

INTRODUÇÃO À ENGENHARIA NATURAL

Volume II

João Paulo Fernandes
(Universidade de Évora (ICAAM), APENA)

Aldo Renato Mendes de Freitas
(Eng.º Biofísico)

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	5
ENGENHARIA NATURAL:	7
Uma engenharia para construir sustentabilidade	7
Intervir conservando	9
Adaptação à micro realidade	11
A ENGENHARIA NATURAL – UMA ENGENHARIA DOS SISTEMAS VIVOS	12
As plantas e a vegetação como material de construção	19
Obtenção e selecção das espécies vegetais a utilizar	27
Principais tipos de técnicas de Engenharia Natural	29
ÁGUAS INTERIORES	33
As linhas de água	35
A intervenção nos sistemas ribeirinhos	37
MEIOS TERRESTRES	43
Taludes e encostas	44
Recuperação de áreas degradadas	48
Espaços florestais	52
Prevenção de incêndios florestais	53
Recuperação de áreas ardidas	54
Intervenções de curto prazo em áreas ardidas: controlo da erosão e regulação hidrológica	56
Conservação da Natureza	58
MANUTENÇÃO E ACOMPANHAMENTO	63
BIBLIOGRAFIA	63
ANEXO 1 - Descrição das tipologias de intervenções de Engenharia Natural de utilização mais frequente	67
1. SEMENTEIRA	69
2. HIDROSSEMENTEIRA	70
3. ESTACARIA VIVA	71
4. FASCINA VIVA	73
5. ENTRANÇADOS VIVOS	75
6. ESTEIRA DE RAMAGEM	77
7. LEITO DE VEGETAÇÃO	79
8. MUROS DE SUPORTE VIVO	81

9. GABIÕES VIVOS	84
10. TERRA REFORÇADA	86
11. GRADE VIVA	88
12. GEOTEXTEIS E GEOMALHAS VIVAS	90
13. BIOROLOS	92
14. BARRAGEM DE CORRECÇÃO TORRENCIAL	93
15. SOLEIRAS	94
16. ENROCAMENTO VIVO	95
17. DEFLECTORES (ESPORÕES) VIVOS	96
18. BARREIRAS DE CONTENÇÃO DE SOLO	98
Custos associados à implementação e manutenção de medidas de EN	99
ANEXO 2 - As Principais plantas que dispomos em Portugal para a Engenharia Natural (Carlos Souto Cruz)	103

INTRODUÇÃO

"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. Tem, portanto, como objectivo primário que as suas intervenções preencham plenamente os objectivos que se lhes colocaram do ponto de vista das exigências de uso e se insiram simultaneamente o mais harmoniosamente possível no espaço sistemas naturais, utilizando para tal, os seus próprios sistemas e processos funcionais."

Os seres humanos, têm como principal, senão única, vantagem adaptativa a sua capacidade de reconhecerem o seu ambiente e de, através do seu imaginário intervirem nele de modo a potenciar as funções que os beneficiam e a contrariar aquelas que os prejudicam.

Ao longo dos milénios esta capacidade de gerir o ambiente tomou muitas formas, desde a domesticação de plantas e animais, a irrigação, a construção de abrigos até às profundíssimas alterações que hoje observamos na Terra.

Esta gestão foi, contudo, sempre condicionada pela quantidade de trabalho e energia disponível. Essa limitação determinou que a maior parte dessas intervenções se caracterizasse mais pela orientação das funções e processos naturais, mais do que pela sua substituição por sistemas exteriores artificiais. A vantagem desta forma de intervenção era a de que, ao trabalhar com os Sistemas Naturais e não contra eles, se obtinham resultados idênticos com muito menores custos de manutenção e com crescente eficácia.

A crescente disponibilidade de energia e de tecnologias determinou uma alteração a esta prática, tendendo para que a produção de bens e serviços e utilização dos recursos naturais fosse crescentemente menos eficiente e mais penalizadora para os sistemas naturais, originando uma situação em nos arriscamos a comprometer os mesmos e a sua capacidade de suportarem as nossas sociedades.

O desafio que se coloca hoje às sociedades humanas e às ciências e tecnologias é o de desenvolver sistemas de uso e valorização dos recursos naturais e humanos que garantam a resolução dessas crescentes tensões de modo a garantir as condições para que se garanta o progresso das condições de saúde e bem-estar da humanidade dentro do respeito da capacidade do meio de o suportar.

É neste contexto que importa desenvolver instrumentos de gestão dos Sistemas Ecológicos em que se assumem os mesmos como objecto de criação quer no sentido da construção de "habitats" mais eficazes e funcionais para as actividades humanas, quer para a restauração, recuperação ou substituição de ecossistemas perturbados ou compro-

metidos por essas actividades humanas. A Engenharia Natural procura responder a estas necessidades.

Este pequeno livro procura, neste quadro ilustrar os principais domínios e formas de intervenção da Engenharia Natural no quadro da sua contribuição para uma melhor compatibilização entre as necessidades de uso das sociedades humanas e a capacidade dos sistemas naturais para as preencherem.

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 (aluimentos, 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.Krueidner 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, e referindo um documento de trabalho elaborado pela Gesellschaft für Ingenieurbiologie, pode-se entender por Engenharia Biológica "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.

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 pois 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 Arquitectura 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 pois 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 contém valores naturais e culturais que o colocam igualmente como digno e exigente de protecção.

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.

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, escombreyras, 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) e a recuperação de áreas ardidas 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"

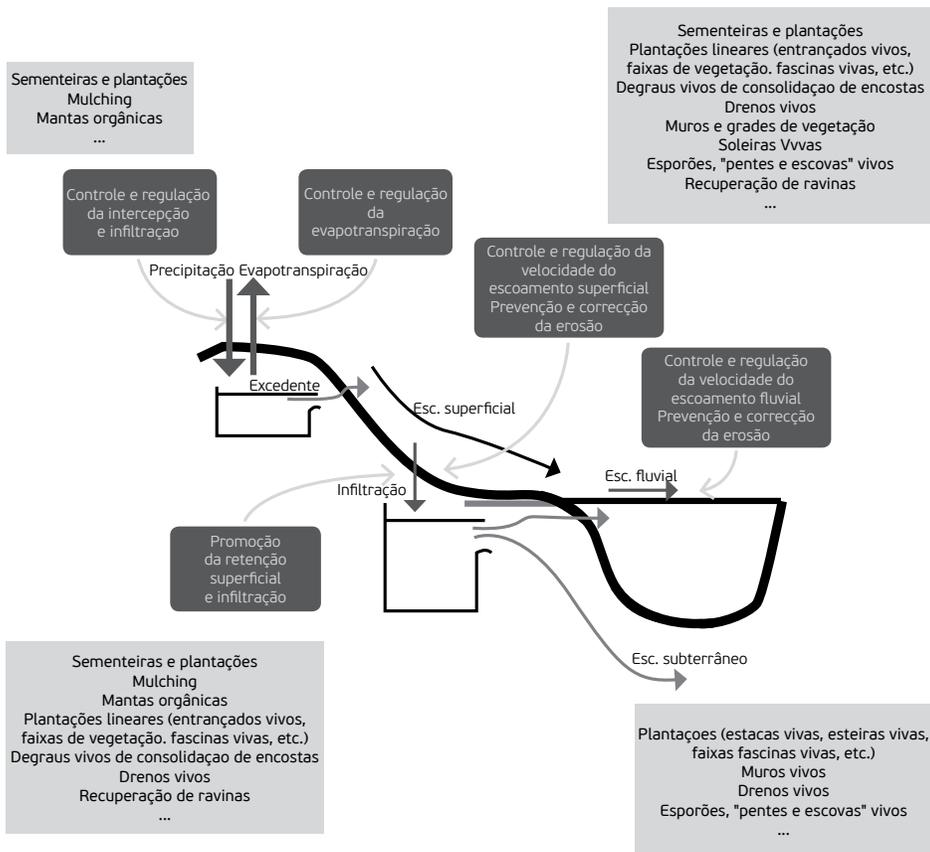


Fig. 1. Intervenções de Engenharia Natural para a gestão dos sistemas hidrológicos

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.

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 correcção 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. Infra-estruturas** – A segurança do uso de infra-estruturas 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 óbvia 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. 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.

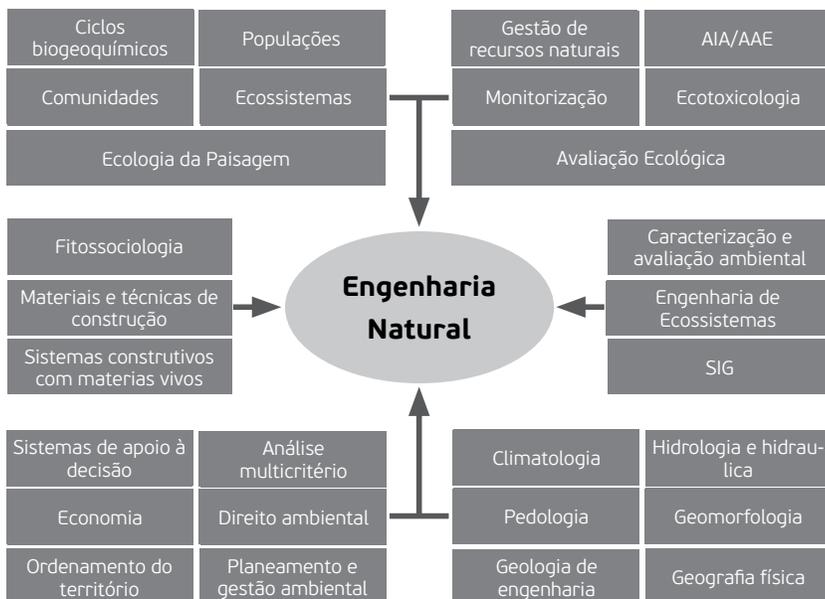


Fig. 2. Engenharia Natural como área de convergência técnica e científica

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.

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). As vantagens e desvantagens acima descritas, derivam das seguintes características básicas da função da vegetação na estabilização dos terrenos:

- **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.

Tab. 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
(i) Não é afectada por processos de degradação, proporcionando, pelo contrário uma estabilização crescente e possuindo, cumulativamente, uma capacidade regenerativa intrínseca.	(i) Não preenche em todas as situações, as exigências de consolidação e segurança requeridas.	(i) Poderão ser mais estáveis.	(i) Tendem a perder a sua eficiência devido à corrosão e degradação e não possuem capacidade de auto-regeneração.
(ii) Preenche a sua função protectora de modo elástico, absorvendo os elementos e acções "agressivas", diminuindo ou anulando a sua intensidade.	(ii) Exige uma aplicação adaptada e dependente das características do sitio, não sendo também passível de utilização construtiva em qualquer altura do ano.	(ii) São mais independentes das características do sitio e de aplicação menos limitada temporalmente.	(ii) Funcionam, relativamente aos agentes agressivos como estruturas construtivas rígidas e não, ou pouco deformáveis.
(iii) É biológica e ecologicamente funcional.	(iii) Só atinge a sua eficiência técnica plena após um certo intervalo de tempo.	(iii) Ficam funcionais a curto prazo.	(iii) Não preenchem qualquer função biológica.
(iv) Possibilita e conduz a uma valorização estética e paisagística, com o enquadramento da construção no espaço natural.			(iv) Constituem, normalmente, elementos estranhos na paisagem.

As plantas apresentam, como já referido, um vasto leque de propriedades (Tab. 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.

Tab. 2. Características da vegetação condicionantes dos diversos efeitos (Adaptado de Mendonça e Cardoso, 1998 e de EFIB, 2008)

		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
Efeitos	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					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 X
	Ancoragem							X	X X X
	Contraforte							X	X X
	Cunha de raízes		X			X	X		X X
	Acção expansiva devido à espessura das raízes							X	X X X
	Compactação		X						X X
	Na qualidade ambiental	Remoção de substâncias eutrofizantes							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

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. 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 um 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.

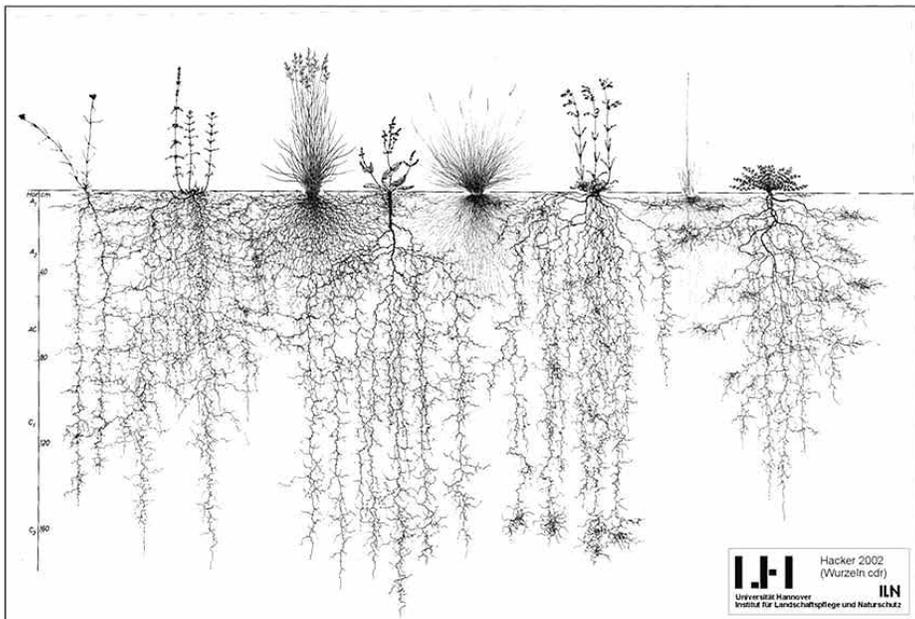


Fig. 3. Exemplos de aparelhos superficial e radicular de diferentes espécies herbáceas e arbustivas e de como só a combinação de diferentes espécies garantirá uma densa armação e cobertura superficial e uma ancoragem profunda e resistente (cortesia Prof.^a Eva Hacker)

Procurando sistematizar estes factores de selecção das espécies e tipologias de plantas a utilizar, a tabela 3 apresenta, de forma simplificada, para os principais tipos de vegetação as vantagens e desvantagens técnicas a ter em consideração nesse processo.

Tab. 3. Adequação dos tipos de plantas para diferentes funções e aplicações de engenharia (Gray *et al.* 1996)

Tipo de vegetação	Vantagens	Desvantagens
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	Enraizam 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

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.

