desenvolvimento da construção e a vegetação combinada dentro da consideração da vegetação alvo definida;
- A condição básica para a realização dos objetivos da intervenção é o respeito dos passos de manutenção predefinidos dentro de uma monitorização, feita por especialistas, da evolução das estruturas e da vegetação;
- É obrigatório no projeto de Engenharia natural a inclusão das necessidades financeiras associadas a uma manutenção adequada feita por pessoal qualificado;
- A entidade responsável pela manutenção deve garantir a qualidade do material vegetal (como material de construção, material de suporte, a biomassa, etc.), de acordo com os mesmos critérios usados no projeto;
- O momento e o tipo de intervenções de manutenção devem ser registrados e documentados.

#### **Tipos de atividades de manutenção (Diretrizes EFIB):**

- Manutenção após conclusão / manutenção de crescimento:

Medidas tomadas após a conclusão da construção até o cumprimento dos objetivos de construção ou as condições de aceitação pelo cliente. Estas condições são definidas de acordo com os critérios de sucesso definidos. Estes critérios devem ser claramente definidos, estar no quadro do projeto e estar descritos nas especificações do projeto;

- Manutenção de desenvolvimento:

Medidas destinadas a garantir o melhor desenvolvimento possível até o final da garantia ou ao estabelecimento de um coberto vegetal funcional;

- Cuidados de manutenção:

As medidas para assegurar a manutenção da funcionalidade a longo prazo da vegetação instalada;

- Medidas de manutenção extraordinárias:

Medidas de manutenção necessárias após acontecimentos extraordinários ou imprevistos (inundações, pragas, espécies invasoras naturalizadas, vento, neve, etc.).

Solo	Herbáceas	Arbustos	Árvores
-----Cobertura (por ex. Mulch)-----			
		-----Reposição-----	
		-----Desbaste de formação-----	
		-----Rega-----	
			-----Condução-----
	-----Vedação / Protecção contra herbívoros-----		
	-----Sacha-----		
	-----Mondas-----		
			-----Desbaste de rebentos-----
	-----Ceifas-----		
		-----Retocar-----	
		-----Podas-----	
			-----Remoção de exemplares velhos--
	-----Reparações, reconstruções e intervenções de complemento-----		
		-----Desbaste-----	
-----Fertilização / arejamento-----			
		-----Cortes-----	
			-----Desrame-----

**Outros meio de informação complementares:**

**Movimentos de massa**  
<https://youtu.be/sYqVjuK5vs>

[https://youtu.be/0lUn5\\_7fHmE](https://youtu.be/0lUn5_7fHmE)

<https://youtu.be/EDZYMaSu9Tk>

**Erosão do solo**  
<https://youtu.be/QLrrPRikq0A>

<https://youtu.be/Kdm-Z-AGnU>

<https://youtu.be/aRfUTVIV63g>

## 9 Modelação das intervenções em Taludes

Usando a equação de Greenwood foram realizadas pelo autor simulações dos seguintes cenários, calculando os factores de estabilidade e de segurança após 1, 5, 10 e 20 anos:

- talude de 30° e 35° colonizados com vegetação natural, plantados com os arbustos e árvores seleccionados em diferentes combinações ao longo da encosta.
- taludes de 30° suportados por um muro de gravidade em betão com drenagem e a zona sobrejacente (15 m) colonizada por vegetação espontânea ou coberta por uma camada de 60 cm de rip rap sobre geotêxtil
- talude de 30° suportados por um muro tipo “Cribwall” de madeira plantado, construído com troncos de 15 ou 20 cm e as diferentes soluções de plantação da encosta sobrejacente
- talude de 30° colonizado com vegetação natural, ou coberto por uma camada de 60 cm de rip rap sobre geotêxtil ou por uma grade vegetada com a plantação de diferentes combinações da vegetação seleccionada

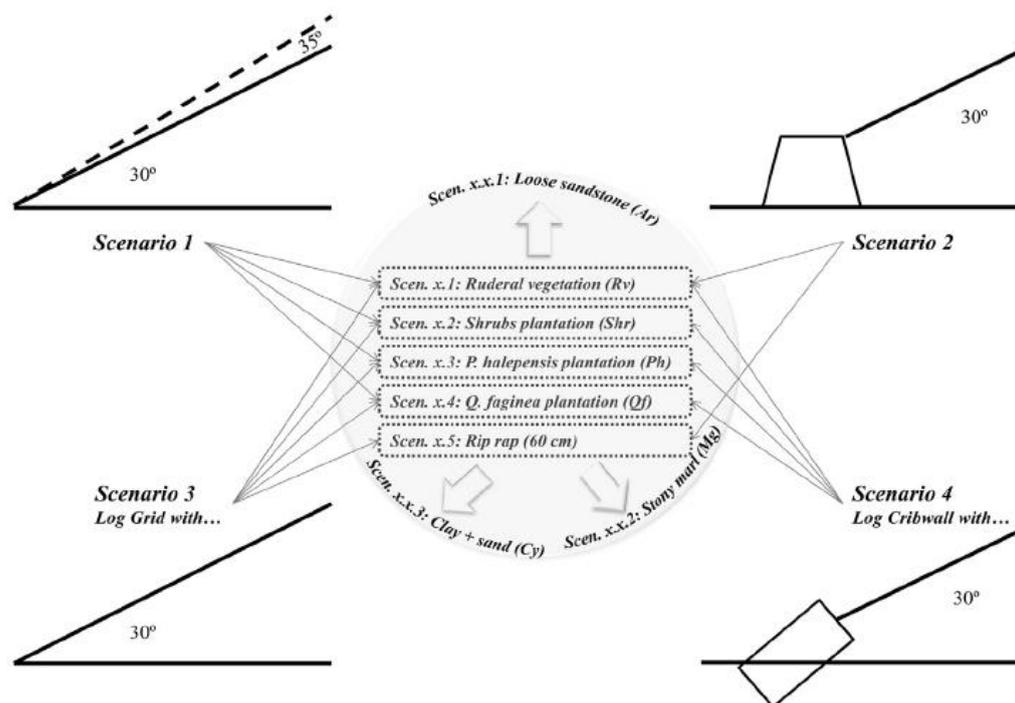


Fig. 1. Arrangements of the four simulated situations, with the applied soil strata and combination of vegetation or rip rap cover.

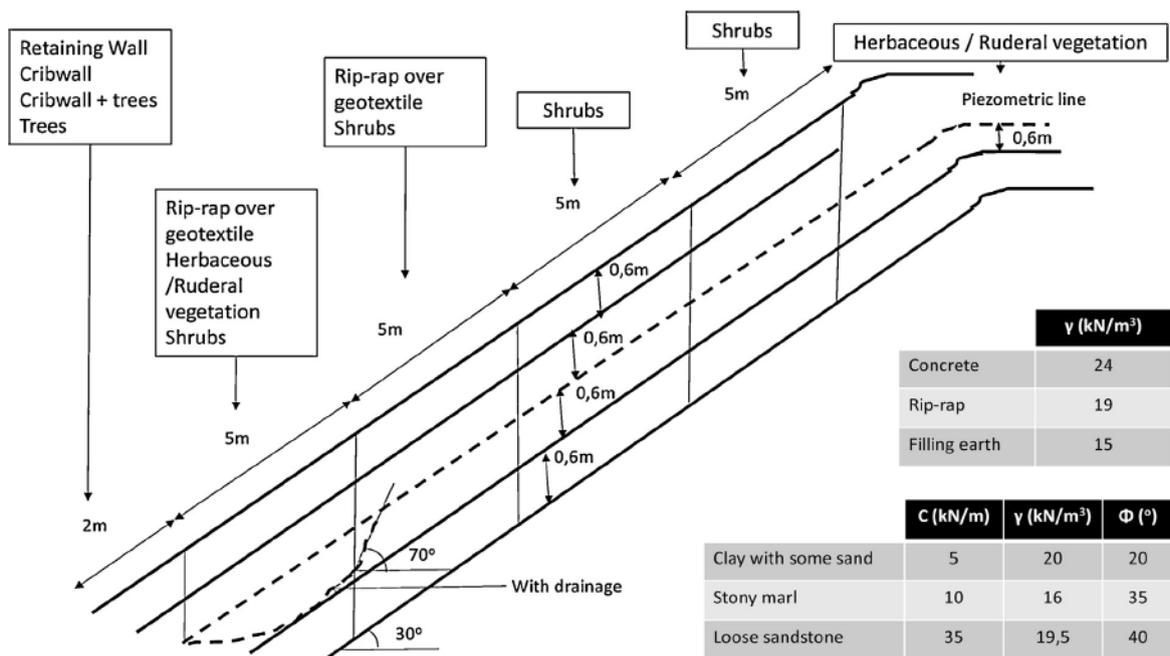


Fig. 2. Simulated scenarios and considered characteristics of the substrate and morphology for the SLIP4EX model (not to scale).

A vegetação seleccionada for considerada de acordo com as seguintes características:

Table 4  
Vegetation specific characteristics considered in the SLIP4EX model.