OBTENÇÃO E 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. Tipologia de propagação vegetativa e de instalação (semente, elemento vegetativo, planta enraizada, etc.) (Tab. 4)
3. Disponibilidade de material para propagação (facilidade de obtenção e de estabelecimento em viveiro ou no terreno)
4. Velocidade de estabelecimento e desenvolvimento
5. Funcionalidade técnica (cobertura, tipologias de enraizamento, influência nos balanços de nutrientes, absorção e retenção de contaminantes como metais pesados, etc.)
6. Facilidade de manutenção

Por fim, há ainda que considerar que, para além das espécies em si, tem que se garantir a sua adaptação genotípica e fenotípica às condições locais

No entanto, em situações particularmente extremas, onde nas diferentes associações naturais, não seja possível seleccionar espécies que preencham as necessidades técnicas exigidas pela intervenção de recuperação em causa, pode recorrer-se ao uso de espécies pioneiras estranhas às associações autóctones que ajudem ao rápido estabelecimento das comunidades-alvo, espécie que naturalmente, ou no quadro dos necessários trabalhos de manutenção da obra, deverão ser retiradas quando já não sejam necessárias (ou possam mesmo estar a ter um efeito contraproducente, competindo com a vegetação natural cuja instalação propiciaram).

Um dos problemas associados ao estabelecimento ou restabelecimento da vegetação em zonas alteradas ou degradadas tem a ver com o facto de os substratos apresentarem deficiências físico-químicas e biológicas que condicionam as suas propriedades estruturais, nomeadamente em termos das forças de coesão e erodibilidade.

Tab. 4. Materiais de construção vivos susceptíveis de utilização em obras de Engenharia Natural e respectivas formas de instalação e propagação (adaptado de EFIB, 2008)

	Caníços e juncos	Gramíneas e Herbáceas	Leguminosas	Subarbutivas	Arbustos	Árvores
Caules capazes de enraizarem adventiciamente	X	X	X	X	X	X
Partes de lenhosas capazes de enraizarem						
Estacas					X	X
Hastes assentes no solo					X	X
Ramos assentes no solo						X
Rizomas	X	X	X	X		
Propágulos radiculares					X	
Estacas radiculares					X	X
Sementes	X	X	X	X		
Inflorescências e frutos	X	X	X	X		
Fenos e palhas	X	X	X	X		
Plantas	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
Torrões	X	X	X	X	X	X
Mantas orgânicas vegetadas	X	X	X	X		
Placas de relva		X	X			
Rolos enrolvados		X	X			
Solo com sementes ou placas do horizonte vegetado	X	X	X			
Torrões ou Placas de Vegetação	X	X	X	X	X	X

Por esse motivo, pode tornar-se necessário o recurso quer à adição de materiais que melhorem as qualidades desses substratos no que toca ao estabelecimento da vegetação, quer no que se refere à sua estabilidade estrutural, quer ainda no que se refere à sua erodibilidade (caso de agregantes, solo orgânico ou corretores químicos), quer ainda todas as substâncias, materiais e organismos que garantam as condições biológicas mínimas necessárias ao estabelecimento da vegetação (caso das micorrizas) (Tab. 5).

Tab. 5. Exemplos de materiais de construção e coadjuvantes que contribuem para a estabilidade dos substratos (adaptado de EFIB, 2008)

Materiais naturais inertes	Materiais naturais transformados	Materiais sintéticos
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		

PRINCIPAIS TIPOS DE TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL

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

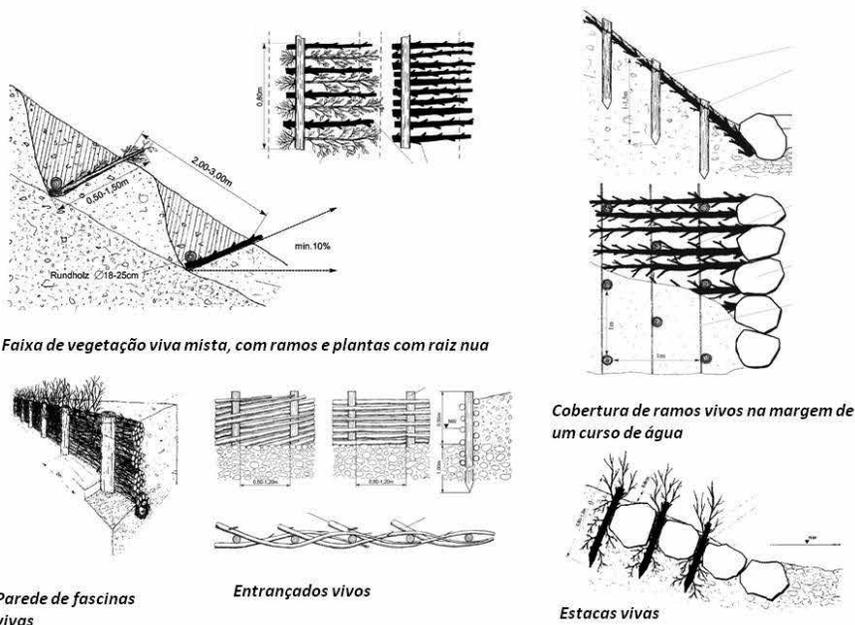
- Técnicas de estabelecimento da vegetação (Tab. 6, Fig 4)
 - Técnicas de cobertura. São técnicas destinadas a evitar a erosão superficial.
 - Técnicas de estabilização. Estas técnicas permitem estabilizar o terreno até 2m de profundidade baseiam-se na disposição de plantas lenhosas obtidas por reprodução vegetativa colocada em filas horizontais. As plantas têm que ter a capacidade de emitir raízes adventícias de modo o originar um entrançado que permita a armação e estabilização do terreno.

Tab. 6. Exemplos de técnicas de instalação da vegetação (adaptado de EFIB, 2008)

Técnica	Cobertura	Estabilização
Sementeira a lançar	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
Fascinas		X
Entrançados		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	

•**Técnicas combinadas** (Tab. 7, Fig 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.

•**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.



Faixa de vegetação viva mista, com ramos e plantas com raiz nua

Parede de fascinas vivas

Entrançados vivos

Cobertura de ramos vivos na margem de um curso de água

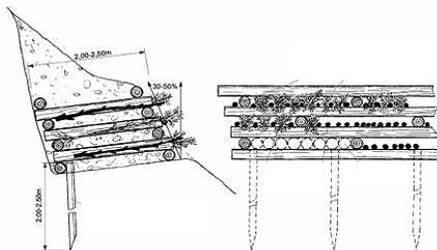
Estacas vivas

Fig. 4. Exemplos de técnicas de instalação da vegetação

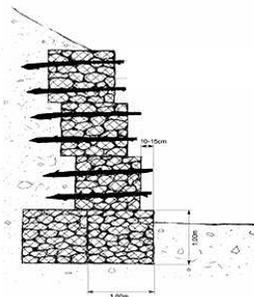
Tab. 7. Exemplos de técnicas de construção que, combinadas com os sistemas construtivos vivos asseguram estruturas combinadas de maior eficácia (adaptado de EFIB, 2008)

Técnica	Cobertura	Estabilização
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 geotexteis	X	X
Muro tipo "Cribwall" de madeira		X
Grade de madeira	X	X
Estacaria		X
Fascinas		X
Mantas orgânicas	X	

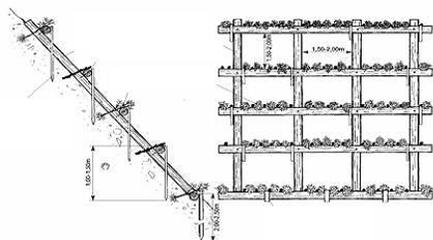
A combinação de uma ou mais técnicas permite a maximização dos objectivos técnicos (estabilização, cobertura) com objectivos de natureza estética, de conservação da natureza ou de segurança ambiental (protecção contra o ruído, filtração de poluentes atmosféricos, etc.).



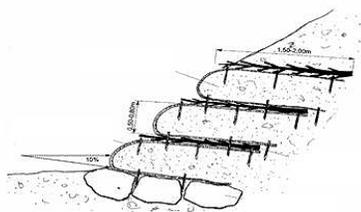
Áreas instáveis a uma profundidade de 1,00 – 2,00 m consolidadas com um muro de suporte tipo "Cribwall" vivo duplo



Gabiões vegetados com ramos vivos



Grade viva



Terra armada com geotêxteis reforçadas com faixas de vegetação

Fig. 5. Exemplos de técnicas combinadas

A selecção das técnicas mais adequadas para deve, portanto, obedecer a critérios claros como os que se procuram sintetizar nas matrizes de decisão constantes das tabelas 9 (para intervenções em meios hídricos) e 12 (para obras de prevenção da erosão e de estabilização de taludes e encostas), sendo que a adequação destas técnicas para a resolução de problemas de estabilidade de taludes e encostas está ilustrada na Tab. 8.

Tab. 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
		material não consolidado, translacional	Deslizamento translacional	2	3	3	3	3
Influência predominante da água do solo, do gelo e da neve	Fluxo	rápido	Fluxo de solo Fluxo de lama		1	1	2	3
				1	1	2	3	
	Rastejamento	lento	Rastejamento de terra		1	1	2	3
			Rastejamento de solo			2	2	3
Influência predominante da chuva e de escoamentos concentrados de precipitação	Perda		Formação de ravinas e barrancos	3	1	1	2	2
Influência predominante da chuva e de escoamentos ocasionais de precipitação	Perda		Erosão superficial	3			2	2
	Combinação	Combinação e sobreposição de diversos processos						

ÁGUAS INTERIORES

Normalmente quando falamos de Águas Interiores temos no pensamento linhas de água permanentes ou efémeras, em lagos, charcos, albufeiras nascentes, pauis, turfeiras ou mesmo lagunas costeiras e estuários.

Em última análise, quando falamos em Águas Interiores estamos a considerar toda a componente terrestre do ciclo hidrológico, seja na sua componente atmosférica, superficial e subterrânea. Este aspecto não pode ser visto apenas como uma mera curiosidade e uma nota introdutória no seu estudo.

Com efeito, os diferentes tipos de Águas Interiores são intrinsecamente dependentes do modo de manifestação local desse ciclo hidrológico:

- O regime pluvial e o balanço hídrico determinam, em grande medida, o regime fluvial, funcionando, ao mesmo tempo, a componente geológica, pedológica e de coberto vegetal ou dêus usos antrópicos como os reguladores desse regime. Esta regulação é feita através do controle e desvio dos diferentes componentes dos fluxos hídricos através dos diferentes subsistemas.
- A morfologia do terreno determina não apenas a energia dos escoamentos, como também a maior ou menor probabilidade de ocorrência de espaços de retenção superficial ou sub-superficial e a origem de formas particulares de Águas Interiores como são os lagos, as charcas, os pauis ou as turfeiras. Da mesma forma determina primariamente a dominância relativa dos processos de erosão e transporte relativamente aos processos de deposição, condicionando, desta forma a natureza dos substratos dos diferentes sistemas hídricos.
- A natureza geológica do terreno, além da já referida acção reguladora dos fluxos hidrológicos tem, conjuntamente com o regime pluvial, um papel crítico na determinação não só do quimismo das águas (aqui também em articulação com o regime de escoamento (a morfologia), já que é a sua natureza química e a sua alterabilidade, associada à agressividade das chuvas e dos escoamentos que vão determinar quais e quantos são as substâncias químicas e os materiais que afluem aos sistemas hidrológicos e neles vão fluir.
- Por outro lado o coberto vegetal, assim como os usos antrópicos da bacia hidrográfica e terrenos adjacentes vão também agir, não só como reguladores dos fluxos hidrológicos, como também como reguladores da natureza química dos sistemas hidrológicos através da libertação ou absorção de substâncias e compostos químicos presentes nos fluxos hidrológicos (precipitação, escoamento superficial ou sub-superficial) ou pela libertação voluntária (caso dos sistemas antrópicos de substâncias de variadíssima natureza directamente nos corpos de água ou nos sistemas a eles afluentes.
- Finalmente (e os últimos também podem e são muitas vezes os primeiros), temos todo o biota dos diferentes tipos de Águas Interiores e dos ecótonos específicos a ele associados que, integrando todas estas influências não funcionam como mera consequência determinística desses processos dinâmicos, mas apresentam uma individualidade e dinâmica específica que conferem natureza autónoma a cada sistema local de per si.

Temos ainda que os ecossistemas de águas interiores são muito mais que os corpos de água individualizáveis e incluem todos os ecossistemas que, de uma forma ou de outra são afectados e determinados pelos sistemas hidrológicos. Destes ecossistemas permitam-me realçar as várzeas e todas as planícies de inundação e leitos de cheia, normal e inadequadamente tratados como ecossistemas terrestres, quando a sua liga o aos ecossistemas hidrológicos não   conjuntural mas sim estrutural.

AS LINHAS DE ÁGUA

"Linhas de água são corpos de água estendendo-se por trajectos longos, com uma corrente variável e em parte turbulenta (impedindo portanto na maior parte dos casos uma estratifica o térmica da água), com margens variadas e uma rela o  gua-Terra bastante intensa. A sequência natural da vegeta o inclui pelo menos a vegeta o aquática e a vegeta o herbácea e lenhosa da margem (zona de madeira branca) e em caso ideal, toda a Várzea. (...) Ao longo do trajecto da corrente as características físicas e biológicas (os biótopos) sofrem altera es significativas especialmente em termos do volume de água, do regime de escoamento, da corrente, da erosão e sedimenta o de substratos, da temperatura etc. Apesar do zonamento no sentido de jusante da corrente, a sua velocidade, devido a obstáculos no leito como rochas ou grupos de vegeta o, apresenta, por vezes, mesmo em trechos bastante limitados, varia es extremamente consideráveis, podendo em remansos ou atrás de pedras gerar-se zonas de águas paradas. Em geral a velocidade diminui do meio do corpo de água para o fundo e margem devido   maior resistência a  encontrada."

Blab, J., 1986

Uma linha de água corresponde no essencial a uma estrutura de drenagem hidráulica de uma vasta área de concentra o (a Bacia Hidrográfica). Por essa razão o seu carácter e funcionalidade dependem directa e indissolvelmente das características da Bacia Hidrográfica por ela drenada e obviamente dos processos climáticos e hidrogeológicos nela ocorrentes, assim como, de uma forma determinante das características do uso do solo na superfície da Bacia.

Focalizemo-nos agora nesses ecossistemas particulares de interface entre os sistemas hídricos propriamente ditos e os sistemas terrestres, porque me parece que eles ilustram perfeitamente o que atrás disse.

Os ecossistemas ribeirinhos constituem ecossistemas particulares, dado que a sua articula o a linhas e planos de água lhes confere características de ec tone com as consequentes trocas intensas de substâncias e materiais de acordo com gradientes de humidade, luminosidade e de natureza do substrato. Por outro lado, no caso das linhas de água, o carácter variável do seu caudal e energia de escoamento ao longo do seu traçado determina, igualmente, gradientes dinâmicos geradores de intensas varia es na natureza intríseca desses.

Estas duas razões fundamentam a afirma o que os ecossistemas ribeirinhos preenchem fun es charneira no espaço, em termos locais, articulando ecossistemas de natureza

totalmente diversa e funcionando como planos dinâmicos de intercâmbio ecológico assim como, em termos regionais, articulando espaços de diferente natureza, quer em termos do carácter variável do corpo de água, quer da ecologia dos terrenos atravessados ao longo do seu trajecto.

Da mesma forma, os gradientes longitudinais assumem também padrões muito variáveis, articulando domínios distintos dentro do mesmo troço (através, por ex. do diferente carácter dos afluentes), ou chegando mesmo a, aparentemente, perder a individualidade na paisagem, sem perder o seu carácter de eixo de concentração e transporte (caso de muitos cursos intermitentes no domínio mediterrânico.

Estes ecossistemas, ao assumirem um papel charneira na paisagem, asseguram um conjunto de acções da maior importância, independentemente da natureza mais ou menos antropizada dessa paisagem. Com efeito, ao constituírem ecótonos diversificados entre os meios hídricos e os ecossistemas terrestres envolventes, assumem funções de complementaridade ecológica com esses espaços, já que constituem zonas de refúgio e reprodução, zonas de alimentação e dessedentação, ao determinarem habitats húmidos ou méxicos em domínios xéricos, ao assegurarem, pela simples presença de água e pela maior produtividade que a associação desta e de substratos de acumulação originam, níveis de sustentação bastante distintos do que os que ocorreriam, caso não existissem como estruturas estáveis e diversificadas.

Com efeito, as linhas e outros corpos de água, longe de constituírem simples estruturas hidráulicas, como infelizmente muitas vezes são consideradas, são capazes de, apenas devido à sua complexa natureza e dinâmica ecológica, assegurar sustentavelmente a disponibilidade em recursos hídricos, a estabilidade dos terrenos adjacentes, a protecção contra cheias e secas, a disponibilidade em recursos piscícolas, cinegéticos e florísticos, que constituem as suas principais funções de uso para os sistemas económicos.

Estas funções, independentemente do seu valor económico assumem ainda um valor ecológico crucial, já que, pelo seu carácter linear e abrangente da totalidade do território, os ecossistemas ribeirinhos preenchem uma função de conectividade, que mais nenhuma estrutura ecológica está em condições de realizar. Não constituindo eixos universais de interligação entre ecossistemas, constituem, contudo, redes interligando espaços diversificados e elementos potenciadores duma diferenciação da estrutura e capacidade de sustentação ecológica do espaço, ao potenciarem a existência de manchas de recursos e perturbação de natureza muito diversa, ao assegurarem para inúmeras espécies, vias de intercâmbio genético capazes de assegurar metapopulações viáveis, ao potenciarem ou ao associarem-se a condições ecológicas locais particulares, potenciadoras de formações e potenciais originais.

Estas funções e estes potenciais não se associam, contudo, a uma estrutura ecológica estável e mantida como tal. Grande parte do potencial anteriormente referido decorre

da intensa dinâmica associada a estes ecossistemas e que se espelha na diferenciação registada nos substratos aluvionares (decorrente de diferentes regimes passados de correntes e de cheias e indutora de distintas condições ecológicas na matriz aluvionar) ou na diferenciação permanente das estruturas de várzea, em função do regime de cheias ou de secas, induzindo perturbações localizadas, responsáveis pela permanente criação do focos locais de diversidade estrutural e específica.

Por estes motivos, a articulação destes ecossistemas com os espaços de uso, sendo mutuamente benéfica em algumas situações, é historicamente fonte de conflitos pela incompatibilidade entre a necessidade de variação desses ecossistemas e a necessidade de estabilidade dos sistemas de produção económica. Contudo, as tentativas de simplificação e de controle dessa necessidade de variação têm redundado, regularmente, em perdas a médio ou logo prazo, por geração de perturbações de grande magnitude (por exemplo, cheias, erosão, sedimentação, secas, eutrofização) anteriormente amortecidas pela variabilidade localizada e pela ocorrência de micro-perturbações dentro do sistema estável.

A necessidade de conciliar estes dois sistemas, assegurando que os ecossistemas ribeirinhos preencham todas as suas funções numa forma compatível com a necessidade de os sistemas económicos usufruírem plenamente dos recursos e potencial produtivos desses sistemas, levanta problemas complexos de gestão que não são conciliáveis com visões parcelares (dominantemente hidráulicas ou conservacionistas) e que implicam uma abordagem tão criativa quanto diversificados são esses ecossistemas.

A INTERVENÇÃO NOS SISTEMAS RIBEIRINHOS

Dois princípios têm de reger a gestão destes espaços:

- (i) Princípio da intervenção mínima - a estabilidade dos sistemas é tanto maior quanto mais próximo do natural são as suas componentes e funções e quanto mais diversificados são os sistemas integrantes e os seus reguladores.
- (ii) Princípio da área mínima - qualquer sistema exige uma área mínima para poder evoluir de uma forma equilibrada, gerando e amortecendo as perturbações associadas à variabilidade intrínseca das funções e processos naturais.

Estes dois princípios tomados com a necessária maleabilidade decorrente da enorme diversidade de exigências de uso colocadas relativamente a estes sistemas, permitem orientar a gestão das linhas de água e restantes ecossistemas ribeirinhos de uma forma muito mais equilibrada do que tem até agora sido geralmente conduzida.

Assim, a **primeira regra** de gestão é a de que se impõe uma perspectiva integrada de gestão do conjunto da bacia, já que as aflúências e o seu regime decorrem directamente da natureza do uso de toda a bacia.

A **segunda regra** é a de que quanto mais próximos do natural forem os sistemas construtivos empregues, maior será a viabilidade e longevidade do sistema ou da estrutura construída.

A **terceira regra** é a da adequação das intensidades de uso à natureza e condicionantes do território. Assim, por ex. as várzeas não podem ser consideradas como espaços de vocação múltipla sem restrições, mas têm de ser considerados e geridos como espaços de elevada capacidade de uso, condicionada e potenciada pela sua natureza de espaços de acumulação, inundáveis e de freático superficial, exigindo, portanto zonamento do uso em função da frequência dos riscos de inundação.

A **quarta regra** é a da rede ecológica. Os ecossistemas ribeirinhos ao constituírem uma rede que percorre numa forma extremamente diversificada o território da bacia hidrográfica, tem de ser preservado na capacidade de manter essas funções articuladas, num quadro de preservação da diversidade dos restantes ecossistemas terrestres.

Os princípios a que devem obedecer as intervenções nas linhas e planos de água são os seguintes:

- O comprimento natural da linha de água não deve ser alterado.
- Na construção de leitos em declive deve-se observar a manutenção das condições para os peixes e assegurar a maximização da capacidade de arejamento natural.
- O aquecimento do corpo de água devido à destruição das sombras ou ao alargamento do perfil é de evitar.
- Deve-se manter sempre um nível mínimo de escoamento.
- A variedade dos biótopos deve ser preservada ou aumentada.
- A rugosidade do leito não deve ser diminuída.
- A segurança do perfil deve ser assegurada através do recurso a materiais vivos.
- Quando da utilização de pedras e outros materiais inertes na segurança das margens, não deve ser alterado o carácter da linha de água.
- Em casos de alteração positivas da intensidade da corrente deve-se diminuir a sua velocidade através do aumento da rugosidade do perfil.

Para cumprir estes princípios há que obedecer às seguintes linhas orientadoras para a renaturalização de linhas e planos de água (Pflug, 1986).

- O ecossistema vale/linha de água deve ser considerado como uma unidade incluindo a Linha de Água e a Várzea por ela determinada, em estreita ligação com a Bacia Hidrográfica que a alimenta e determina.

- Os rios e ribeiras que, por via de intervenções várias, se encontram desequilibrados e não funcionais) devem ser recuperados através, nomeadamente de:
 - permissão de cheias controladas,
 - reconstrução de zonas húmidas e de encharcamento típicas,
 - recuperação de meandros destruídos por obras de linearização,
 - reposição de níveis freáticos mais elevados nas várzeas (diminuição da intensidade de enxugo),
 - manutenção dos existentes e construção de novos espaços de retenção hídrica,
 - recuperação e reconstrução de habitats diversificados para a fauna e flora,
 - limitação da área agrícola,
 - reconstrução de parte da mata ripícola,
 - recuperação do corpo de água,
 - desvio de águas residuais.
- As margens devem ser libertadas de usos agrícolas, urbanos, industriais ou de recreio com carácter intensivo.
- Protecção das matas ripícolas ainda existentes, não só pelo seu elevado valor ecológico, mas igualmente como espaços de retenção, infiltração e armazenamento de água.
- As margens das linhas de água devem, no essencial, serem cobertas e consolidadas com a vegetação ripícola correspondente às condições ecológicas nelas prevalentes, devendo para tal, serem edificadas as medidas construtivas de apoio adequadas e necessárias, assim como reservada a área indispensável ao seu desenvolvimento equilibrado dentro das exigências próprias de cada linha de água. A vegetação deve:
 - diminuir a energia da corrente,
 - consolidar e armar o terreno através de um correcto e adequado desenvolvimento radicular,
 - sombrear o corpo de água, assegurando por via destas funções uma temperatura reduzida deste e garantir um fraco ou nulo desenvolvimento da vegetação infestante,
 - garantir uma diminuição do risco de erosão ou ruptura das margens, propiciando simultaneamente um nível adequado de sedimentação,

- deve, simultaneamente, exigir um mínimo de cuidados de manutenção, devendo-se procurar combinações específicas tais, que maximizem os objectivos hidráulicos, minimizando simultaneamente o risco de ocorrências que possam gerar necessidades de correcção.
- A linha de água deve dispor de espaço para meandrar (sempre que tal corresponder às suas características morfológicas), devendo as formações aluvionares e os meandros existentes, serem protegidos e incluídos na zona consolidada e valorizada pela mata ripícola.
- Devem-se evitar declives uniformes das margens, devendo estes adaptar-se à forma do terreno, às características do substrato pedológico e às condições de escoamento.
- Deve-se propiciar a ocorrência de numerosos e variados micro-biótopos, através de uma diversificação dos substratos do fundo e margens e da existência e promoção de obstáculos e variações bruscas do perfil do leito
- Devem-se promover sistemas de que resultem aumentos da capacidade biodegradativa da linha de água (zonas de caniço, sombreamento (aumentando o O.D. devido ao decorrente abaixamento da temperatura da água), aumento da rugosidade e criação de obstáculos como degraus e quedas de água de modo a propiciar uma mais intensa reoxigenação natural).

Estas linhas orientadoras terão necessariamente de serem balanceadas caso a caso conforme as condições existentes e os condicionalismos decorrentes de usos já instalados ou de exigências particulares de rentabilização. Contudo, o seu carácter deverá no essencial ser respeitado, procurando-se uma maximização progressiva do seu grau de cumprimento.

Os materiais construtivos inertes só devem ser utilizados quando os materiais vivos não preenchem a sua função de regeneração e protecção. Certos trabalhos, ligados por ex. à construção de fundos só podem ser realizados recorrendo-se a materiais inertes.

Apenas se devem utilizar materiais que não alterem o quimismo natural da linha de água e lhe correspondam morfológica e topologicamente. Sempre que se utilizem materiais construtivos inertes deve-se procurar articula-los com sistemas construtivos vivos, não só de modo a valoriza-los ecologicamente, como a diminuir a necessidade e intensidade do seu uso.

A vegetação preenche funções específicas determinantes para a segurança das margens e a integração da linha de água na paisagem, funcionando em grande medida simultaneamente como promotoras de uma comunidade ecológica diversificada.

Os diversos tipos de vegetação preenchem funções distintas:

- **Árvores e arbustos da margem** - são as espécies lenhosas associadas às linhas de água. Crescem na linha média de inundação ou acima desta e estão diferentemente

adaptadas a suportar diferentes intensidades e duração de inundação anual. Cumprem uma série de funções específicas como proteger com o seu raizame a margem da erosão e de outros danos, sombrear a corrente evitando o desenvolvimento de processos eutróficos e de infestantes e ainda um excessivo aquecimento do corpo de água oferecendo ainda um espaço para o estabelecimento de um ecossistema estável.

- **Juncos e caniços** - têm como principais funções as de enraizar a zona de variação do nível da água, evitando até um determinado ponto, a erosão nessa zona, as de sombrear parte da linha de água e as de oferecer um meio de instalação a inúmeras espécies vegetais e animais.
- **Outros elementos (sub-bosque e herbáceas)** - cumprem funções de consolidação das margens, de protecção a curto prazo e permitem um melhor desenvolvimento da sucessão.

A vegetação vai preencher igualmente funções de construção da paisagem, assegurando uma imagem marcada e marcante da linha de água na paisagem. Deve estabelecer relações estruturais e funcionais com as restantes comunidades envolventes integrando-se na estrutura de continuum natural da região.

Importa contudo referir que a vegetação, conforme a sua natureza, apresenta características hidráulicas distintas que importa salvaguardar, já que permitem preencher diferentes objectivos técnicos.

Em relação à intervenção propriamente dita, devem-se evitar, como referido, alterações do perfil da linha de água, assim como do seu comprimento, sempre que estas conduzam ao aumento da velocidade da corrente e conseqüentemente, a um maior risco de erosão e à necessidade de uma maior consolidação das margens. Soleiras e obstáculos que alterem o regime de escoamento podem ser de grande utilidade no processo de reoxigenação, ao mesmo tempo que, criando ligeiras represas, mantêm o nível da água dentro de um limite mínimo e geram diferentes biótopos no corpo de água.

O perfil transversal deverá apresentar uma elevada flexibilidade e diversidade e corresponder a uma estrutura cujas funções de consolidação e acções sobre o escoamento se coadunem com a tipologia de uso do leito de cheia a qual, contudo, deve ser objecto de um ordenamento cuidado tendo em consideração as limitações próprias do regime natural de inundação a que estão sujeitas. Em caso algum é de aceitar a desvirtuação global do carácter da linha de água e do seu leito de cheia por usos abusivos.

A intervenção deve pois ter em conta esta grande complexidade estrutural e funcional e procurar não só preservá-las, como promover o seu carácter natural ou próximo do natural.

Por outro lado, é crítico ter em consideração que a gestão das linhas de água deve ser feita pensando que além dos 2% de dias de cheia existem 98% de dias de caudais normais ou mesmo de estiagem, com imposição do recurso a estruturas cada vez mais pesadas de armazenamento e distribuição.

Este tipo de situações implica um cuidado particular com a protecção das margens fluviais no sentido da prevenção dos fenómenos erosivos, função que só pode ser eficazmente assegurada por uma pujante e adequadamente gerida mata ripícola e a adequada gestão dos leitos de cheia e das suas margens de invernía. Desta forma, a existência de corredores ripícolas densamente enraizados mas medianamente permeáveis ao escoamento no leito principal da linha de água e de corredores arbóreos densos e bem enraizados na orla dos leitos de cheia assume-se como fundamental para a prevenção dos principais riscos de erosão ravinar.

A galeria ripícola funciona hidraulicamente como um retardador do caudal de cheia e como um fixador dos solos da margem, sendo as funções da galeria do leito de cheia essencialmente as mesmas associadas ou não a compartimentações longitudinais de retardamento justificáveis pela energia das enxurradas.