Species	Age	Root density Rd (Number of roots/m <sup>2</sup> )	Average root diameter av D (cm)	Root force Tr (kN/m)	Root additional cohesion $c'_v$ <sup>a</sup> (kN/m <sup>2</sup> )	Change in phreatic depth $\Delta h_w$ <sup>a</sup> (m)	Weight of the vegetation $W_v$ (kN/m)
Herbs (ruderal vegetation) (average ground cover of 80%)	1	500	0.05	0.5	0.25	-0.05	0.5
	5	1000	0.4	0.4	0.25	-0.075	0.5
	10	1000	0.4	0.3	0.25	-0.075	0.5
	20	1000	0.4	0.3	0.25	-0.075	0.5
Shrubs (average cover of 80%)	1	15	0.2	0.3	0.25	-0.1	0.4
	5	15	0.8	5.3	1	-0.1	0.8
	10	5	2	11	2	-0.15	15
<i>Pinus halepensis</i>	20	5	2	11	3	-0.15	25
	1	15	0.2	0.4	0.25	-0.1	0.5
	5	10	1	6.3	2	-0.15	1
<i>Quercus faginea</i>	10	5	2	12.6	5	-0.2	20
	20	5	3	33	9	-0.2	35
	1	15	0.2	0.3	0.25	-0.1	0.5
<i>Quercus faginea</i>	5	15	0.8	5.3	1.5	-0.15	3
	10	5	2	11	3.5	-0.2	30
	20	5	2.5	17	7.5	-0.2	40

<sup>a</sup> Reduced efficiency due to dormancy during period of maximum rainfall.

As estruturas de suporte consideradas, além do rip-rap (usado erroneamente em Portugal para consolidar taludes), foram as seguintes:

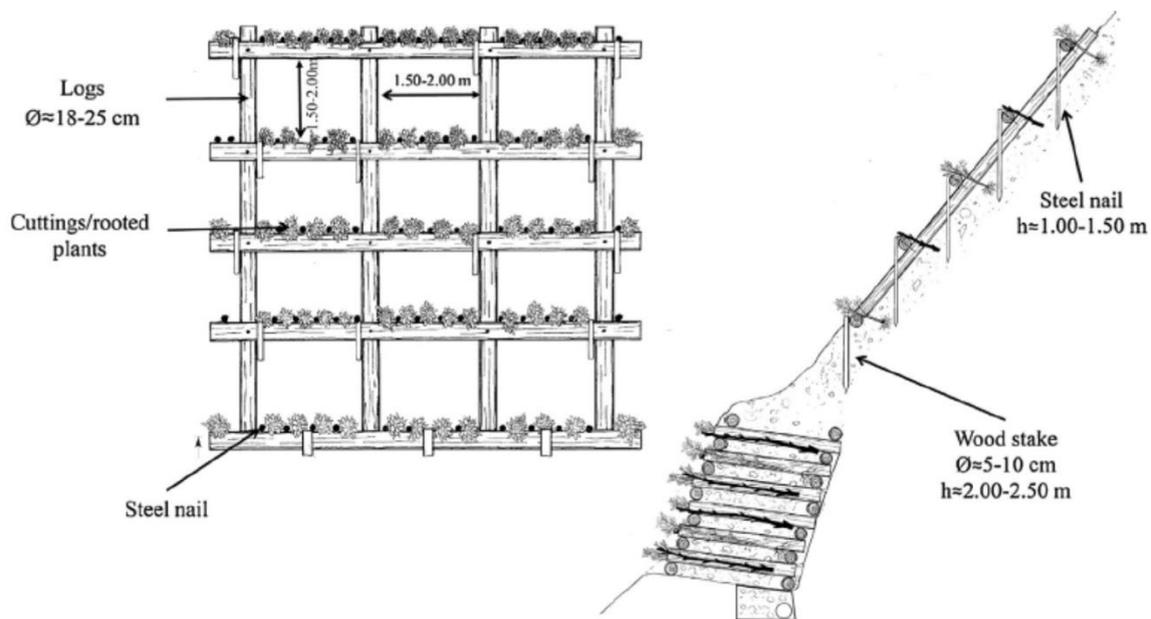


Fig. 4. Single living log grid (10 cm diameter logs and >5 cm diameter stakes) combined with a log cribwall.

Os resultados obtidos mostram que, mesmo nos substratos mais instáveis (arenito pouco consolidado) os efeitos de consolidação são evidentes e sempre aumentando ao longo do tempo com o desenvolvimento natural da vegetação:

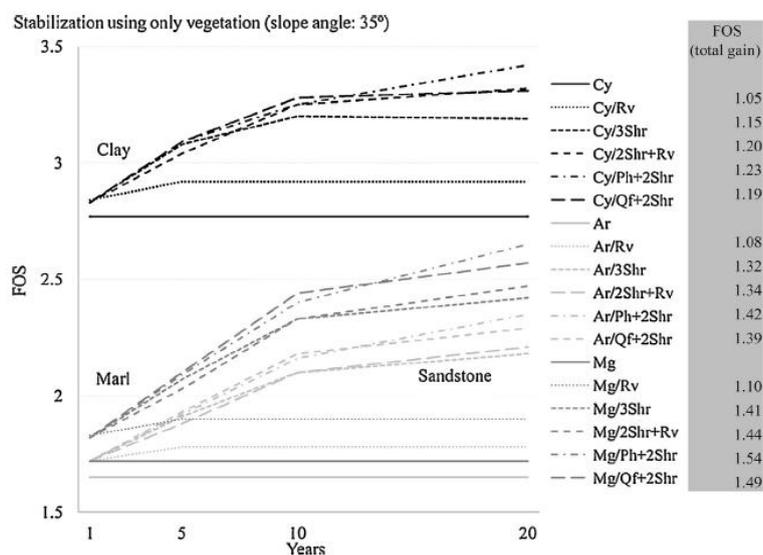


Fig. 7. Graphic of the results and comparative final FOS gains obtained with the simulation considering the introduction on a 35° slope of different combinations of vegetation on the different soils (Table A1 and A2 in the Supplementary material) (Ar: loose sandstone; Cy: clay with some sand; Mg: stony marl; Rv: ruderal vegetation; Shr: shrubs; Ph: *P. halepensis*; Qf: *Q. faginea*; FOS: factor of safety).

Comparando os cenários com e sem vegetação obtiveram-se os seguintes resultados:

**Table A1**

Simulation for a non-intervention situation.

No intervention										FOS gain
Scenario without vegetation	Years				Scenario with vegetation	Years				
	1	5	10	20		1	5	10	20	
Cy	2.83	2.83	2.83	2.83	Cy/Rv	2.91	2.99	2.99	2.99	1.06
Ar	1.83	1.83	1.83	1.83	Ar/Rv	1.92	1.98	1.98	1.98	1.08
Mg	1.90	1.90	1.90	1.90	Mg/Rv	2.03	2.12	2.12	2.12	1.12

Ar: loose sandstone; Cy: clay with some sand; Mg: stony marl; Rv: Ruderal vegetation; FOS: factor of safety

Comparando os resultados da simulação para os dois ângulos consnsiderados (30° e 35°) obteve-se:

**Table A2**Comparative results for simulations with different vegetation solutions on 30° and 35° slopes considering the conditions of soil with no vegetation, ruderal vegetation (Rv), shrubs, shrubs with ruderal vegetation and shrubs with trees (*P. halepensis* or *Q. faginea*) on the lower section of the slope (slices 1 and 2) (the number before the symbol for vegetation represents the number of slices with that type of vegetation).

Only vegetation with 30° slope					FOS gain	Only vegetation with 35° slope					FOS gain
Scenarios	Years					Scenarios	Years				
	1	5	10	20			1	5	10	20	
Cy	3.02	3.02	3.02	3.02	-	Cy	2.77	2.77	2.77	2.77	-
Cy/Rv	3.10	3.19	3.19	3.19	1.06	Cy/Rv	2.84	2.92	2.92	2.92	1.05
Cy/3Shr	3.09	3.38	3.51	3.5	1.16	Cy/3Shr	2.83	3.08	3.2	3.19	1.15
Cy/2Shr+Rv	3.09	3.34	3.51	3.67	1.22	Cy/2Shr+Rv	2.83	3.04	3.25	3.32	1.20
Cy/Ph+2Shr	3.09	3.39	3.58	3.76	1.25	Cy/Ph+2Shr	2.83	3.09	3.25	3.42	1.23
Cy/Qf+2Shr	3.09	3.39	3.61	3.74	1.24	Cy/Qf+2Shr	2.83	3.09	3.28	3.31	1.19
Ar	1.83	1.83	1.83	1.83	-	Ar	1.65	1.65	1.65	1.65	-
Ar/Rv	1.92	1.98	1.98	1.98	1.08	Ar/Rv	1.72	1.78	1.78	1.78	1.08
Ar/3Shr	1.91	2.14	2.35	2.43	1.33	Ar/3Shr	1.72	1.91	2.1	2.18	1.32
Ar/2Shr+Rv	1.91	2.20	2.36	2.48	1.36	Ar/2Shr+Rv	1.72	1.88	2.1	2.21	1.34
Ar/Pf+2Shr	1.91	2.15	2.41	2.62	1.43	Ar/Ph+2Shr	1.72	1.92	2.16	2.35	1.42
Ar/Qf+2Shr	1.91	2.15	2.44	2.56	1.40	Ar/Qf+2Shr	1.72	1.93	2.18	2.29	1.39
Mg	1.90	1.90	1.9	1.9	-	Mg	1.72	1.72	1.72	1.72	-
Mg/Rv	2.03	2.12	2.12	2.12	1.12	Mg/Rv	1.83	1.9	1.9	1.9	1.10
Mg/3Shr	2.02	2.31	2.61	2.7	1.42	Mg/3Shr	1.82	2.07	2.33	2.42	1.41
Mg/2Shr+Rv	2.02	2.27	2.62	2.78	1.46	Mg/2Shr+Rv	1.82	2.03	2.33	2.47	1.44
Mg/Ph+2Shr	2.02	2.33	2.69	2.96	1.56	Mg/Ph+2Shr	1.82	2.09	2.4	2.65	1.54
Mg/Qf+2Shr	2.02	2.33	2.74	2.87	1.51	Mg/Qf+2Shr	1.82	2.1	2.44	2.57	1.49

Ar: loose sandstone; Cy: clay with some sand; Mg: stony marl; Rv: ruderal vegetation; Shr: shrubs plantation; Ph: *P. halepensis*; Qf: *Q. faginea*; FOS: factor of safety

Procedeu-se de seguida à comparação de um muro de gravidade de betão só com vegetação na zona sobrejacente ou com rip-rap (15m) e vegetação

Comparison concrete wall with vegetation and concrete wall with rip-rap and vegetation (slope angle: 35°)

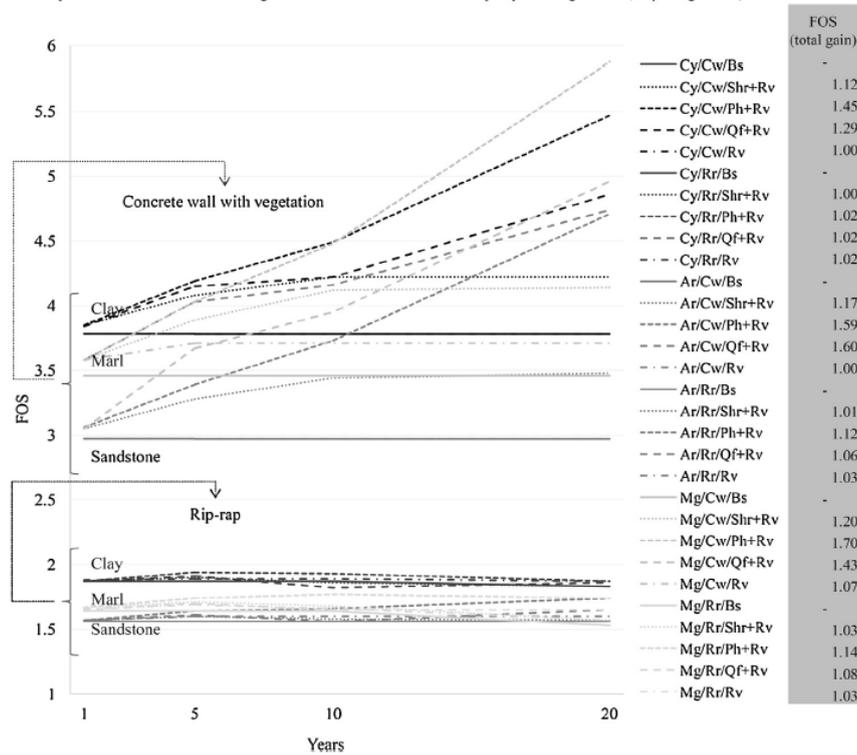


Fig. 8. Graphic of the results and comparative final FOS gains obtained with the simulation comparing the stabilization of a 35° slope using vegetation and the alternative of using a concrete retaining wall with a rip-rap on geotextile cover of the earth above the wall (Table A3 and A4 in the Supplementary material) (Ar: loose sandstone; Cy: clay with some sand; Mg: stony marl; Cw: concrete wall; Rr: rip-rap; Bs: bare soil; Rv: ruderal vegetation; Shr: shrubs; Ph: *P. halepensis*; Qf: *Q. faginea*; FOS: factor of safety).

Table A3

Comparative results for simulations with a concrete retaining wall with the section above the wall alternatively consolidated with ruderal vegetation (Rv) and plantation of shrubs or trees (*P. halepensis* or *Q. faginea*) on the lower section of the slope.

Scenarios	Concrete wall and introduced vegetation				FOS gain
	Years				
	1	5	10	20	
Cy	3.78	3.78	3.78	3.78	-
Cy/Shr+Rv	3.85	4.08	4.22	4.22	1.12
Cy/Ph+Rv	3.85	4.19	4.49	5.47	1.45
Cy/Qf+Rv	3.84	4.15	4.22	4.86	1.29
Cy+Rv	3.78	3.78	3.78	3.78	1.00
Ar	2.97	2.97	2.97	2.97	-
Ar/Shr+Rv	3.05	3.28	3.44	3.48	1.17
Ar/Ph+Rv	3.06	3.39	3.73	4.71	1.59
Ar/Qf+Rv	3.58	4.03	4.16	4.74	1.60
Ar/Rv	2.97	2.97	2.97	2.97	1.00
Mg	3.46	3.46	3.46	3.46	-
Mg/Shr+Rv	3.58	3.89	4.12	4.14	1.20
Mg/Ph+Rv	3.58	4.03	4.48	5.88	1.70
Mg/Qf+Rv	3.05	3.67	3.95	4.96	1.43
Mg/Rv	3.58	3.71	3.71	3.71	1.07

Ar: loose sandstone; Cy: clay with some sand; Mg: stony marl; Rv: ruderal vegetation; Shr: shrubs plantation; Ph: *P. halepensis*; Qf: *Q. faginea*; FOS: factor of safety

**Table A4**

Comparative results for a slope with a concrete retaining wall, a 60 cm deep rip rap cover (slices 1 and 2) and different slope stabilization vegetation of the upper section of the slope.

Scenarios	Concrete wall (15 m), rip rap (60 cm) and vegetation on top					FOS gain
	Years				Old geotextile	
	1	5	10	20		
Cy	1.87	1.87	1.87	1.87	1.83	-
Cy/Shr+Rv	1.87	1.90	1.86	1.83	1.83	1.00
Cy/Ph+Rv	1.87	1.94	1.93	1.98	1.87	1.02
Cy/Qf+Rv	1.87	1.91	1.82	1.89	1.86	1.02
Cy/Rv	1.88	1.89	1.89	1.87	1.87	1.02
Ar	1.56	1.56	1.56	1.56	1.53	-
Ar/Shr+Rv	1.57	1.60	1.58	1.57	1.54	1.01
Ar/Ph+Rv	1.57	1.64	1.66	1.74	1.71	1.12
Ar/Qf+Rv	1.57	1.61	1.56	1.65	1.61	1.06
Ar/Rv	1.57	1.60	1.60	1.60	1.56	1.03
Mg	1.64	1.64	1.64	1.64	1.53	-
Mg/Shr+Rv	1.67	1.71	1.68	1.67	1.57	1.03
Mg/Ph+Rv	1.67	1.74	1.77	1.85	1.74	1.14
Mg/Qf+Rv	1.65	1.70	1.65	1.79	1.65	1.08
Mg/Rv	1.66	1.69	1.66	1.69	1.57	1.03

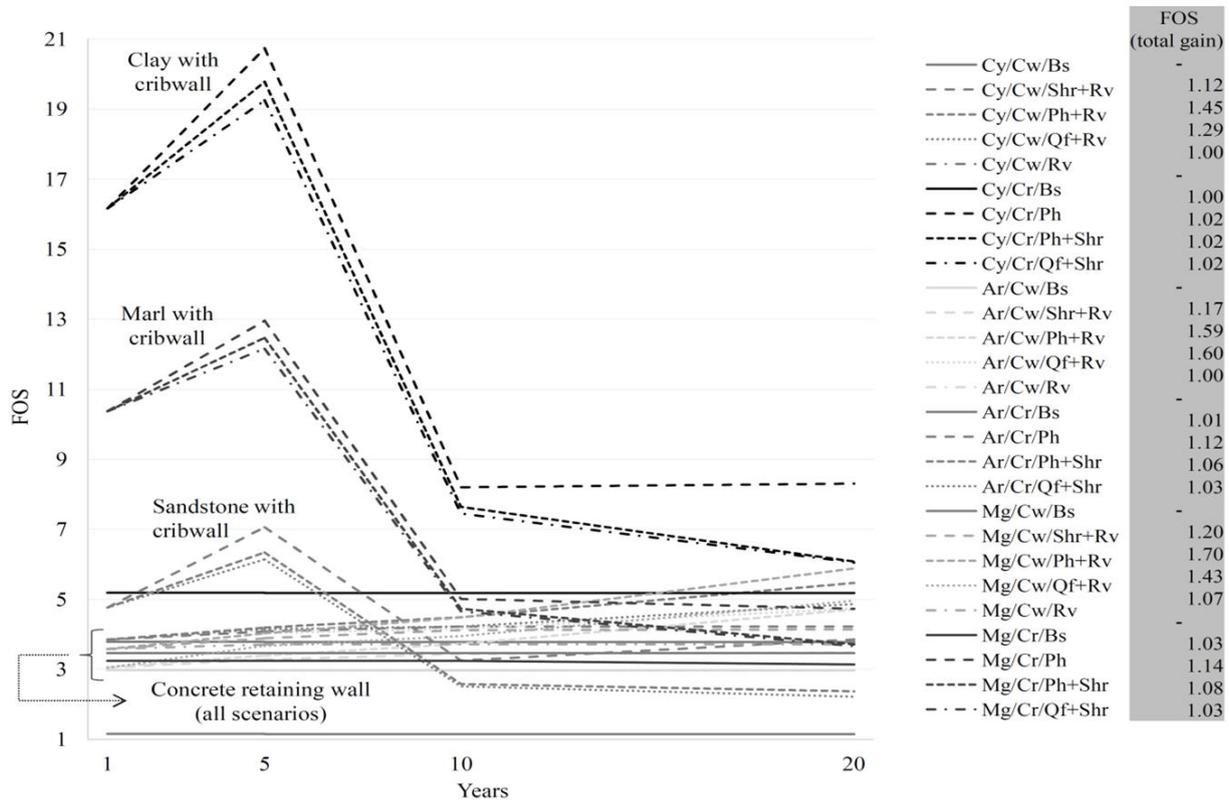
Ar: loose sandstone; Cy: clay with some sand; Mg: stony marl; Rv: ruderal vegetation; Shr: shrubs plantation; Ph: *P. halepensis*; Qf: *Q. faginea*; FOS: factor of safety

Estas duas últimas simulações permitiram demonstrar a inadequação do rip-rap e eficácia da vegetação (sempre que adequadamente instalada).