Obviamente que, qualquer destas infra-estruturas são absolutamente incompatíveis com usos do leito de cheia que não possam suportar, sem danos irreversíveis períodos curtos (até uma semana) de submersão, o que exclui, em absoluto construções de qualquer natureza. Implica igualmente, que vegetação como a silva e outras trepadeiras devam ser cuidadosamente geridas e limpas durante a manutenção da galeria ripícola para assegurar a sua maleabilidade e permeabilidade relativa e evitar, em absoluto, a potenciação de situações de represamento de detritos transportados com os decorrentes riscos de ondas de cheia anormais após a sua súbita ruptura.

A florestação das encostas e a eventual introdução de medidas de correcção torrencial em cabeceiras mais ameaçadas é um terceiro tipo de intervenção que permitirá, não só a redução do efeito catastrófico local e a jusante das cheias, como aumentar a retenção superficial e sub-superficial, potenciar a infiltração e reduzir a erosão.

Concretizando, pode-se afirmar que a construção natural de linhas de água, se bem que utilizando todos os materiais e tecnologias disponíveis, concentra contudo os seus esforços, na construção de sistemas biotecnológicos, organizados de tal modo, que preencham as exigências tecnológicas (protecção contra a erosão, consolidação e reconstrução de margens, regularização fluvial, retenção e amortecimento de cheias, etc.) e ecológicas (reactivação biológica), não só da melhor forma possível, como no mais curto espaço de tempo, como ainda com uma eficiência sempre crescente.

A Tab.9 enuncia quais as técnicas mais adequadas aos diferentes tipos de problemas e meios ocorrentes nos sistemas hídricos.

Tab. 9. Matriz de decisão para a selecção de técnicas de intervenção em meios hídricos (adaptado de Florineth, 2007 e Hacker, 2009)

Classif.	Técnica construtiva	Função e eficácia					Velocidade da corrente			Resistência à tensão de arraste τ		
		Medidas estruturais	Medidas de segurança	Técnicas construtivas superficiais	Técnicas construtivas lineares	Técnicas construtivas pontuais	0 – 1 m/s	1 – 3 m/s	> 3 m/s	< 100 N/m ²	100 – 200 N/m ²	> 200 N/m ²
Construções lineares	Relvado	X	X				X			X		
	Placas de Relva	X	X	X			X	X	X	X	X	X
	Entrançados		X		X		X	X	X	X	X	
	Fascinas		X		X		X	X	X	X	X	X
	Esteira de ramos		X	X			X	X	X	X	X	X
	Degraus vivos de consolidação de taludes da margem		X		X		X	X	X	X	X	X
	Degraus vivos de consolidação da base da margem		X		X		X	X		X	X	
	Fascinas		X		X		X	X	X	X	X	X
	Parede de Fascinas		X		X		X	X	X	X	X	X
	Fascinas sobre faixas de vegetação		X		X		X	X		X	X	
	Muro armado de geotextil com faixas de vegetação		X		X		X	X	X	X	X	X
	Muro de madeira "Cribwall" simples		X	X	X		X	X		X	X	
	Muro de madeira "Cribwall" duplo		X	X	X		X	X		X	X	
	Construções pontuais	Gabião		X		X		X			X	
Rede			X		X		X	X		X	X	
Deflector / Esporão			X		X	X	X			X		
Feixes de ramos			X	X			X			X		
Entrançado de ramos mortos			X	X			X			X		
Fascinas no talude da margem				X			X	X		X	X	
Geotextil cobrindo a margem em talude			X	X			X	X		X	X	
Geotextil com estacaria viva			X	X	X		X	X		X	X	
Árvores para protecção de margens			X	X		X	X			X		
Tocos enraizados			X			X	X	X		X		
Estacas de salgueiro em enrocamento			X	X		X	X	X	X	X	X	X
Estacas de salgueiro em no talude da margem		X	X		X	X			X			
Plantas lenhosas enraizadas		X	X		X	X			X			

MEIOS TERRESTRES

Os meios terrestres colocam desafios muito diversificados em termos da sua gestão e da promoção dos seus valores e funções naturais. Estes desafios assumem essencialmente duas formas:

- Prevenção e correcção da degradação do solo e da instabilidade das encostas e taludes.
- Preservação e recuperação da funcionalidade natural, garantindo a maior segurança e eficácia dos usos do território, sejam eles humanos ou naturais.

TALUDES E ENCOSTAS

Os problemas associados a estes meios específicos prendem-se essencialmente com dois tipos de processos (Fig. 6): Erosão superficial e Movimentos de Massa (escorregamentos e aluimentos).

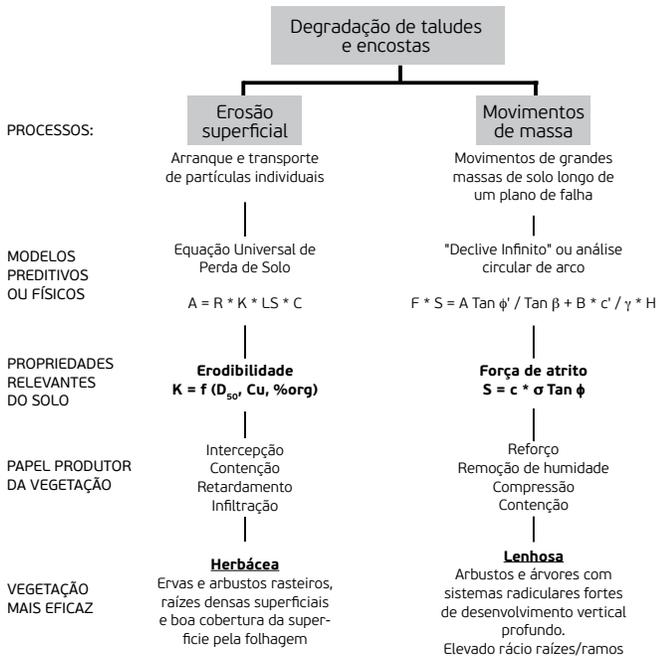


Fig. 6. Factores de degradação de taludes e encostas e efeito protector e correctivo da vegetação (Copin e Richards, 1990)

Por seu lado, 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 e 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, fascinas, 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 ancorante 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 (τ) o qual é função da coesão (c) do material, da tensão vertical a que está sujeito (σ) e do ângulo de atrito específico do material (φ) (Tab. 10):

Tab. 10. Causas de ruptura em taludes e encostas (extraído de Coppin e Richards, 1990)

Aumento da tensão de ruptura	Redução das forças de resistência à ruptura
1. Sobrecarga do talude e encosta (estruturas ou aterros no coroamento)	1. 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)	2. 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")	3. Meteorização e degradação físico-química (troca iônica, hidrólise, dissolução, etc.)
4. Aumento das tensões laterais (fendas e fissuras preenchidas com água)	4. 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. 7):

- **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. 8) a qual decorre da sua capacidade de ancoragem associada á resistência específica de cada tipo de raiz à ruptura e do aumento

- W Peso total da coluna de solo, kN/m²
- C, ϕ Parâmetros efectivos de resistência no plano de escorregamento
- l Comprimento do plano de escorregamento sob a coluna de solo, m ($l = b \sec \alpha$)
- u Pressão da água nos poros no plano de escorregamento, kN/m² (y_w, h_w)
- u_e Redução na pressão da água nos poros no plano de escorregamento devido à evapotranspiração, kN/m²
- c_k Coesão acrescentada do solo devido ao reforço pelamatriz radicular no plano de escorregamento, kN/m²
- c_e Coesão acrescentada do solo devido à evapotranspiração no plano de escorregamento, kN/m²
- S_w Sobrecarga devido ao peso da vegetação, kN/m
- D Sobrecarga paralela ao declive devida à acção do vento, kN/m
- T Força tensil das raízes actuando na base da coluna, kN/m (ângulo assumido entre as raízes e o plano, θ)
- h_s Altura vertical da coluna de solo sobre o plano de escorregamento, m
- h_w Altura vertical da coluna do freático sobre o plano de escorregamento, m

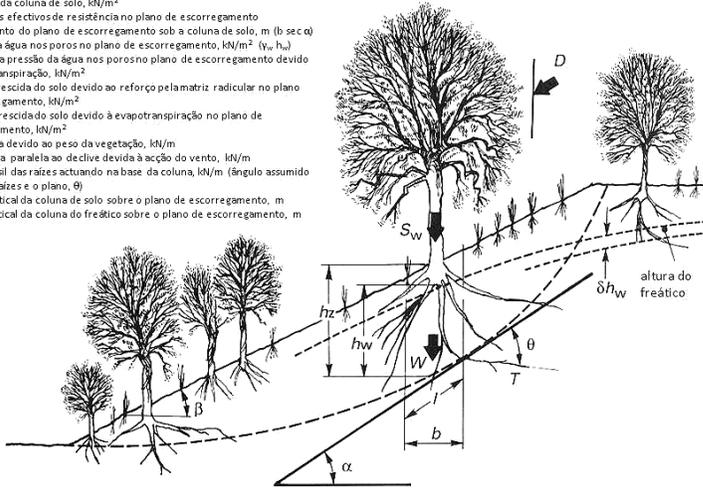


Fig. 7. Efeitos da Vegetação num talude (Coppin e Richards, 1990)

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. 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 (Tab. 11).

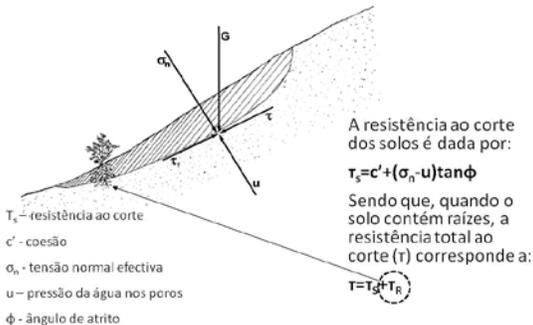


Fig. 8. Ilustração do efeito de aumento da resistência ao corte propiciado pelas raízes da vegetação (adaptado de Coppin e Richard, 1990)

A selecção das técnicas mais adequadas deve, portanto, obedecer a critérios claros como os que se procuram sintetizar na matriz de decisão constante da Tab. 12.

RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

A Engenharia Natural contribui para a problemática da recuperação destes diferentes espaços (degradados) através da sua abordagem integrada (e integrante em termos das distintas capacidades profissionais e técnicas necessárias) que procura conjugar as abordagens construtivas focalizadas e baseadas nos sistemas vivos com os sistemas construtivos e os materiais inertes numa perspectiva não só de consolidação e protecção ou de enquadramento estético, mas também de reenquadramento ecológico e funcional.

A abordagem ao problema da intervenção nestes espaços começa com a caracterização do contexto de intervenção, os seus objectivos, as condicionantes ambientais existentes ou que irão ser originadas, permitindo uma identificação clara das condições ambientais que existem ou irão ser originadas e os condicionalismos que colocam ou irão colocar ao estabelecimento da vegetação e das formações vegetais pretendidas. No caso concreto dos espaços associados a explorações de inertes eles correspondem na imensa maioria dos casos a espaços com condições edafo-climáticas extremas que exigem, logo à partida, de forma a permitir qualquer tipo de instalação de vegetação, intervenções de grande intensidade no sentido da criação de substratos susceptíveis de permitir essa instalação.

Essas intervenções envolvem não só a importação e disposição de solos, como a melhoria das condições estruturais, físicas, químicas, hídricas e nutricionais dos substratos porventura existentes ou remanescentes, como ainda a associação entre esses substratos importados e os materiais subjacentes de modo a evitar soluções de continuidade. Associadamente importa verificar da necessidade de regulação dos fluxos afluentes ou incidentes à(s) área(s) de intervenção, sejam eles hídricos (superficiais ou subterrâneos) ou aéreos, evitando que esses fluxos condicionem ou ponham em causa a instalação da vegetação. O mesmo pode ser dito relativamente a condicionantes como a radiação incidente.

Esta avaliação implica, obviamente, o envolvimento dos diferentes especialistas temáticos de modo a caracterizar detalhadamente as condições ambientais existentes e a poder, consequentemente identificar, em função dos objectivos da intervenção, quais as plantas susceptíveis de serem utilizadas e quais as técnicas de instalação e de complemento estrutural e ecológico.

Tab. 11. Tipologias de métodos construtivos a aplicar por cada tipo de problemas e factores de risco (Coppin e Richard, 1990)

		Consequências da ruptura do talude ou encosta (*)					
		Importante			Pouco Importante		
		Estabilidade do talude e encosta sem protecção					
Método	Função	Elevada	Média	Baixa	Elevada	Média	Baixa
1- Construções vivas							
Plantação e sementeira convencionais	Sementeiras de herbáceas Relvados plantados e reforçados com geotextil Árvores e arbustos	Controle da erosão hídrica e eólica isolamento		na		na	na
Lenhosas usadas como reforço e como barreiras contra o movimento do solo	Entrançados e fascinas Estacaria Plantação em linhas Faixas de vegetação Paliçadas	Controle da erosão devida à precipitação, da erosão em sulcos e do ravinamento. Controle dos movimentos translacionais superficiais				na	na
2- Construções combinadas							
Plantações convencionais com geotexteis. Plantas lenhosas instaladas em interstícios de construções de pequena a média dimensão ou em intervalos de estruturas lineares	Placas de relva, sementeiras de herbáceas e transplantos de arbustos. Revestimentos vegetados (rip-rap, alvenaria, grades, gabiões, mantas, blocos, redes). Aterros reforçados com geotexteis vegetados e com "pregamentos" de estacas. Muros de retenção vegetados (grades (Cribs) abertas, gabiões, muros em módulos préconstruídos, muros armados com geotextil, armações de redes soldadas, de madeira ou de betão pré-formado.	Protecção contra a erosão devida ao escoamento superficial e subsuperficial. Controle de movimentos de massa superficiais e resistência a tensões baixas a moderadas. Barreiras contra desmoronamentos rochosos. Barreiras ambientais. Controle e retenção de avalanches e desmoronamentos Redução da manutenção e aumento do tempo de serviço / eficácia.					na
Muros de retenção combinados com plantação da vertente	Muros de pequena a média dimensão (pedra, alvenaria, betão préfabricado, muros em grade tipo "Cribwall" em madeira ou betão com vertente supra jacente plantada e vegetada	Controle da erosão em taludes de corte e aterro "descalçados" por obras de alargamento rodoviário ou ferroviário, etc. Redução do declive ou comprimento do talude. Melhoria da drenagem do talude e do acesso para manutenção					na

3 - Construções inertes

Estruturas convencionais com "bolsas" de vegetação	Muros de gravidade	Controle de movimentos de massa por planos de instabilidade profundos e sujeitos a tensões do maciço muito elevadas. Retenção de aterros tóxicos ou agressivos Barreiras contra desmoronamentos	
	Muros cantilever		
	Muros de terra armada		
	Muros pré-fabricados		
	Abordagem adequada		
	Abordagem adequada mas provavelmente demasiado conservativa ou custosa		
na	Não adequado		

(*) As consequências de uma ruptura dependem do risco de vida e de propriedade associados à integridade do talude

Particularmente problemáticos são os ambientes onde existem poucas ou nenhuma espécies capazes de preencher as exigências técnicas das intervenções projectadas (por exemplo capazes de produzir raízes adventícias ou com uma estratégia ecológica que permita uma rápida instalação e propicie um igualmente rápido desenvolvimento de um coberto denso e sustentável). Nestas circunstâncias deve-se procurar combinar técnicas de apoio ao estabelecimento da vegetação (como é o caso de regas ou de barreiras de amortecimento do vento) com a eventual utilização de espécies alóctones que propiciem condições favoráveis ao estabelecimento complementar das espécies autóctones que são o alvo da intervenção.