Por fim foi analisado o cenário em que como muro de suporte era utilizado um muro de madeira tipo “cribwall” considerando um cenário em que a madeira ao fim de 0 anos já não cumpriria nenhuma função estrutural e de suporte devido ao seu decaimento natural.

Procedeu-se então à comparação do FOS de uma encosta com declive de 45° estabilizada usando muro tipo “Cribwall” ou um muro de gravidade em betão e várias soluções de vegetação na zona sobrejacente (cenário de desenvolvimento mais pessimista e apodrecimento progressivo da madeira do “Cribwall” partir do 5º ano.

Comparison between a concrete retaining wall and a vegetated log cribwall



**Table A5**

Comparative results for a 30° slope only with natural vegetation or covered by a 60 cm deep rip rap with ruderal vegetation on the upper section.

No intervention and natural vegetation growth					FOS gain	Rip-rap and natural vegetation growth				
Scenarios	Years					Scenarios	Years			
	1	5	10	20			1	5	10	20 (old geotextile)
Cy	2.83	2.83	2.83	2.83	-	Cy	1.33	1.33	1.33	1.09
Cy/Rv	2.91	2.99	2.99	2.99	1.06	Cy/Rv	1.34	1.35	1.35	1.10
Ar	1.83	1.83	1.83	1.83	-	Ar	1.02	1.02	1.02	0.78
Ar/Rv	1.92	1.98	1.98	1.98	1.08	Ar/Rv	1.03	1.04	1.04	0.80
Mg	1.90	1.90	1.90	1.90	-	Mg	1.01	1.01	1.01	0.79
Mg/Rv	2.03	2.12	2.12	2.12	1.12	Mg/Rv	1.02	1.03	1.03	0.83

Ar: loose sandstone; Cy: clay with some sand; Mg: stony marl; Rv: ruderal vegetation; FOS: factor of safety

De seguida estudou-se a eficácia de uma grade vegetada como alternativa ao uso de rip-rap

**Table A6**

Comparative results for the stabilization of the same slope with a log grid considering extreme unfavorable conditions and average soil cohesion conditions considering the scenarios of soil with no vegetation, ruderal vegetation (Rv), shrubs, shrubs with ruderal vegetation and shrubs with trees (*P. halepensis* or *Q. faginea*) on the lower section of the slope (slices 1 and 2) (the number before the symbol for vegetation represents the number of slices with that type of vegetation).

Log grid with natural vegetation average soil cohesion conditions (no change in vegetation effect)					FOS gain	Log grid with natural vegetation extreme unfavorable conditions					FOS gain
Scenarios	Years					Scenarios	Years				
	1	5	10	20			1	5	10	20	
Cy	3.02	3.02	3.02	3.02	-	Cy	5.68	5.68	5.68	5.68	-
Cy/Rv	4.21	4.37	3.48	3.19	1.06	Cy/Rv	7.70	7.99	6.43	5.93	1.0
Cy/3Shr	4.20	4.65	3.83	3.50	1.16	Cy/3Shr	7.70	8.38	6.75	6.06	1.0
Cy/2Shr+Rv	4.20	4.59	3.93	3.67	1.22	Cy/2Shr+Rv	7.70	8.30	7.00	6.47	1.1
Cy/Ph+2Shr	4.20	4.71	3.90	3.76	1.25	Cy/Ph+2Shr	7.70	8.47	6.84	6.45	1.1
Cy/Qf+2Shr	4.20	4.68	3.93	3.64	1.21	Cy/Qf+2Shr	7.70	8.41	6.89	6.24	1.1
Cy/2Qf+Shr	-	-	-	4.07	1.35	Cy/2Qf+Shr	-	-	-	6.67	1.1
Cy/3Qf	-	-	-	4.04	1.34	Cy/3Qf	-	-	-	6.51	1.1
Cy/2Qf+Rv	-	-	-	3.78	1.25	Cy/2Qf+Rv	-	-	-	6.36	1.1
Ar	1.83	1.83	1.83	1.83	-	Ar	2.83	2.83	2.83	2.83	-
Ar/Rv	2.67	2.78	2.18	1.98	1.08	Ar/Rv	3.96	4.11	3.28	3.01	1.0
Ar/3Shr	2.66	3.00	2.58	2.43	1.33	Ar/3Shr	3.95	4.37	3.67	3.39	1.2
Ar/2Shr+Rv	2.66	2.95	2.59	2.48	1.36	Ar/2Shr+Rv	3.96	4.31	3.74	3.53	1.2
Ar/Ph+2Shr	2.66	3.02	2.64	2.62	1.43	Ar/Ph+2Shr	3.95	4.39	3.74	3.63	1.2
Ar/Qf+2Shr	2.66	3.02	2.68	2.56	1.40	Ar/Qf+2Shr	3.95	4.4	3.78	3.54	1.2
Ar/2Qf+Shr	-	-	-	2.98	1.63	Ar/2Qf+Shr	-	-	-	3.96	1.4
Ar/3Qf	-	-	-	3.01	1.65	Ar/3Qf	-	-	-	3.95	1.4
Ar/2Qf+Rv	-	-	-	2.73	1.49	Ar/2Qf+Rv	-	-	-	3.72	1.3
Mg	1.90	1.90	1.90	1.90	-	Mg	5.11	5.11	5.11	5.11	-
Mg/Rv	3.1	3.27	2.38	2.12	1.12	Mg/Rv	7.51	7.87	5.99	5.42	1.0
Mg/3Shr	3.09	3.58	2.92	2.7	1.42	Mg/3Shr	7.49	8.34	6.49	5.76	1.1
Mg/2Shr+Rv	3.09	3.51	2.95	2.78	1.46	Mg/2Shr+Rv	7.5	8.25	6.74	6.16	1.2
Mg/Ph+2Shr	3.09	3.61	3.01	2.96	1.56	Mg/Ph+2Shr	7.5	8.38	6.60	6.20	1.2
Mg/Qf+2Shr	3.09	3.62	3.07	2.87	1.51	Mg/Qf+2Shr	7.50	8.39	6.69	5.99	1.1
Mg/2Qf+Shr	-	-	-	3.41	1.80	Mg/2Qf+Shr	-	-	-	6.52	1.2
Mg/3Qf	-	-	-	3.43	1.81	Mg/3Qf	-	-	-	6.37	1.2
Mg/2Qf+Rv	-	-	-	2.95	1.55	Mg/2Qf+Rv	-	-	-	6.03	1.1

Ar: loose sandstone; Cy: clay with some sand; Mg: stony marl; Rv: ruderal vegetation; Shr: shrubs plantation; Ph: *P. halepensis*; Qf: *Q. faginea*; FOS: factor of safety

De modo a considerar as situações de maior risco calculou-se o FOS de uma encosta com declive de 45° usando uma grade com vegetação e várias soluções de vegetação na zona sobrejacente sendo todas as simulações feitas considerando as piores situações de estabilidade.