Estas tipologias de (re)construções de substratos vegetáveis, pela própria natureza de cada um dos novos espaços criados (como por exemplo ausência de matéria orgânica, défice em nutrientes (caso de muitos areiros), presença de substâncias fitotóxicas (caso de muitas explorações de substâncias metálicas e respectivas escombrelas), declive dos materiais, incapacidade de e enraizamento do substrato rochoso (tão frequente em pedreiras de rochas carbonatadas), insuficiente disponibilidade hídrica (xericidade do meio ou reduzida capacidade de retenção dos novos substratos), para citar apenas alguns dos mais frequentes), implicam a necessidade de recorrer a técnicas específicas de gestão das limitações do meio e de gestão dos processos de estabelecimento da vegetação que contribuam para o sucesso dos processos de recuperação desses espaços.

Justifica-se igualmente a realização de ensaios modelares, de modo a testar diferentes alternativas técnicas e garantir antecipadamente uma maior eficiência técnica e económica da intervenção global – note-se que este tipo de experiências é perfeitamente compatível com o horizonte temporal particularmente longo que as intervenções em espaços deste tipo exigem. Refira-se que estes ensaios se referem não só às formas de instalação da vegetação como a modelação do terreno, tipos de substrato e sua preparação, sistemas construtivos complementares, etc.

Todas as intervenções têm, obviamente de seguir as normas construtivas nacionais e internacionais em vigor e respeitar as exigências ecológicas associadas à salvaguarda da biodiversidade específica e genética local, controlando apertadamente o risco de disseminação descontrolada de espécies ou génotipos alóctones.

Tab. 12. Matrizes de decisão para intervenções em meios terrestres (adaptado de Hacker, 2009) (1 – mínimo a 3 – máximo)

			Função de protecção da superfície	Função de drenagem biológica	Função de drenagem técnica	Funções de armação < 0,2 m	Funções de armação < 2 m
Consolidação de encostas e taludes	Sementeiras e outros métodos de instalação da vegetação	Sementeira a lanço	3	3	1	2	
		Hidrosementeira	3	3	1	2	
		Sementeira com Mulch	3	3	1	2	
		Sementeira com mantas	3	3	1	2	
		Placas e rolos de relva	3	3	1	2	
		Aplicação de terra vegetal	3	3	1	2	
	Plantação de encostas e taludes	Plantação ao covacho	1	2	3	2	
		Plantação em esquadria	1	2	3	2	
		Plantação em valas ou terraços	1	2	3	2	
		Plantação em cordão	1	2	3	2	
		Plantação em linhas	1	2	3	2	
	Métodos de drenagem de encostas	Drenagem por ramos					3
		Fascinas de drenagem		2	2	2	3
		Valas de infiltração					3
		Canais de drenagem					3
	Consolidação da instabilidade até 0,2 m de profundidade	Fascinas	1	3	1	1	
		Barreiras de erosão vegetadas	1	3	1	1	
		Grades vivas	2	3	1	1	
	Consolidação da instabilidade até 2 m de profundidade	Muro tipo Cribwall em madeira plantado		1	3	1	
		Muro tipo Cribwall em betão plantado		1	3	1	
Muro de pedra seca plantado			1	3	1		
Gabiões plantados			1	3	1		
Terra armada			1	3	1		
Faixas de vegetação (ou de ramagens)			2	3	2		
Consolidação de ravinas e barrancos	Obras longitudinais	Árvores mortas de protecção					2
		Consolidação de ravinas com ramagem viva					2
		Canais enrocados vegetados		1	1	1	3
		Canaletas vegetados em pedra		1	1	1	3
		Canaletas vegetados em madeira		1	1	1	3
	Obras transversais	Paliçadas vivas		1	2	1	
		Degraus vivos		1	2	1	
		Açude de madeira plantado		1	2	1	
		Açude de pedra plantado		1	2	1	
		Açude de gabião plantado		1	2	1	

A generalização da investigação de base neste domínio técnico referida a estes espaços com problemáticas particulares tem, paralelamente de ser intensificada e generalizada, de modo a poder fundamentar mais consolidadamente as futuras intervenções. Neste quadro, qualquer intervenção deve ser acompanhada de um programa intensivo de monitorização,

não só para os fins internos de optimização das práticas construtivas e de manutenção como para a criação de um corpo doutrinal diversificado e consistente.

Importa igualmente desenvolver todo o domínio da produção vegetal de espécies autóctones com características biotécnicas, diversificando não só a oferta de espécies, como garantindo a sua proveniência genética e a sua adequação fenotípica aos objectivos das obras de Engenharia Natural.

ESPAÇOS FLORESTAIS

A floresta não pode continuar a ser vista apenas como produtora de bens, mais ou menos insuficientemente retribuídos. Os seus serviços têm urgentemente de passar a ser contabilizados e adequadamente retribuídos, afirmando definitivamente a multifuncionalidade desses espaços e os inúmeros potenciais que ainda estão por concretizar plenamente.

De que funcionalidades estamos a falar?

- De funções de regulação como:
 - Regulação do escoamento superficial
 - Regulação da infiltração e da recarga dos aquíferos
 - Regulação da erodibilidade e da erosividade
 - Regulação microclimática
- De funções metabólicas como:
 - Retenção de CO₂
 - Enriquecimento dos solos em Matéria Orgânica
 - Regularização química dos solos
- De funções de suporte como:
 - Estabilização de terrenos
 - Criação de habitats para a vida selvagem
 - Criação de espaços de recreio e lazer
 - Compartimentação e criação de espaços produtivos multifuncionais (por exemplo: apicultura, cogumelos, plantas aromáticas, silvo-pastorícia e criação extensiva de gado)

Este enunciado evidencia o conjunto de serviços e produtos associados às florestas que importa gerir e valorizar, garantindo, para tal a adequada remuneração não só de alguns produtos, mas essencialmente dos diferentes serviços.

De facto a gestão dos recursos hídricos, pelos problemas de escassez e de difícil garantia da qualidade exigem que, no futuro, todos os contributos para a sua regularização e salvaguarda da sua disponibilidade e qualidade sejam devidamente remunerados. As florestas de produção e protecção enquadrantes das bacias de captação terão neste domínio uma função predominante.

Da mesma forma, funções como a fixação de CO₂, regularização química, regulação microclimática, recreio e lazer são funções que terão de constituir fontes de rendimento para os proprietários florestais.

Só dessa forma poderá ser garantida a adequada condução das diferentes florestas e as necessárias funções de vigilância e prevenção de incêndios, assim como a aproximação dos cidadãos ao espaço florestal como o espaço multifuncional que ele realmente é.

Estes objectivos implicam novas formas de abordagem da gestão dos espaços florestais, salvaguardando aqueles que têm uma função essencialmente de produção dos que exercem funções predominantemente de protecção ou salvaguarda de recursos ou funções naturais. Todos têm de ser adequadamente geridos e as suas funções e produções remuneradas.

É esse desafio de uma abordagem integrada e cooperante à gestão florestal que importa encarar, como única via para a garantia da sustentabilidade de um sector que apesar do seu peso económico, apresenta um potencial de desenvolvimento muito maior, se os actuais erros de gestão forem corrigidos.

PREVENÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS

No domínio da prevenção de incêndios florestais há duas situações a considerar:

- Minimização dos impactes associados às faixas de gestão de combustíveis;
- Escolha de espécies de elevada resistência e resiliência ao fogo.

Um dos pontos fundamentais centra-se na necessidade de dotar os espaços florestais das características e infra-estruturas necessárias para a minimização da área ardida e consequentes danos ecológicos e patrimoniais. Nesta rede de defesa da floresta (Fig. 9), constituída por um conjunto de redes sectoriais, salientam-se as faixas e mosaicos de parcelas de gestão de combustível.

Por faixa de gestão de combustível entende-se, uma parcela de território onde se garante a remoção total ou parcial de biomassa florestal, através da afectação a usos não florestais e do recurso a determinadas actividades ou a técnicas silvícolas, com o objectivo principal de reduzir o perigo de incêndio.

A remoção total de vegetação pode potenciar a erosão do solo em determinados locais em que não seja possível promover a alteração de usos. Desta forma, esta situação só será minimizada através do recurso a barreiras físicas, ou em alternativa ao uso de vegetação que deverá ter as seguintes características:

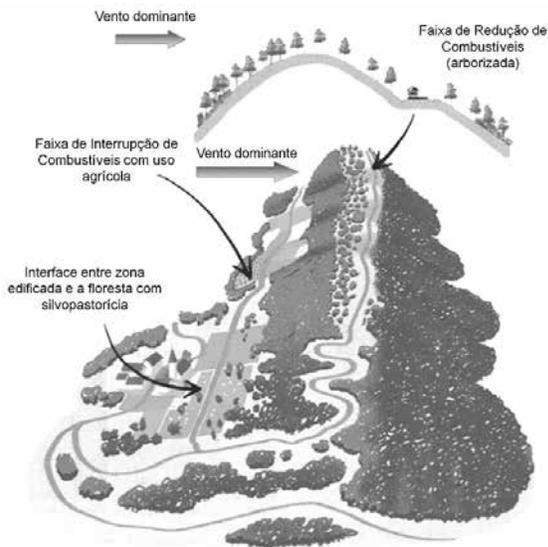


Fig. 9. Esquema geral da organização do território na óptica da prevenção contra incêndios florestais (Colin *et al.*, 2001)

- A. Utilização de espécies de regeneração vegetativa**, as espécies de regeneração por semente são acumuladoras de combustível, e as áreas por elas dominadas correm o risco de regredir face a incêndios recorrentes. As espécies de regeneração vegetativa são muito resilientes ao fogo.
- B. Espécies resistentes ao fogo**, a resistência ao fogo está relacionada com a inflamabilidade da espécie, que é determinada pela estrutura da planta, proporção de biomassa morta, teor de humidade e presença de substâncias voláteis. O *Rhamnus alaternus*, a *Pistacia lentiscus* e o *Asparagus aphyllus* são exemplos de espécies com baixa inflamabilidade.
- C. Instalação de povoamentos de folhosas caducifólias**, mistos e que conservem a humidade edáfica.

RECUPERAÇÃO DE ÁREAS ARDIDAS

As consequências mais evidentes que se podem observar depois de um incêndio florestal são os danos no coberto vegetal. Menos visíveis são os impactes dos incêndios florestais sobre as funções de protecção e regulação dos ecossistemas (Fig. 10).

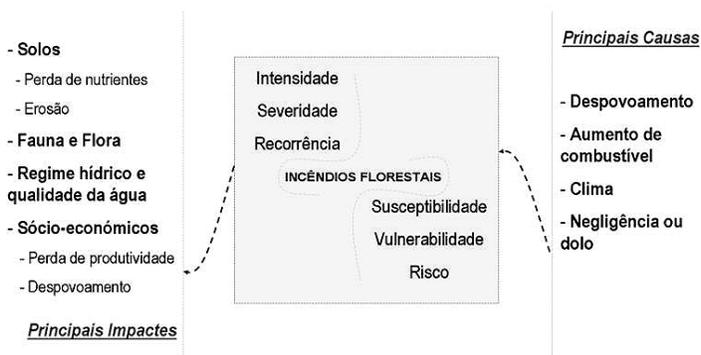


Fig. 10. Principais causas e impactes dos incêndios florestais

Os principais objectivos da recuperação de áreas ardidas no Mediterrâneo são:

1. Conservação do solo, como recurso primário que está sujeito a processos de degradação após o fogo, e a regulação do ciclo hidrológico;
2. Melhoria da resistência e da resiliência dos ecossistemas ao fogo, considerando que o fogo é uma constante ecológica, e que a probabilidade de novas ocorrências é muito elevada;
3. Promoção de florestas estáveis, em particular as florestas de folhosas, em acentuado declínio por diferentes factores.

A recuperação de áreas ardidas envolve, tradicionalmente e para os sistemas florestais de silvicultura não intensiva, três fases distintas:

1. A primeira, muitas vezes designada como de “intervenção” ou “estabilização de emergência”, decorre logo após (ou ainda mesmo durante) a fase de supressão do incêndio e visa não só o controlo da erosão e a protecção da rede hidrográfica, mas também a defesa das infra-estruturas e das estações, e habitats mais sensíveis;
2. Segue-se uma fase de “reabilitação”, nos dois anos seguintes, em que se procede, entre outras acções, à avaliação dos danos e da reacção dos ecossistemas, à recolha de salvados e, eventualmente, ao controlo fitossanitário, a acções de recuperação biofísica e mesmo já à reflorestação de zonas mais sensíveis;
3. Na terceira fase são planeados e implementados os projectos definitivos de recuperação/reflorestação, normalmente a partir dos três anos após a passagem do fogo.

A integração de Técnicas de Engenharia Natural nas intervenções de curto prazo têm como objectivo permitir o sucesso de outras intervenções de médio e longo prazo na recuperação de áreas ardidas.

No processo de análise e decisão, deve ser integrada informação sobre a capacidade regenerativa do local, o risco de degradação potencial do solo e da qualidade da água, a conservação de espécies e habitats, e a protecção fitossanitária dos povoamentos florestais e controlo das espécies invasoras.

A importância e a urgência da intervenção na recuperação das áreas ardidas têm sido reconhecidas, especialmente devido aos novos padrões de ocorrência dos incêndios florestais, em maior extensão, intensidade e severidade. A legislação específica também inclui como objectivos operacionais a avaliação e mitigação dos impactes causados pelos incêndios e a implementação de estratégias de reabilitação dos ecossistemas a curto, médio e longo prazo.

INTERVENÇÕES DE CURTO PRAZO EM ÁREAS ARDIDAS: CONTROLO DA EROÇÃO E REGULAÇÃO HIDROLÓGICA

Os impactes potenciais de curto prazo originados pela passagem de um incêndio florestal são a erosão, a alteração física e química dos solos, a diminuição da capacidade de infiltração da água, bem como a redução do tempo de concentração, e o consequente aumento do risco de desabamento ou deslizamentos de terra.

Os objectivos das intervenções de curto prazo em áreas ardidas devem centrar-se na minimização dos riscos associados à perda de solo e do potencial produtivo local, diminuição do escoamento superficial e redução da deterioração da qualidade da água.

As primeiras intervenções devem ser feitas imediatamente após o incêndio e incluem:

- a) Utilização de madeira queimada, de árvores ardidas, para construir barreiras que retardem o escoamento (log-dams) nas linhas de drenagem naturais ou ravinas para aumentar a rugosidade e a redução da energia do escoamento e retenção do solo;
- b) Abertura de valas de drenagem;
- c) Aplicação de uma cobertura com resíduos orgânicos (mulching);
- d) Sementeiras de emergência;
- e) Sementeira + Mulching – reduz a escorrência superficial e as taxas de erosão durante os primeiros dois anos após o incêndio.

As primeiras intervenções devem ser feitas imediatamente após o incêndio, recorrendo a materiais ardidos de maior calibre, como por exemplo a colocação de ramos queimados perpendicularmente ao máximo declive, apoiados por cepos das árvores abatidas, de forma a contrariar a erosão do solo (Fig. 11). Outra abordagem é a colocação das árvores ardidas nas linhas de drenagem e possíveis ravinas, gerando uma rugosidade que permite a redução da energia do escoamento e a retenção de solo (Florineth, com. pessoal, 2009).

No entanto, outras técnicas podem ser consideradas, dependendo da avaliação dos riscos associados, como a abertura de valas no sentido das curvas de nível e sua associação a sistemas de drenagem com material orgânico (fascinas).



Fig. 11. Pormenor de barreiras contra a erosão utilizando madeira queimada (Gross *et al.*, 1989) e do uso de árvores queimadas para prevenir erosão ravinar (Florineth, 2004)

A construção de pequenas represas que permitam a infiltração da água no local e retenção de minerais, a utilização de sementeira aérea ou terrestre para permitir uma mais rápida cobertura do solo com material vegetal e assim diminuir a perda de solo, até estruturas de suporte e estabilização de taludes como os muros de vegetação, são ainda técnicas a ter em consideração nas intervenções de curto prazo.

Quando se opte pela sementeira de emergência, seja a lança, aérea ou hidrossementeira, a selecção de espécies revela-se um factor de extrema importância. Esta selecção deve ser feita de acordo com as limitações ecológicas do local, a vegetação potencial natural, a capacidade das espécies para uma rápida colonização, a estrutura radicular, entre outros factores. O recurso à sementeira pós-fogo também se pode justificar para a prevenção da colonização de plantas exóticas, todavia o recurso a esta técnica apenas parece ser viável para plantas anuais.

O *mulching* permite a rápida cobertura do solo durante o primeiro ano após o fogo onde os fenómenos de erosão tendem a ser maiores, e o aumento da retenção de humidade no solo. Pode ainda recorrer-se a novas técnicas no controlo da erosão, entre as quais o uso da poliacrilamida, que é um polímero orgânico, mas que se revela muito dispendioso em termos económicos.

Embora a eficácia das técnicas de curto prazo de minimização dos impactes pós-fogo ainda não tenham sido amplamente estudadas a médio e longo prazo, parece ser evidente que as consequências de longo prazo resultantes da inexistência de uma cultura de intervenção nas áreas ardidadas serão sempre de difícil resolução. Justifica-se assim a

análise e discussão no sentido de avaliar as técnicas mais adequadas para a minimização de impactes decorrentes dos incêndios florestais, que permitam a criação de condições para a recuperação dos sistemas biofísicos afectados, e evitem a perda do potencial produtivo dos locais, a diminuição do seu valor ecológico, e o conseqüente abandono.

CONSERVAÇÃO DA NATUREZA

Numa paisagem natural, todos os biótopos terrestres e aquáticos encontram-se associados segundo transições suaves (ecotones). Tais transições são constituídas por estruturas ecológicas semelhantes, devidamente escalonadas, por exemplo em termos de características pedológicas ou ecoclimáticas, ou em termos de comunidades bióticas (sucessão).

Tais transições definem-se não só em termos perpendiculares (por exemplo hidrosérie: linha de água, margem, várzea, encosta), como também longitudinais (ribeiro, rio, estuário, mar) e apresentam sempre um equilíbrio e uma auto-sustentção que asseguram a perenidade da sua existência.

O sistema de ligação ecológica processa-se entre biótopos iguais ou semelhantes, gerando um inter-relacionamento ecológico intenso, protagonizado por trocas de animais ou de plantas ou por contactos directos entre habitats.

Outra forma de ligação são as próprias teias alimentares e funcionais entre os diversos indivíduos animais ou vegetais.

A humanização da paisagem ocasionou alterações mais ou menos radicais desta estrutura, quebrando muitos dos elos destas redes, colocando pois em causa a viabilidade dos biótopos isolados e do sistema por eles formado. A reconstrução duma tal rede é pois a tarefa mais premente de uma política de Conservação da Natureza.

Em todos os trabalhos de planeamento e intervenção no espaço é essencial a realização de estudos e levantamentos ecológicos pormenorizados, de modo a caracterizar cada tipo de biótopo existente ou potencial especialmente segundo estes pontos de vista:

1. Qualidade crítica do biótopo, ou seja, os níveis mínimos de cada factor necessários à sobrevivência de espécies ou grupos de espécies.
2. O espaço/superfície críticos, ou seja, a área mínima necessária à subsistência estável de uma população, definido nomeadamente em termos das espécies específicas dos biótopos em causa.
3. A necessária malha espacial de habitats parciais de espécies com diferentes exigências relativamente aos biótopos, nomeadamente refúgio, alimento, reprodução, abrigo etc.
4. A separação máxima viável entre biótopos semelhantes.
5. Os usos e acções correspondentes e contraditórios à sobrevivência do biótopo.

6. A reacção das biocenoses às medidas de protecção e cuidado.

Não é suficiente, na classificação do valor de um biótopo, avaliar unicamente a sua diversidade específica ou de comunidades. Tem-se igualmente de dar a maior importância ao conhecimento e avaliação de:

- Quais são os biótopos que têm um carácter mais ou menos fundamental no preenchimento dos objectivos de protecção e quais os biótopos ou partes de biótopos que, em conexão com a evolução antropogénica da paisagem melhor asseguram as condições mínimas de sobrevivência de espécies e comunidades.
- Qual das diferentes formas dum tipo de biótopo é mais digna de protecção.
- Quais são as contribuições de cada factor e característica para o preenchimento dos objectivos de protecção e quais são as suas determinantes e ligações sistémicas.
- Quais são as medidas ou omissões e com que intensidade são essenciais ou desnecessárias para os objectivos de protecção.

No planeamento de acções sobre o espaço segundo uma perspectiva de gestão dos objectivos de conservação com vista à maximização do valor ecológico de cada lugar há que observar as seguintes regras básicas:

1. Os biótopos devem ser conservados/planeados numa/com uma dimensão tal, que a taxa de natalidade específica tenda para zero.
2. Os biótopos devem estar em ligação entre si de um modo de tal modo estreito, que uma troca equilibrada de indivíduos seja permanentemente possível e não problemática (uma tal exigência é de particular importância para espécies de estratégia k e menos importante para as de estratégia r).
3. Onde não seja mais possível a preservação ou promoção de redes de biótopos, deve-se procurar promover estruturas lineares ou pontuais de ligação.
4. As influências negativas do exterior devem ser minimizadas, nomeadamente pela edificação de zonas tampão ou de amortecimento.
5. A forma dos biótopos deve ser próxima do circular de modo a promover a melhor relação possível entre a zona central e as zonas marginais (excepções são obviamente as linhas de água, sebes, falésias, etc.).
6. Para espécies com diferentes exigências em tipos de biótopos deve a rede local ser diferenciada e diversificada.
7. Finalmente e de particular importância são os uso e o carácter global do espaço envolvente, não só em termos da sua agressividade ou inospitalidade, mas essencialmente em termos da determinação de variações microclimáticas, pedológicas, de regime hídrico etc. (por exemplo a proximidade de uma mata gera

situações de sombreamento e de produção de ar rio completamente distintas do que ocorre com um prado ou um terreno agrícola).

8. Em suma, a intervenção com vista à promoção dos objectivos da conservação da Natureza tem de considerar simultaneamente os elementos de per si e de os integrar numa lógica bem mais ampla de funcionalidade do espaço global.

A edificação de biótopos substitutos como medida de compensação ecológica ou para preencher as exigências de uma correcta estruturação e reactivação ecológica do espaço apresenta a dificuldade da sua lenta funcionalização.

Simultaneamente verifica-se o interesse de promover, mesmo nas superfícies actualmente mais transformadas espaços de sucessão que possam funcionar como locais pioneiros (por ex. em matas de exploração deixando manchas específicas sem intervenção).

Por outro lado há que distinguir entre a construção de biótopos específicos para espécies concretas particularmente ameaçadas e a promoção de espaços biologicamente activos e precursores de estruturas espaciais globais, isto equilibrado e articulado com a conservação e promoção de espaços e biótopos estabilizados e de comprovado valor.

De fundamental importância é que os novos biótopos a instalar correspondam às características regionais e locais e nunca expressem apenas o desejo desinserido de instalar uma qualquer estrutura que sendo valiosa, não tem razão nem pode existir naquele local.

É igualmente necessário prevenir que uma tal actividade "construtiva" não constitua um factor de perturbação e mesmo de destruição do espaço em causa. É necessário ter sempre em atenção que tem de se considerar sempre que uma intervenção é sempre uma perturbação e que esta pode ser mais negativa do que os benefícios eventualmente obteneis.

A viabilidade de certos biótopos ou de certas componentes é igualmente função da existência, não só de condições de instalação das espécies colonizadoras, mas essencialmente da existência de locais de origem dessas espécies a distancias viáveis, de vectores de transporte e de factores propiciadores da sua instalação (isto é particularmente válido no caso de espécies vegetais zoocóricas, as quais só se instalarão caso os animais que as transportam tenham condições de estacionamento no local a colonizar).

Outra regra de particular importância é a de que um biótopo não deve ser planeado para uma espécie ou para um número restrito de espécies (por ex. apenas aves) mas tem de se pensar em termos de população global, sob pena de não existirem condições de viabilização da espécie ou grupo de espécies em causa por falta de elementos da cadeia de que ela depende.

MANUTENÇÃO E ACOMPANHAMENTO

A manutenção constitui indubitavelmente uma das exigências mais importantes das intervenções de Engenharia Natural. Com efeito, apesar de poder ser menos custosa e exigir prazos de realização com espaçamentos bastante diferentes (Fig. 12), as obras de Engenharia Natural, por constituírem obras de enquadramento dos processos e sistemas naturais em contextos estritos de uso e de risco, implicam uma cuidada manutenção, quer para garantir a plena instalação da vegetação projectada, como para garantir a prazo a sua eficácia técnica dentro dos referidos objectivos.

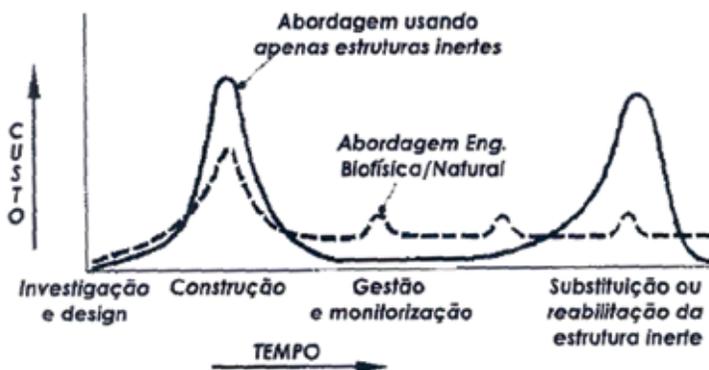


Fig. 12. Custos comparativos médios de construção e manutenção de obras vivas de Engenharia Natural e construções inertes (pode acontecer, em situações particulares, que os custos de construção das obras de EN sejam superiores às soluções só com materiais inertes)

Ao nível da manutenção podemos distinguir diferentes tipos e objectos:

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

A manutenção é sempre orientada de acordo com o objectivo construtivo e condicionada pelo preenchimento das funções definidas (geotécnicas, hidráulicas, ecológicas, etc.)

sendo que estas se sobrepõem para cada intervenção e processo de manutenção a todas as outras, sob pena de comprometer a eficácia da obra. A tab. 13 procura ilustrar as principais actividades de manutenção da vegetação susceptíveis de serem realizadas. Outra questão que importa acentuar no que se refere à manutenção é a de que, devem-se sempre evitar intervenções generalizadas e concentradas (por exemplo desbastes) que, se realizadas dessa forma, implicarão impactes muito violentes nos habitats faunísticos com consequências negativas para a funcionalidade ecológica local.

O seguimento das intervenções de Engenharia Natural prende-se principalmente com a avaliação do preenchimento dos objectivos, do modo de desenvolvimento e da duração da plena instalação e funcionalidade, da avaliação da eficácia e durabilidade. Pretendo não só constituir um processo de auditoria à obra como de acompanhamento técnico da mesma de modo a coligir conhecimentos sobre factores de sucesso e insucesso e modos de correcção ou prevenção.

Tab. 13. Intervenções de manutenção necessárias numa formação vegetal com funções de protecção e consolidação (EFIB, 2008)

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-----

BIBLIOGRAFIA

- Andres, P., V. Zapater, y M. Pamplona. 1996. Stabilization of motorway slopes with herbaceous cover, Catalonia, Spain. *Restoration Ecology* 4: 51–60.
- Averett, J.M., R.A. Klips, L.E. Nave, S.D. Frey, y P.S. Curtis. 2004. Effects of Soil Carbon Amendment on Nitrogen Availability and Plant Growth in an experimental tallgrass prairie restoration. *Restoration Ecology* 12: 568-574.
- Blumenthal, D.M, N.R. Jordan, y M.P. Russelle. 2003. Soil carbon addition controls weeds and facilitates prairie restoration. *Ecological Applications* 13: 605-615.
- Bochet, E., y P. García-Fayos. 2004. Factors controlling vegetation establishment and water erosion on motorway slopes in Valencia, Spain. *Restoration Ecology* 12:166-174
- Boon, P. J., Callow, P., & Petts, G. E. (1992). *River Conservation and Management*. Londres, Reino Unido: John Wiley & Sons.
- Booth, D.T, J.K. Gores, G. E. Schuman, y R.A. Olson. 1999. Shrub Densities on Pre-1985 Reclaimed Mine Lands in Wyoming. *Restoration Ecology* 7:24-32.
- Cardoso, J. V. (1965). Os solos de Portugal : sua classificação, caracterização e génese : a sul do Rio Tejo. Lisboa: Direcção Geral dos Serviços Agrícolas.
- Clewell, A., J. Rieger, and J. Munro (Society for Ecological Restoration International), 2005 - Guidelines for Developing and Managing Ecological Restoration Projects, 2nd Edition . December 2005.
- Constán-Nava, S., A. Bonet, B. Terrones, y J.L. Albers. 2007. Plan de actuación para el control de la especie *Ailanthus altissima* en el Parque Natural del Carrascal de la Font Roja. Alicante. *Bol. Europarc* 24,34–38.
- Contreras V. y A. Navarro-Quercop. 1996. Recuperación de la productividad de 10.000 Has. de espartizal en el sureste español a través de la inversión en sistemas de protección vegetal contra la desertización. III Congreso Nacional de Medioambiente. Tomo 2. 787-793 pp. Madrid, España.
- Coppin, N.J. y I.G. Richards (Eds.) 1990. *Use of Vegetation in Civil Engineering*. Construction Industry Research and Information Association (CIRIA). Butterworths, London
- Cornelini, P., y G. Sauli. 2005. *Manuale di Indirizzo delle scelte progettuali per interventi di Ingegneria Naturalistica*. Ministero dell'Ambiente y della Tutela del Territorio, Roma
- Cortina, J., y R.M. Vallejo. 2004. *Restoration Ecology*. Encyclopedia of Life Support Systems. UNESCO-EOLSS Publishers Co. (formato digital).
- EFIB (Europäische Föderation für Ingenieurbiologie) (2008). *Vorschlag für EFIB Richtlinie Ingenieurbiologie - EFIB RI Teil 1*, Documento interno de trabalho

Elorza, M., E.D. Dana, y E. Sobrino. 2004. Atlas de las plantas alóctonas invasoras en España. Dirección General para la Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. 384 pp.