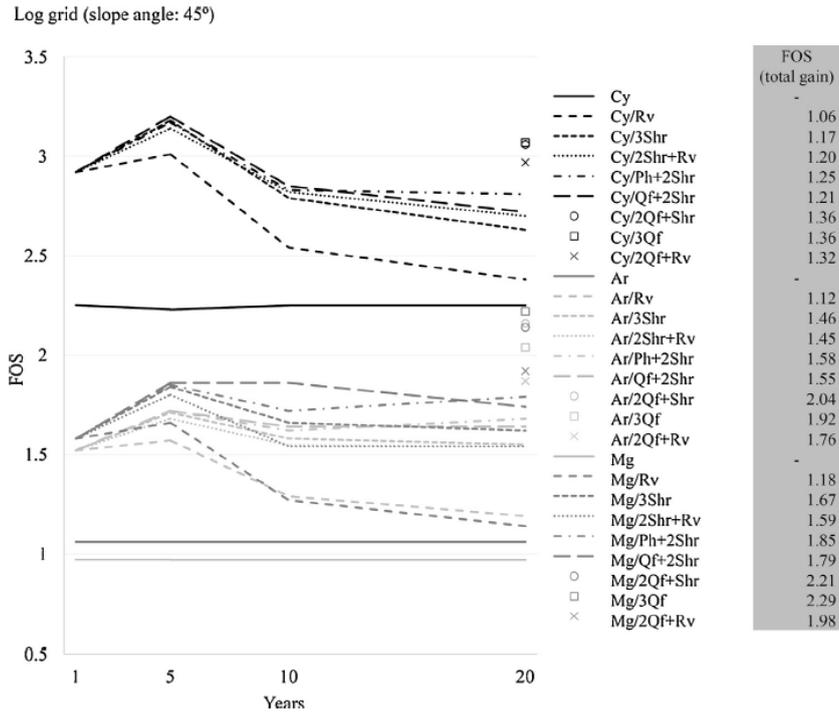


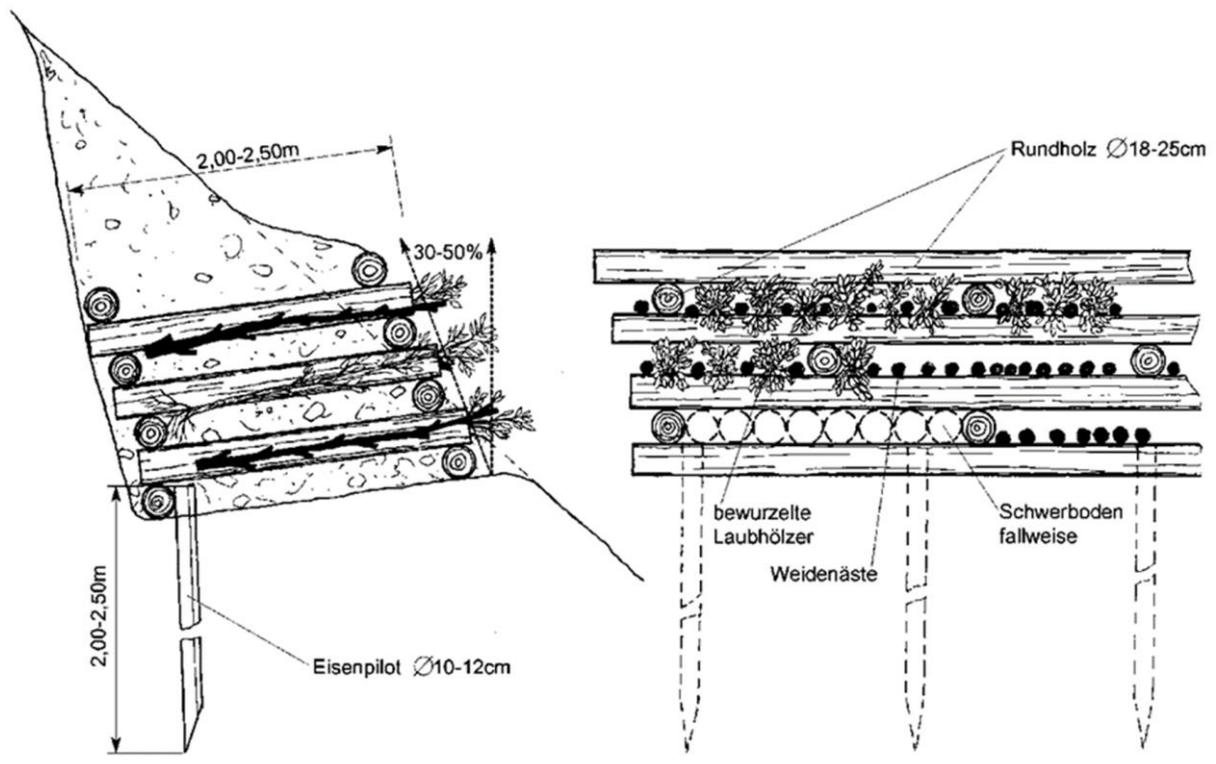
Fig. 10. Factors of safety and comparative final FOS gains of a vegetated log cribwall (logs 15 cm in diameter) on a 45° slope (Ar: loose sandstone; Cy: clay with some sand; Mg: stony marl; Lg: log grid; Bs: bare soil; Rv: ruderal vegetation; Shr: shrubs; Ph: *P. halepensis*; Qf: *Q. faginea*; FOS: factor of safety).

Table A7

Results of the stabilization of a 45° slope with a log grid considering extreme unfavorable conditions presenting the scenarios of soil with no vegetation, ruderal vegetation (Rv), shrubs, shrubs with ruderal vegetation and shrubs with trees (*P. halepensis* or *Q. faginea*) on the lower section of the slope (slices 1 and 2) (the number before the symbol for vegetation represents the number of slices with that type of vegetation).

Grade com vegetação angulo 45º					
	1	5	10	20	FOS gain
Ag	2,25	2,23	2,25	2,25	
AgRh	2,92	3,01	2,54	2,38	
AgArbArbArb	2,92	3,18	2,79	2,63	1,168889
AgArbArbRh	2,92	3,14	2,82	2,7	1,2
AgPhArbArb	2,92	3,17	2,83	2,81	1,248889
AgQfArbArb	2,92	3,2	2,85	2,72	1,208889
AgQfQfArb				3,06	1,36
AgQfQfQf				3,07	1,364444
AgQfQfRh				2,97	1,32
Ar	1,06	1,06	1,06	1,06	
ArRh					
ArArbArbArb	1,52	1,71	1,58	1,55	1,462264
ArArbArbRh	1,52	1,68	1,546	1,54	1,45283
ArPhArbArb	1,52	1,72	1,62	1,68	1,584906
ArQfArbArb	1,52	1,72	1,64	1,64	1,54717
ArQfQfArb				2,16	2,037736
ArQfQfQf				2,04	1,924528
ArQfQfRh				1,87	1,764151
Mg	0,97	0,97	0,97	0,97	
MgRh	1,58	1,66	1,27	1,14	1,175258
MgArbArbArb	1,58	1,84	1,66	1,62	1,670103
MgArbArbRh	1,58	1,8	1,54	1,54	1,587629
MgPhArbArb	1,58	1,85	1,72	1,79	1,845361
MgQfArbArb	1,58	1,86	1,86	1,74	1,793814
MgQfQfArb				2,14	2,206186
MgQfQfQf				2,22	2,28866
MgQfQfRh				1,92	1,979381

Estudo dos factores de estabilidade e segurança de um muro tipo “Cribwall” ao longo do período de simulação



Muro tipo “Cribwall” quando da sua construção e evolução combinando o desenvolvimento da vegetação plantada (e seu sistema radicular) e a prazo o apodrecimento da estrutura de madeira e a sua função substituída pela vegetação e seu aparelho radicular

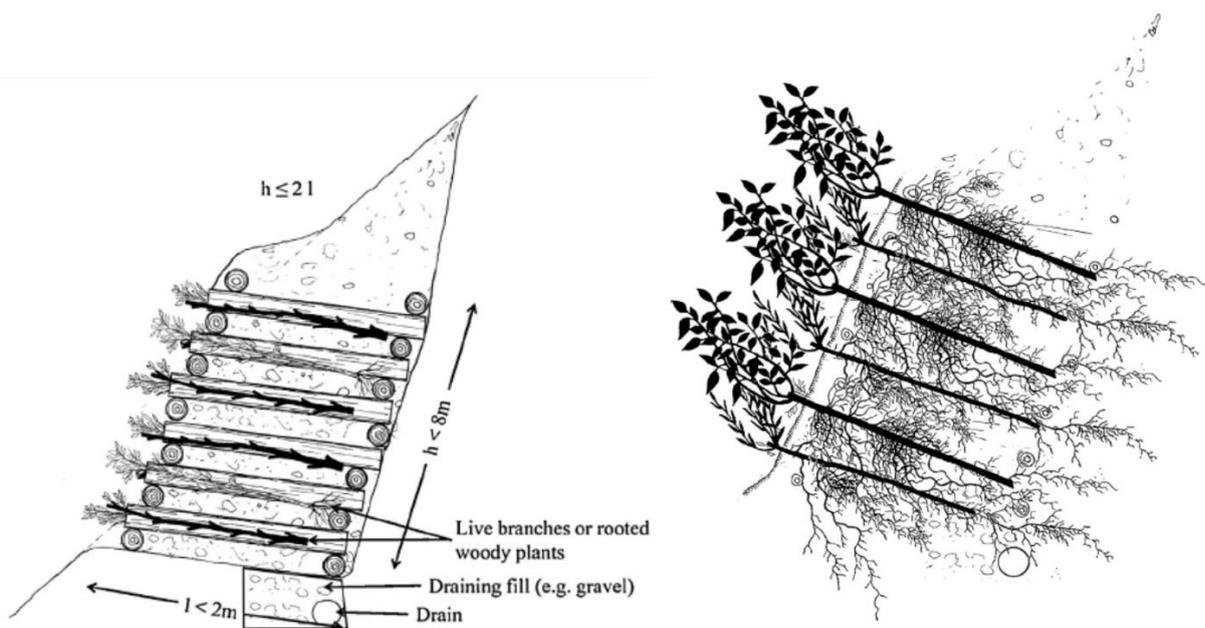


Fig. 3. Double log cribwall with drainage.

Fig. 5. Vegetated cribwall after decay of the logs with developed vegetation (also displayed the different considered rooting depths).

A análise de estabilidade do muro tipo “Cribwall” e a vegetação desenvolvida no quadro dos cenários considerados utilizou o método de Coulomb para calcular as forças activas e passivas na estrutura do aparelho radicular desenvolvido ao longo do tempo. A força activa (Pa) corresponde à seguinte equação:

$$Pa_{soil} = 0.5 \times k_a \gamma H^2$$

onde  $\gamma$  é a densidade do solo, H a altura total da estrutura (considerando que esta não é vertical) e  $k_a$  pode ser estimado pela equação:

$$k_a = \frac{\sin^2(\beta + \varphi)}{\sin^2 \beta \sin(\beta - \varphi) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \epsilon)}{\sin(\beta - \delta) \sin(\beta + \epsilon)}} \right]^2}$$

onde  $\beta$  é o ângulo de inclinação do muro,  $\varphi$  o ângulo de fricção do substrato na base da estrutura e  $\epsilon$  o declive da encosta sobrejacente

A estabilidade relativamente ao derrube corresponde à razão entre o momento de derrube  $M_o$  e o momento de resistência  $M_r$  que são função das forças activas e passivas, do peso e da altura do muro.

A estabilidade ao deslizamento é uma função entre as forças de resistência e as forças de instabilização atuando no plano de deslizamento, bem como acções passivas determinadas pela profundidade da base do muro.

O primeiro conjunto de forças é função do peso, da componente vertical das forças activas (gravidade) e da componente horizontal dessas mesmas forças activas.

A pressão sobre o solo na base interna e na base externa (no caso do muro ser inclinado) (capacidade de carga), calcula-se considerando a largura da base (b), as acções verticais  $\Sigma W$  e da excentricidade da carga  $e$  de acordo com as fórmulas:

Pressão mínima na base interna:

$$P_{min} = \frac{\sum W}{b} \left[ 1 - \frac{6e}{b} \right]$$

Pressão máxima na base externa:

$$P_{max} = \frac{\sum W}{b} \left[ 1 + \frac{6e}{b} \right]$$

Foi analisada uma situação com a seguinte geometria do muro tipo “Cribwall” e as diferentes

profundidades de enraizamento consideradas nos cálculos

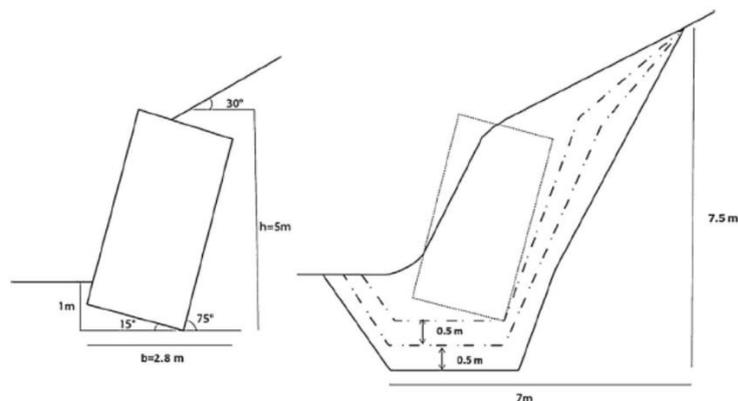


Fig. 6. Illustration of the geometry of the cribwall and the area considered in the simulation of the different rooting depths in the situation where the vegetation installed with the cribwall is fully developed and the cribwall completely decayed.

A variação ao longo do tempo do ângulo natural de fricção interno considerando a influência da vegetação foi a seguinte:

**Table 5**  
Considered correction factor for the soil natural angle of friction including the effect of vegetation.

Cribwall 15 cm					% of increase	Selected correction factor
	1	5	10	20		
Without cribwall	3.24	3.24	3.24	3.14		
Cy + Ph	5.57	6.42	4.53	4.73	1.51	1.1
Cy + Qh	5.57	6.21	4.3	4.42	1.41	
Cy + Shr/Ph	5.57	6.24	4.27	3.71	1.18	
Cy + Shr/Qf	5.57	6.19	4.27	3.54	1.13	
Without cribwall	2.20	2.20	2.20	2.17		
Ar + Ph	4.00	4.79	3.51	3.97	1.83	1.2
Ar + Qh	4.00	4.61	3.3	3.65	1.68	
Ar + Shr/Ph	4.00	4.58	3.22	2.96	1.36	
Ar + Shr/Qf	4.00	4.54	3.23	2.72	1.25	
Without cribwall	2.38	2.38	2.38	2.38		
Mg + Ph	5.04	6.33	4.08	4.74	1.99	1.3
Mg + Qh	5.04	6.15	3.95	4.62	1.94	
Mg + Shr/Ph	5.04	6.00	3.73	3.41	1.43	
Mg + Shr/Qf	5.03	5.93	3.73	3.22	1.35	

Ar: loose sandstone; Cy: clay with some sand; Mg: stony marl; Rh: ruderal vegetation; Shr: shrubs; Ph: *P. halepensis*; Qf: *Q. faginea*.

Varição dos valores das funções de estabilidade  $F_s$  – resistência ao deslizamento e  $F_o$  - resistência ao derrube, em função dos substratos e das diferentes combinações de vegetação e estruturas

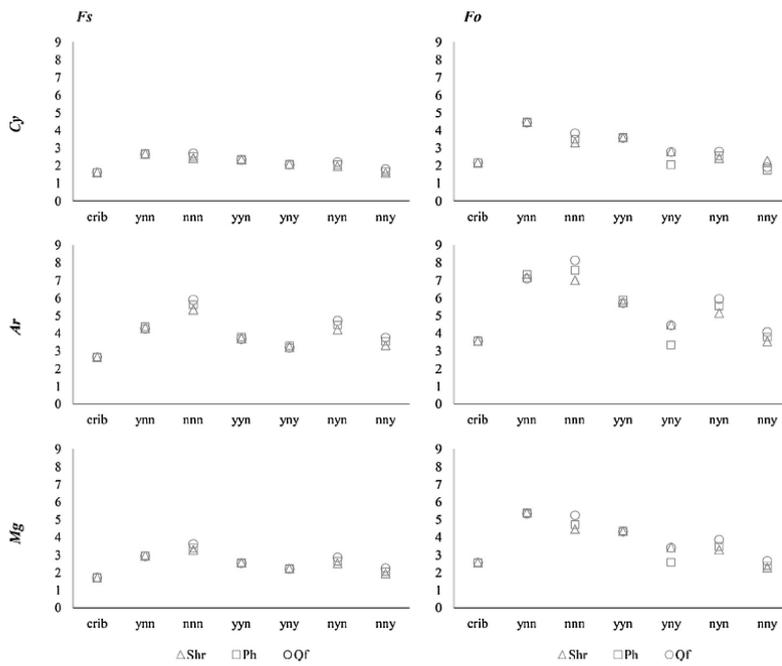


Fig. 13. Summarized results of the stability analysis for the different substrates (y refers to the presence of introduced vegetation in that layer, while n correspond to the absence of planted or seeded vegetation see Table A9 in the Supplementary material). Fs: resistance to sliding; Fo: resistance to overturning; y: presence of ligneous vegetation; n: absence of ligneous vegetation; Ar: loose sandstone; Cy: clay with some sand; Mg: stony marl; Shr: shrubs; Ph: *P. halepensis*; Qf: *Q. faginea*.

Varição dos valores das funções de estabilidade: Fs – resistência ao deslizamento e Fo - resistência ao derrube em função das diferentes espécies e tipos de vegetação e das diferentes combinações de vegetação e estruturas

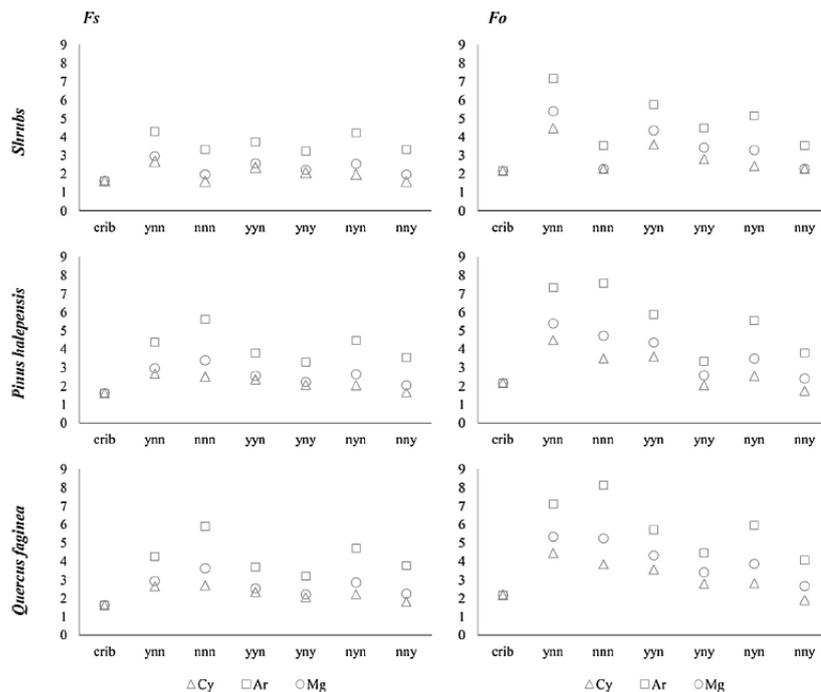


Fig. 14. Summarized results of the stability analysis for the different plants (y refers to the presence of introduced plants in that layer, while n correspond to the absence of planted or seeded vegetation see Table A9 in the Supplementary material). Fs: resistance to sliding; Fo: resistance to overturning; y: presence of ligneous vegetation; n: absence of ligneous vegetation; Ar: loose sandstone; Cy: clay with some sand; Mg: stony marl; Shr: shrubs; Ph: *P. halepensis*; Qf: *Q. faginea*.