Fernandes, J.P.y C.S. Cruz. 2009. Portugal: dia Herausforderungen na die Ingenieurbiologie, Verein für Ingenieurbiologie, Mitteilungsblatt Nr. 4, pp 40-47

Florineth, F. 2004. Pflanzen statt Beton. Patzer Verlag, Berlin. 272 pp.

Fuentes, D., J. Cortina, A. Valdecantos, G. Casanova, y V.R. Vallejo. 2002 Seedling performance in biosolid-amended degraded Mediterranean ecosystems. Pp. 149-150. In 'Sustainable Use and Management of Soils in Arid and Semiarid Regions'. A. Faz, R. Ortiz y A.R. Mermut (Eds.). Quaderna Ed. Cartagena. ISBN: 84-95383-23-3.

Fuentes, D., K. B. Disante, A. Valdecantos, J. Cortina, y R. Vallejo. 2007. Response of *Pinus halepensis* Mill. seedlings to biosolids enriched with Cu, Ni and Zn in three Mediterranean forest soils. *Environmental Pollution*. 145: 316-323.

Fuentes, D., A. Valdecantos, J. Llovet, J. Cortina, y V.R. Vallejo (en prensa). Fine-tuning sewage sludge application to promote the establishment of *Pinus halepensis* seedlings. *Ecol. Engineering*.

García-Palacios, P., S. Soliveres, F.T. Maestre, A. Escudero, F. Valladares, y A.P. Castillo. 2010. Dominant plant species modulates responses to hydroseeding, irrigation and fertilization during the restoration of semiarid motorway slopes. *Ecological Engineering* 36: 1290-1298.

Gillespie, I.G. y E.B. Allen. 2008. Restoring the rare forb *Erodium macrophyllum* to exotic grassland in southern California. *Endangered Species Research* 5: 65-72.

Gray, D.H., y R.B. Sitor. 1996. Biotechnical and Soil Bioengineering slope stabilization. la practical guide for erosion control – J.Wiley and Sons, New York

Hacker, E. 2009. Las directrices europeas de Ingeniería del paisaje. Comunicación oral, Girona, AEIP

Hobbs, R.J., y K.N. Suding (eds.) 2009. New models for ecosystem dynamics and restoration, Society for ecological restoration, Island Press, Washington, DC

Jorba M., y R.M. Vallejo (eds.) 2008. Manual para la restauración de canteras de roca calcárea en clima Mediterráneo, Generalitat de Cataluña.

Kangas, P.C. 2004. *Ecological Engineering: Principles and Practice*. Lewis Publishers, CRC Press, Boca Raton, Florida.

Lewis, E.A. 1999. *Soil Bioengineering: An alternative for Roadside Management: A Practical Guide*. United States Forest Service. San Dimas Technology and Development Center. San Dimas, California.

- Ludwig, J.A., y D.J. Tongway. 1996. Rehabilitation of semi-arid landscapes in Australia II: restoring productive soil patches. *Restoration Ecology* 4: 398-406.
- Martinez, A., y V. Contreras. 2005. Modelo de restauración hidrológico forestal de cárcavas y barranqueras. IV Congreso Nacional de la Asociación Española de Ingeniería del Paisaje. Pamplona, España.
- Martinho, P. 2005. Contribuição para o estudo de técnicas de engenharia biofísica: Grade de Vegetação e Grade de Vegetação Vesúvio. Tesis de graduación en Ingeniería Biofísica, Universidad de Évora, 98 pp.
- Mataix, C. 2003. Técnicas de revegetación de taludes. En: Restauración de ecosistemas mediterráneos, pag 189-214. Colección Aula Abierta nº 20. Universidad de Alcalá.
- Matesanz, S., A. Escudero, y F. Valladares. 2008. Additive effects of a potentially invasive grass and water stress on the performance of seedlings of gypsum specialists. *Applied Vegetation Science* 11:287-296.
- McDonnell, M.J., y S.T.A. Pickett (eds.). 1997. Human as components of ecosystems - the subtle human effects and populated areas, Springer, New York
- 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
- Mitsch, W.J., y S.E. Jørgensen. 2004. *Ecological Engineering and Ecosystem Restoration*" John Wiley and Sons, Inc., New York.
- MRICE - Ministère du Redéploiement et du Commerce Extérieur, 1985 - Potentialités Ecologiques des Carrières - Ministère du Redéploiement et du Commerce Extérieur, Ministère de l'Environnement, Paris
- Navarro, A., E. Correal, y A. Robledo. 1996. La fibra de esparto en la fabricación de tejidos orgánicos para favorecer el establecimiento de la cubierta vegetal. First European Conference & Trade Exposition on Erosion Control. IECA. Ed. Colegi Oficial d'Engenyers de Camins, Canals i Ports. Catalunya. 21-27 pp. España.
- Navarro-Hevia, J. 2002. Control de la erosión en desmontes originados por obras de infraestructura viaria: aplicación al entorno de Palencia. E.T.S.I.M. Palencia, España.
- Oliveira, G. 2008. Plantaciones, Curso Técnico de Restauración Ecológica de Canteras, Outão (Setúbal), Portugal, 24 - 27 / 09 / 2008
- Pickett, S.A.; R.S. Ostefeld; M. Shachak; G.E. Likens (eds.), 1997 - The ecological basis of conservation, Heterogeneity, Ecosystems and Biodiversity - Chapman and Hall, New York
- Ramos-Otero del Peral, L. 1997. Técnicas de revegetación. El capítulo de las plantaciones en la Contratación de las Infraestructuras Viarias. Ministerio de Fomento.

Rauch, H.P. 2008. Application of soil bioengineering techniques for river engineering projects with special focus on hydraulical and morphological issues. Documento no publicado de apoyo la aulas, Universidade de Évora

Regione Lazio, Assessorato per l'Ambiente. 2001. Manuale die Ingegneria naturalistica, Naturstudio Trieste, Universita della Tuscia, Viterbo

Schiechtl, H.M. 1980. Bioengineering for land reclamation and conservation. Univ. of Alberta Press. Edmonton/Alberta

Schlüter, U. 1986. Pflanze als Baustoff, Ingenieurbiologie in Praxis und Umwelt. Patzer Verlag, Berlin. 328 pp.

Society for Ecological Restoration International. 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group (Version 2, October, 2004)

Soliveres-Codina, S., J. Monerris, y J. Cortina. 2008. El uso de parches artificiales mejora el rendimiento de una repoblación de *Rhamnus lycioides* en medio semiárido. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales 28: 125-130.

Soliveres, S., J. Monerris, y J. Cortina (en revisión). Species-specific response to soil resource availability modulates the interaction between grasses and woody seedlings in quarry restoration

Tongway, D.J., y J.A. Ludwig. 1996. Rehabilitation of semi-arid landscapes in Australia II: restoring productive soil patches. *Restoration Ecology*. 4: 388-397.

Tremoceiro, J. 1999. Textos de apoyo a la disciplina de "Project6os de Ingeniaria Biofísica", no publicado, Universidade de Évora

Valdecantos, A., D. Fuentes, y J. Cortina. 2004. Utilización de biosólidos para la restauración de ecosistemas mediterráneos. In *Avances en el Estudio de la Gestión del Monte Mediterráneo*. (V.R. Vallejo y J.A. Alloza, Eds.). Pp. 313-344. Fundación CEAM, Valencia.

Zeh, H. (ed.). 2007. *Ingenieurbiologie Handbuch Bautypen* – vdf Hochschulverlag an der ETH, Zurich

ANEXO I

Descrição das tipologias de intervenções
de Engenharia Natural de utilização mais frequente

As técnicas a seguir descritas adequam-se a diferentes tipologias de uso e domínios de intervenção. Isso não impede que, em cada situação, se opte por executar uma combinação de técnicas no sentido da maximização dos objectivos e da eficácia da obra.

1. SEMENTEIRA

Descrição

Consiste no espalho a lanço, ou com maquinaria própria, de uma mistura de sementes de espécies herbáceas adequada ao local e à finalidade da intervenção. Este tipo de sementeira pode ser executado quer em superfícies planas (sementeira standard), quer em covachos ou sulcos. A sementeira de gramíneas deve incluir unicamente espécies anuais e de crescimento rápido, funcionando como cobertura orgânica do terreno. É aplicável em terrenos naturais estáveis e com alguma rugosidade.

Campo de Aplicação

Em áreas onde é necessária uma rápida protecção do terreno contra os fenómenos erosivos. A presença de uma cobertura herbácea contínua sobre taludes em perigo de deslizamento, pode contribuir para limitar a infiltração da água no solo, e assim reduzir um possível aumento das pressões neutras.

Materiais

Sementes herbáceas, arbustivas ou arbóreas de espécies autóctones, em quantidades variáveis, consoante as espécies a semear.

Vantagens

Execução simples

Rápido revestimento

Desvantagens

Se apenas forem utilizadas espécies herbáceas, a função de protecção ao solo será apenas superficial. Assim, deverá ser feita uma combinação entre sementes herbáceas, arbustivas e arbóreas, para que a estabilização do solo se dê em profundidade.

Período de Execução

Início e durante a época vegetativa.

Manutenção

Regas, podas e cortes, quando necessários.



2 HIDROSSEMENTEIRA

Descrição

Consiste na projecção de uma mistura de água com mulch (fibras de madeira), sementes, fertilizantes, correctivos/aditivos biológicos do solo. É aplicada hidraulicamente sob a superfície do terreno através de um equipamento mecânico (hidrossemeador).

Campo de Aplicação

Taludes e margens fluviais, onde seja necessária uma rápida protecção ao solo contra a erosão.

Materiais

Água

Sementes de espécies herbáceas, arbustivas ou arbóreas, em quantidade variável

Fertilizantes

Bioestimulantes

Fixadores

Correctivos/Aditivos biológicos do solo

Vantagens

Elevada taxa de germinação e cobertura homogénea

Elevada força de tensão; absorvem mais a energia dos impactos

Processo rápido e eficaz que diminui a mão-de-obra

Maior poder de absorção de água

Permite a execução de sementeiras em zonas de difícil acesso

Desvantagens

Resultados pouco eficazes em zonas áridas e períodos secos.

Período de Execução

Durante o início do período vegetativo.

Manutenção

Regas, podas e cortes, quando necessários.



3. ESTACARIA VIVA

Descrição

Esta técnica corresponde à utilização de utilização de troços de troncos ou ramos com mais de 3 anos, com casca fina, sem ramagem lateral e sem estrias, com comprimentos entre 40 e 100 cm e um diâmetro entre 2 e 8 cm afiadas na parte inferior e cravadas no solo até que apenas cerca de 5 cm fiquem de fora (Fig. *3) de modo a reduzir os riscos de exsicação. O efeito estabilizante desta técnica em profundidade aumenta consoante o comprimento da estaca colocada. Quanto maior a estaca, maior a profundidade a que se irão desenvolver as raízes e portanto maior estabilidade em profundidade. As estacas adaptam-se muito bem à instalação de vegetação em enrocamentos ao permitirem uma instalação posterior à construção da mesma, assegurando desta forma a sua revegetação sem necessidade de intervenções custosas. Torna-se apenas necessário abrir buracos entre as rochas com uma estaca metálica, preenchê-los com solo e cravar a estaca garantindo que o seu comprimento lhe permitir penetrar até ao solo subjacente ao enrocamento.

Materiais

Estacas vivas de salgueiro (*Salix* spp.), tamarqueira (*Tamarix africana*), loendro (*Nerium oleander*), choupo (*Populus* spp.), freixo (*Fraxinus angustifolia*), entre outras.

Campo de Aplicação

Em taludes e margens fluviais de baixo declive; podem também ser usadas como elemento fixador na instalação de mantas orgânicas, fascinas, entrançados vivos, etc. Esta técnica está especialmente recomendada para reparar pequenos deslizamentos e assentamentos de terra devidos ao excesso de humidade do solo em locais sem problemas graves de estabilidade. Também se emprega como fixação de outros elementos de controle da erosão como as mantas orgânicas. Também ajuda no controle da erosão fluvial, permitindo a recuperação e a estabilização de taludes de margens de rios, já que quando as estacas se tiverem estabelecido e as plantas desenvolvido, se consegue estabelecer com facilidade um coberto vegetal capaz de estabilizar o talude de margem e proteger a mesma contra os caudais de cheia. Para as estacas utilizam-se materiais são, obtidos a partir de exemplares com mais de 2 anos, com casca fina, sem ramos laterais e sem estrias. O seu diâmetro oscila normalmente entre 2 e 8 cm, com um comprimento de 50-100 cm. É muito importante que o comprimento garanta que o nível freático (ou de humidade permanente) seja atingido durante o verão. Esta técnica é particularmente eficiente em margens fluviais ou zonas com humidade permanente

Vantagens

Baixo custo

Facilidade de recolha de material, desde que disponível na vizinhança

Execução simples

Ação muito eficaz após o desenvolvimento das estacas vivas (6 meses – 2 anos)

Favorece a evolução dos ecossistemas

O efeito estabilizante desta técnica em profundidade, aumenta consoante o comprimento da estaca.

Desvantagens

A estabilidade dos taludes e a consolidação superficial estão limitadas até ao desenvolvimento de um adequado sistema radicular.

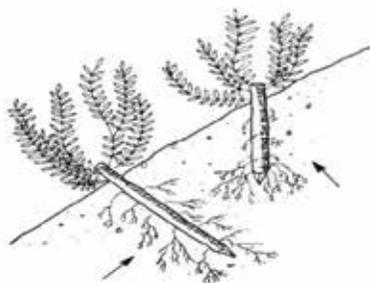
O enraizamento das estacas nem sempre é assegurado.