**Table A10**

Results of the stability analysis for the log Cribwall and the developed vegetation installed with its construction after the decay of the log structure.

Substrate	Vegetation type	Vegetation above the cribwall	Root depth <1,5	Root depth <1	$F_s$	$F_o$	$P_{max}$	$P_{min}$
Clay	Cribwall				1.62	2.17	133.6	49.9
	Shrubs				2.42	3.32	53.3	110.1
	<i>Pinus halepensis</i>				2.51	3.49	56.3	116.0
	<i>Quercus faginea</i>				2.69	3.85	62.2	127.8
	Cribwall				1.62	2.17	133.6	49.9
	Shrubs		yes		1.97	2.42	127.6	38.9
	<i>Pinus halepensis</i>		yes		2.05	2.55	132.1	43.4
	<i>Quercus faginea</i>		yes		2.21	2.80	141.1	52.4
	Cribwall				1.62	2.17	133.6	49.9
	Shrubs	yes			2.67	4.48	158.1	92.2
	<i>Pinus halepensis</i>	yes			2.67	4.49	158.2	92.3
	<i>Quercus faginea</i>	yes			2.65	4.44	156.9	91.0
	Cribwall				1.62	2.17	133.6	49.9
	Shrubs			yes	1.60	2.28	220.1	-49.7
	<i>Pinus halepensis</i>			yes	1.67	1.74	226.7	-47.1
	<i>Quercus faginea</i>			yes	1.81	1.91	239.7	-41.9
	Gabion				1.62	2.17	133.6	49.9
	Shrubs	yes	yes		2.35	3.60	208.4	40.0
	<i>Pinus halepensis</i>	yes	yes		2.35	3.60	208.6	40.1
	<i>Quercus faginea</i>	yes	yes		2.33	3.57	207.1	39.1
	Cribwall				1.62	2.17	133.6	49.9
	Shrubs	yes		yes	2.07	2.80	263.7	-17.4
	<i>Pinus halepensis</i>	yes		yes	2.07	2.05	263.9	-17.3
	<i>Quercus faginea</i>	yes		yes	2.05	2.78	262.1	-17.9
Ar	Cribwall				2.66	3.56	77.9	101.2
	Shrubs				5.34	7.02	15.1	147.9
	<i>Pinus halepensis</i>				5.62	7.58	19.5	156.8
	<i>Quercus faginea</i>				5.90	8.14	23.9	165.7
	Cribwall				2.66	3.56	77.9	101.2
	Shrubs		yes		4.22	5.15	77.4	88.9
	<i>Pinus halepensis</i>		yes		4.47	5.55	84.2	95.7
	<i>Quercus faginea</i>		yes		4.72	5.95	90.9	102.4
	Cribwall				2.66	3.56	77.9	101.2
	Shrubs	yes			4.30	7.17	126.5	121.7
	<i>Pinus halepensis</i>	yes			4.38	7.33	129.5	124.7
	<i>Quercus faginea</i>	yes			4.27	7.11	125.4	102.9
	Cribwall				2.66	3.56	77.9	101.2
	Shrubs			yes	3.32	3.53	150.5	20.1
	<i>Pinus halepensis</i>			yes	3.54	3.80	160.3	24.1
	<i>Quercus faginea</i>			yes	3.77	4.07	170.1	28.0
	Cribwall				2.66	3.56	77.9	101.2
	Shrubs	yes	yes		3.72	5.75	171.1	75.4
	<i>Pinus halepensis</i>	yes	yes	yes	3.79	5.88	174.7	77.6
	<i>Quercus faginea</i>	yes	yes	yes	3.69	5.71	169.8	74.5
	Cribwall				2.66	3.56	77.9	101.2
	Shrubs	yes		yes	3.23	4.49	218.4	26.0
	<i>Pinus halepensis</i>	yes		yes	3.29	3.34	222.6	27.4
	<i>Quercus faginea</i>	yes		yes	3.20	4.45	216.8	25.5

	<i>Quercus juginea</i>	yes		yes	3.20	4.43	210.8	23.3
M8	Cribwall				1.71	2.57	82.8	83.7
	Shrubs				3.27	4.46	6.6	138.5
	<i>Pinus halepensis</i>				3.39	4.73	9.6	144.4
	<i>Quercus faginea</i>				3.62	5.25	15.5	156.2
	Cribwall				1.71	2.57	82.8	83.7
	Shrubs		yes		2.54	3.29	74.1	74.3
	<i>Pinus halepensis</i>		yes		2.64	3.48	78.6	78.8
	<i>Quercus faginea</i>		yes		2.85	3.86	87.6	87.8
	Cribwall				1.71	2.57	82.8	83.7
	Shrubs	yes			2.96	5.39	131.9	113.6
	<i>Pinus halepensis</i>	yes			2.96	5.39	132.0	113.7
	<i>Quercus faginea</i>	yes			2.94	5.34	130.7	112.5
	Gabion				1.71	2.57	82.8	83.7
	Shrubs			yes	1.96	2.28	154.3	-1.5
	<i>Pinus halepensis</i>			yes	2.06	2.40	160.8	1.1
	<i>Quercus faginea</i>			yes	2.24	2.66	173.9	6.3
Cribwall				1.71	2.57	82.8	83.7	

## REFERÊNCIAS DE LEITURA

- Bloemer, S. et al 2015. European Guidelines for Soil and Water Bioengineering. EFIB
- Bromhead, EN (1992) – Slope stability. 2º. Ed. Blackie Academic & Professional. Chapman & Hall.
- EFIB. Orientações Europeias para o solo e bioengenharia água. 2015. Editado pela Federação Europeia de Solo e Água bioengenharia (EFIB).
- Ortigao, JAR & Sayão, ELSJ (2004) (Ed.) – Slope stabilization Manual. Springer. Heidelberg.
- Coppin, N.J. y I.G. Richards (Eds.) 1990. Use of Vegetation in Civil Engineering. Construction Industry Research and Information Association (CIRIA). Butterworths, London
- Cornellini, P., & G. Sauli. 2005. Manuale di Indirizzo delle scelte progettuali por Interventi di Ingegneria Naturalistica. Ministero dell'Ambiente y della Tutela del Territorio, Roma
- Fernandes, JP e A. Freitas, 2011 - Introdução à Engenharia Natural - Coleção Nascentes para a Vida, EPAL, Lisboa
- Gray, D.H., y R.B. Sitar. 1996. Biotechnical and Soil Bioengineering slope stabilization. la practical guide for erosion control – J.Wiley and Sons, New York ISBN 10: 0471049786 ISBN 13: 9780471049784.
- Mendonça, A.A., y A.S. Cardoso. 1998. Contribuição da vegetação para a estabilidade de taludes. Parte I – Enquadramento geral. Geotecnica nº 82, pp 51-62
- Menegazzi, G., & Palmeri, F. (2013). Il dimensionamento delle opere di Ingegneria Naturalistica. *Direzione Infrastrutture, Ambiente e Politiche Abitative. Regione Lazio.*
- Norris, J. E., Stokes, A., Mickovski, S. B., Cammeraat, E., Van Beek, R., Nicoll, B. C., & Achim, A. (Eds.). (2008). Slope stability and erosion control: ecotechnological solutions. Springer Science & Business Media.
- Sauli, G. ; Cornellini, R. ; Preti, F., (2006) Manuale di Ingegneria Naturalistica, Sistemazione dei versanti. Regione Lazio, Roma
- Schiechtl, H.M. 1980. Bioengineering for land reclamation and conservation. Univ. of Alberta Press. Edmonton/Alberta
- Schiechtl, H. M., & Stern, R. (1996). Ground bioengineering techniques for slope protection and erosion control, ISBN 10: 0632040610, ISBN 13: 9780632040612.
- Studer, R, Zeh, H., De Cesare, G. 2014. Soil Bioengineering – Construction type vdf Hochschulverlag AG der ETH Zürich, ISBN: 978-3-7281-3642-8

**ANEXO - As Principais plantas que dispomos em Portugal para a Engenharia Natural (Carlos Souto Cruz)**

ESPECIE	NOME VULGAR	Tipo de propagação	
		vegetativa	sementeira
<i>Acer monspessulanum L.</i>	zelha	?	X
<i>Acer pseudoplatanus L.</i>	platano bastardo	X	X
<i>Alnus glutinosa (L.) Gaertner</i>	amieiro	X	X
<i>Ammophila arenaria (L.) Link subsp. arundinaceae H. Lindb. Fil.</i>	estorno	X	X
<i>Arbutus unedo L.</i>	medronheiro		X
<i>Artemisia campestris L. subsp. maritima Arcangeli</i>	madorneira	X	X
<i>Atriplex halimus L.</i>	salgadeira	X	X
<i>Betula celtiberica Rothm. &amp; Vasc.</i>	vidoeiro		X
<i>Buxus sempervirens L.</i>	buxo	X	X
<i>Calicotome villosa (Poiret) Link</i>			X
<i>Calluna vulgaris (L.) Hull</i>	urze		X
<i>Castanea sativa Miller</i>	castanheiro	X	X
<i>Celtis australis L.</i>	trovisco alvar		X
<i>Ceratonia siliqua L.</i>	alfarrobeira		X
<i>Chamaerops humilis L.</i>	palmeira anã		X
<i>Chamaespartium tridentatum (L.) P. Gibbs</i>	carqueja		X
<i>Cheirolophus sempervirens (L.) Pomel</i>	viomal		X
<i>Cistus albidus L.</i>	roselha branca		X
<i>Cistus crispus L.</i>	roselha		X
<i>Cistus ladanifer L.</i>	esteva		X
<i>Cistus monspeliensis L.</i>	sargaço		X
<i>Cistus populifolius L. subsp. populifolius</i>	estevão		X
<i>Cistus psilosepalus Sweet.</i>	saganho		X
<i>Cistus salvifolius L.</i>	saganha- mouro		X
<i>Corema album (L.) D. Don subsp. album</i>	camarinheira		X
<i>Cornus sanguinea L. subsp. sanguinea</i>	Sanguinho legítimo	?	X
<i>Coronilla valentina L. subsp. glauca (L.) Batt. in Batt.</i>	sena do reino		X
<i>Corylus avellana L.</i>	aveleira	X	X
<i>Crataegus monogyna Jacq. Fl. subsp. brevispina (G. Kunze) Franco</i>	pilriteiro		X
<i>Crucianella maritima L.</i>	granza das praias		X
<i>Cytisus grandiflorus (Brot.) DC:</i>	giesta		X

<i>Cytisus multiflorus</i> (L' Hér) Sweet	giesta das sebes		X
<i>Cytisus scoparius</i> (L.) Link. subsp. <i>scoparius</i>	giesta		X
<i>Cytisus striatus</i> (Hill) Rothm.	giesta da vasseira		X
<i>Daboecia cantabrica</i> (Hudson) C. Koch	urze		X
<i>Daphne gnidium</i> L.	trovisco femea		X
<i>Elymus farctus</i> (Viv.) Melderis subsp. <i>boreo-atlanticus</i> (Simonet & Guinochet) Melderis	feno das areias	X	X
<i>Elymus farctus</i> (Viv.) Melderis subsp. <i>farctus</i>	feno das areias	X	X
<i>Erica arborea</i> L.	urze		X
<i>Erica australis</i> L.	urze		X
<i>Erica ciliaris</i> L.	urze		X
<i>Erica cinerea</i> L.	urze		X
<i>Erica erigena</i> R. Ross	urze		X
<i>Erica lusitanica</i> Rudolphi in Schrader	urze		X
<i>Erica scoparia</i> L. subsp. <i>scoparia</i>	urze		X
<i>Erica umbellata</i> L.	urze		X
<i>Euonymus europaeus</i> L.		X	X
<i>Frangula alnus</i> Miller		?	X
<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl subsp. <i>angustifolia</i>	figueira		X
<i>Genista florida</i> L.	piorno dos tintureiros		X
<i>Genista triacanthos</i> Brot.	Tojo molar		X
<i>Hedera helix</i> L. subsp. <i>canariensis</i> (Willd) Coutinho	hera	X	X
<i>Hedera helix</i> L. subsp. <i>helix</i>	hera	X	X
<i>Hyparrhenia hirta</i> (L.) Stapf subsp. <i>pubescens</i> (Andersson) Paunero			X
<i>Jasminum fruticans</i> L.	jasmineiro	X	X
<i>Juniperus navicularis</i>	piorro	X	?
<i>Juniperus phoenicea</i> L.	sabina das praias		X
<i>Lavandula viridis</i> L' Her	rosmaninho		X
<i>Ligustrum vulgare</i> L.	alfenheiro	X	X
<i>Lygos monosperma</i> (L.) Heywood	tojo molar		X
<i>Lygos sphaerocarpa</i> (L.) Heywood	piorno branco		X
<i>Malus sylvestris</i> Miller	macieira brava		X
<i>Myrica faya</i> Aiton	samouco		X
<i>Myrica gale</i> L.		?	X
<i>Myrtus communis</i> L. subsp. <i>communis</i>	murta	X	X
<i>Nerium oleander</i> L.	cevadilha	X	X

<i>Olea europaea</i> L. var. <i>sylvestris</i>	zambujeiro	X	X
<i>Ononis natrix</i> L. subsp. <i>hispanica</i> (L. fil.) Coutinho	joina		X
<i>Ononis natrix</i> L. subsp. <i>ramosissima</i> (Desf.) Batt. & Trabut	luzerna das praias		X
<i>Otanthus maritimus</i> (L.) Hoffmanns	cordeiros da praia		X
<i>Phillyrea angustifolia</i> L.	aderno	?	X
<i>Phillyrea latifolia</i> L.	aderno	?	X
<i>Pinus pinaster</i> Aiton	pinheiro bravo		X
<i>Pinus pinea</i> L.	pinheiro manso		X
<i>Pinus sylvestris</i> L.	casquinha		X
<i>Pistacia lentiscus</i> L.	aroeira	?	X
<i>Pistacia terebinthus</i> L.	carnalheira	?	X
<i>Populus alba</i> L.	borrazeira	X	X
<i>Populus nigra</i> L. subsp. <i>caudina</i>	choupo branco	X	X
<i>Prunus avium</i> L.	cerejeira brava	X	X
<i>Prunus dulcis</i> (Miller) D. A. Webb	abrunheiro	X	X
<i>Prunus lusitanica</i> L. subsp. <i>lusitanica</i>	azereiro	?	X
<i>Prunus mahaleb</i> L.	azereiro	?	X
<i>Prunus padus</i> L. subsp. <i>padus</i>	Azereiro dos danados	?	X
<i>Prunus spinosa</i> L. subsp. <i>insititoides</i> (Fic. & Coutinho) Franco	pessegueiro	X	X
<i>Pyrus bourgaeana</i> Decne.	abrunheiro brava	?	X
<i>Pyrus cordata</i> Desv.	pereira brava	?	X
<i>Pyrus pyraeaster</i> Burgsd.	pereira brava	?	X
<i>Quercus canariensis</i> Willd.	carvalho		X
<i>Quercus coccifera</i> L.	carrasco		X
<i>Quercus faginea</i> Lam.	carvalho cerquinho		X
<i>Quercus pyrenaica</i> Willd.	carvalho negral		X
<i>Quercus robur</i> L.	carvalho alvarinho		X
<i>Quercus rotundifolia</i> Lam.	azineira		X
<i>Quercus suber</i> L.	sobreiro		X
<i>Rhamnus alaternus</i> L.	sanguinho das sebes	X	X
<i>Rhamnus lycioides</i> L. subsp. <i>oleoides</i> (L.) Jahandiez & Maire	espinheiro preto		X
<i>Rhododendron ponticum</i> L. subsp. <i>baeticum</i> (Bois & Reuter) Hand-Mazz	adelfeira		X
<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	alecrim	X	X
<i>Ruscus aculeatus</i> L.	tojo	X	X
<i>Salix alba</i> L. subsp. <i>alba</i>	arrudão	X	X

<i>Salix alba</i> L. subsp. <i>vitellina</i> (L.) Arcangeli	salgueiro branco	X	X
<i>Salix arenaria</i> L.	salgueiro branco	X	X
<i>Salix atrocinera</i> Brot.	salgueiro anjo	X	X
<i>Salix fragilis</i> L.	salgueiro preto	X	X
<i>Salix repens</i> L.	vimeiro	X	X
<i>Salix salvifolia</i> Brot. subsp. <i>australis</i> Franco	salgueiro anão	X	X
<i>Salix salvifolia</i> Brot. subsp. <i>salvifolia</i>	borrazeira	X	X
<i>Salix triandra</i> L. subsp. <i>discolor</i> (Koch) Arcangeli	borrazeira	X	X
<i>Sambucus nigra</i> L.	sabugueiro	X	X
<i>Santolina impressa</i> Hoffmanns & Link	tramazeira	X	X
<i>Securinega tinctoria</i> (L.) Rothm.	tamujo	?	X
<i>Sorbus aucuparia</i> L. subsp. <i>aucuparia</i>	tramazeiro	?	X
<i>Sorbus latifolia</i> (Lam.) Pers.	carnogodinho	?	X
<i>Sorbus torminalis</i> (L.) Crantz	mostajeiro	?	X
<i>Spartina maritima</i> (Curtis) Fernald	morraça	X	X
<i>Spartium junceum</i> L.	giesta		X
<i>Tamarix africana</i> Poir.	tamargueira	X	X
<i>Taxus baccata</i> L.	teixo	X	X
<i>Thymus camphoratus</i> Hoffmanns & Link	tomilho		X
<i>Thymus capitatus</i> (L.) Hoffmanns & Link	tomilho		X
<i>Thymus capitellatus</i> Hoffmanns & Link	tomilho		X
<i>Thymus carnosus</i> Boiss	tomilho		X
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	uva do monte		X
<i>Viburnum tinus</i> L. subsp. <i>tinus</i>	folhado	X	X