Período de Execução

Durante o repouso vegetativo.

Manutenção

Podas nos primeiros tempos para favorecer o desenvolvimento radicular das estacas. Desbastes, caso seja necessário garantir a elasticidade das plantas e controlar o seu desenvolvimento excessivo



Devido a uma melhor distribuição das substâncias que permitem o crescimento das plantas, as estacas plantadas obliquamente desenvolvem o seu sistema e, toda a superfície

Estacas plantadas verticalmente desenvolvem o sistema radicular sobretudo na parte terminal



4. FASCINA VIVA

Descrição

As fascinas são, em conjunto com os entrançados, um dos métodos de construção com vegetação mais antigos (existem registos de uma utilização generalizada na China e no Peru há mais de mil anos). As fascinas são feixes de ramos vivos e mortos com um diâmetro de entre 15 e 20 cm e um comprimento adaptado à aplicação projectada, mas que varia normalmente entre 2 e 4 metros. A sua aplicação no terreno tem de garantir o máximo de contacto com o solo húmido de forma a garantir o desenvolvimento vegetativo da vegetação utilizada. Em taludes, é também importante cobrir a fascina com solo de modo a evitar as perdas de água por evaporação e a consequente morte por exsiccção. Utilizam-se ramos lenhosos (diâmetros entre 0.5 e 2 cm) de espécies com grande capacidade de enraizamento vegetativo, que devem ser flexíveis, compridas, direitas e com gemas de crescimento activas. O uso destas fascinas vivas só tem sentido em lugares onde a climatologia ou a disponibilidade hídrica permitem o estabelecimento das novas raízes e ramos.

Consiste na elaboração de feixes de estacas vivas de espécies com capacidade de propagação vegetativa, ligados por corda de sisal ou arame, e que se são fixadas ao terreno através de troncos de madeira vivos ou mortos.

Materiais

Estacas vivas de espécies lenhosas com capacidade de propagação vegetativa (salgueiros, tamarqueiras, etc.)

Troncos de madeira vivos/mortos, ou varão roscado, para grampeamento ao solo

Arame ou corda de sisal

Campo de Aplicação

As fascinas têm uma utilização muito diversificada desde as estruturas de drenagem e segmentação de taludes até uma grande variedade de estruturas de protecção de margens de linhas de água.

Nas margens de linhas de água esta técnica é recomendada para a criação de faixas de vegetação nas margens dos rios. A sua colocação ao longo da margem é rápida e simples, bastando a sua fixação com estacas de madeira. Em situações de margens mais declivosas pode recorrer-se a muros de fascinas empilhado e suportados por estacas fortemente enterradas do lado da corrente em complemento das estacas de fixação de cada fascina individual. A sua utilização na protecção e consolidação de margens de linhas de água tem que ter em consideração que estas técnicas têm uma resistência limitada à velocidade da água variando entre um mínimo de 2 m/s em fascinas sobre esteiras de ramos a 4 m/s em paredes de fascinas.

As fascinas contribuem igualmente para o aumento dos factores de êxito das plantações de lenhosas taludes e encostas com declives inferiores a 35°. Ao colocar fascinas horizontalmente em valas escavadas no talude distanciadas entre si de cerca de 1m a 1,5m consegue-se um eficiente sistema de prevenção da erosão e do risco de ravinamento. Este efeito decorre da interrupção das linhas de escoamento, reduzindo a energia do mesmo (e logo a sua capacidade erosiva) ao mesmo tempo que asseguram algum desvio lateral desse escorregamento quando essas valas apresentem um ligeiro declive (2 - 3% conduzindo a um dreno longitudinal. Este e outros sistemas de drenagem e segmentação de taludes são de particular importância já que garantem o desvio do escoamento superficial e, com o desenvolvimento da vegetação, o amortecimento da energia de erosão desse mesmo escoamento. Em situações onde não existam condições de desenvolvimento vegetativo da vegetação pode continuar-se a utilizar drenos de fascinas mortas para este fim, desde que elas sejam complementadas com a plantação e a sementeira de espécies lenhosas. Estas intervenções são sempre da maior importância para evitar a formação de ravinas nos taludes e encostas.

Vantagens

Realização simples

Baixo custo

Notável eficácia estabilizante

Facilidade de recolha de material

Melhoramento imediato da acção drenante, devido ao efeito evapotranspirante das plantas

Permitem redireccionar o sentido natural do escoamento, afastando as águas das áreas instáveis

Fornecedor de material vivo

Desvantagens

Podas regulares

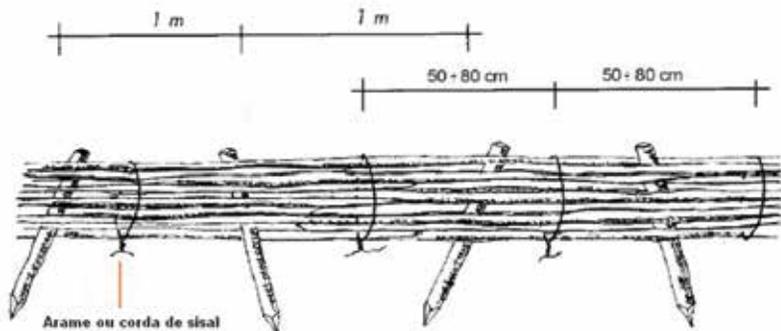
Elevada quantidade de material vivo e mão-de-obra

Período de Execução

Durante o repouso vegetativo.

Manutenção

Podas periódicas.



5. ENTRANÇADOS VIVOS

Descrição

Constituem em conjunto com as fascinas, a técnica de utilização mais generalizada e diversificada desde a antiguidade. Podem ser utilizados na protecção de margens fluviais e na estruturação e consolidação de taludes e encostas. Também é uma técnica de utilização simples, consistindo na execução de um entrançado de ramos vivos de salgueiro (ou outras espécies lenhosas com características ecológicas semelhantes e adequadas às características do local de intervenção) em torno de estacas (que podem também ser vivas) cravadas no solo. Adaptam-se muito bem à protecção de margens de linhas de água onde a velocidade máxima da água seja inferior a 3.5 m/s (há autores que indicam um limite muito mais baixo da ordem de 1.5 m/s).

Em taludes e encostas costumam utilizar-se na consolidação e estruturação da camada superior do solo (até 20 cm). Esta utilização, contudo, só é viável em condições onde a humidade do solo garanta as condições necessárias ao estabelecimento vegetativo das plantas. Em alternativa pode utilizar-se material morto para apoiar o sucesso de plantações de plantas enraizadas. Para a consolidação de taludes usando entrançados recorre-se normalmente a instalações em linhas horizontais ou a estruturas em losango.

Campo de Aplicação

Margens de linhas de água onde seja necessário uma protecção continua e elástica das margens.

Materiais

Ramagem viva ou estacas de espécies com capacidade de propagação vegetativa

Troncos de madeira

Pedras

Barras de aço

Vantagens

Protecção imediata contra a erosão mecânica e posterior consolidação em profundidade através do desenvolvimento radicular

Facilidade de recolha de material

Após o seu desenvolvimento, funciona como fornecedor de material vivo, que poderá ser usado noutras intervenções

Apresenta resultados muito positivos no combate às cheias

Estrutura flexível e permeável

Desvantagens

Elevada quantidade de material vivo

Com o passar do tempo é necessário efectuar algumas tarefas de manutenção

Período de Execução

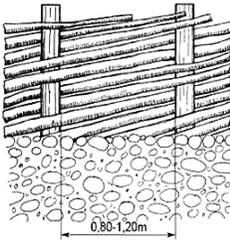
Durante o repouso vegetativo.

Manutenção

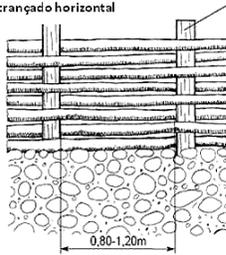
Podas e cortes selectivos para manter a elasticidade da obra e evitar um irregular crescimento das plantas.



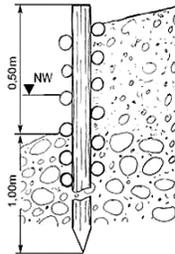
Entraçamento diagonal



Entraçamento horizontal



Estaca de suporte



Ramos de Salgueiro entraçados na direcção do escoamento e com a base inserida na margem

Ramos de Salgueiro ($\varnothing < 3$ cm)



6. ESTEIRA DE RAMAGEM

Descrição

Revestimento de margens fluviais com ramagens vivas de espécies com capacidade de propagação vegetativa. Colocam-se perpendicularmente à direcção do escoamento, e fixam-se ao solo através de arame e estacas de madeira. A base da ramagem deverá ser colocada de forma a estar em contacto com o terreno húmido ou directamente na água. Posteriormente, a ramagem é recoberta com uma camada fina de terreno. A sua base pode ser reforçada com enrocamento ou com troncos de madeira. Esta é uma técnica particularmente adequada à cobertura e consolidação de margens de rios onde se registre torrencialidade e velocidades muito elevadas (tensões de arraste superiores a 200 N/m²). A esteira protege o talude da acção da corrente e desenvolvem, ao mesmo tempo uma espessa formação vegetal cobrindo em muito pouco tempo a totalidade do talude seja no sentido longitudinal como perpendicular à corrente. A rugosidade da esteira e da vegetação que a partir dela se desenvolve reduzem a velocidade da água junto à margem e, em consequência a sua energia erosiva. Os ramos retêm os materiais e sedimentos arrastados pelas torrentes criando um colchão protector que isola a margem do contacto directo da torrente e das ondas dos rios. Esta técnica é muito exigente em material, tempo e mão de obra especializada (por exemplo para a construção do enrocamento é necessário maquinaria pesada) pelo que só deve ser utilizada em zonas onde é necessário garantir uma protecção imediata e de elevada eficácia contra a erosão fluvial. Adapta-se particularmente bem à reconstrução de frentes de erosão activas e à protecção de infra-estruturas como pontes ou represas de correcção torrencial ou retenção de escoamento. Tem sempre que se ter em consideração que esta técnica só se pode utilizar em margens com declives inferiores a 2:3. Não se adapta a intervenções em taludes não fluviais devido à sua necessidade de que todo o talude tenha humidade suficiente para o estabelecimento adequado da vegetação.

Campo de Aplicação

Margens de linhas de água onde seja necessário uma protecção continua e elástica das margens. A sua construção, apesar de relativamente simples exige cuidados particulares de modo a garantir a sua eficácia e resistência ao fluxo da água. Consiste na cobertura do talude de margem com uma camada densa de ramos com vários metro de comprimento, colocada perpendicularmente ao fluxo da água e garantindo a extremidade mais grossa se encontra baixo do nível mínimo da água. Enterram-se estacas dispostas em diagonal e afastadas cerca de 1.5m às quais se fixa arame grosso de tal modo que quando se cravam estas estacas definitivamente o arame esticado pressione todos os ramos contra o solo da margem fixando-os e garantindo o máximo de contacto possível entre os ramos e o solo. A base é consolidada de seguida com um enrocamento (em rios de elevado caudal e velocidade) ou com fascinas ou troncos de madeira em rios mais tranquilos. Toda a cobertura ou esteira de ramos é finalmente coberta com uma camada ligeira de solo.

Materiais

Ramagem viva ou estacas de espécies com capacidade de propagação vegetativa

Troncos de madeira

Pedras

Barras de aço

Vantagens

Protecção imediata contra a erosão mecânica e posterior consolidação em profundidade através do desenvolvimento radicular

Facilidade de recolha de material

Após o seu desenvolvimento, funciona como fornecedor de material vivo, que poderá ser usado noutras intervenções

Apresenta resultados muito positivos no combate às cheias

Estrutura flexível e permeável

Desvantagens

Elevada quantidade de material vivo

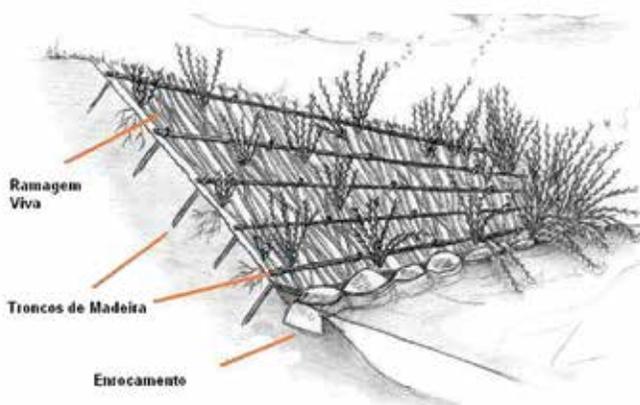
Com o passar do tempo é necessário efectuar algumas tarefas de manutenção

Período de Execução

Durante o repouso vegetativo.

Manutenção

Podas e cortes selectivos para manter a elasticidade da obra e evitar um irregular crescimento das plantas.



7. LEITO DE VEGETAÇÃO OU DE RAMAGENS

Descrição

Este é um sistema clássico e muito eficaz de consolidação de taludes e encostas. Tem a vantagem de assegurar imediatamente uma estruturação da encosta até uma profundidade de 1.5 m. Pode ser realizado apenas com ramos de plantas susceptíveis de estabelecimento por desenvolvimento vegetativo ou em combinação com plantas enraizadas de viveiro. Pode ser realizado em encostas com solo nu ou integrar-se em muros de terra armada com mantas orgânicas. A maior limitação deste método tem a ver com a dificuldade em garantir o estabelecimento vegetativo da vegetação em climas mais secos (como os climas mediterrânicos) onde existem poucas ou nenhuma espécies capazes desse tipo de estabelecimento vegetativo dadas as condições de reduzida a nula humidade dos taludes e encostas na fase crítica da instalação. A construção dos leitos de ramagem é muito simples realizando desde a base da encosta até ao seu coroamento. Começa-se por escavar uma primeira banqueta (ou terraço) horizontal com um declive da base de cerca de 10% para o interior da encosta (Fig. *10) uma profundidade entre 0.5 e 1.5 metros. Dispõem-se de seguida os ramos (e / ou as plantas já enraizadas) sempre com comprimento superior ao da banqueta ou terraço perpendicularmente à superfície da encosta de modo a cobrir a superfície da banqueta. Os ramos sobressaem do terreno cerca de 10 cm para favorecer o desenvolvimento dos rebentos. Finalmente escava-se uma nova banqueta 1.5 a 3 metros acima da primeira utilizando-se o solo extraído para preencher a banqueta inferior. Vai-se repetindo o procedimento até ao topo da encosta.

Campo de Aplicação

Esta técnica, além de extremamente eficaz na consolidação de encostas, adapta-se também a sistemas construtivos combinados como são os muros verdes armados de mantas orgânicas, onde se utilizam leitos de vegetação entre as "almofadas" de solo envolvido pela manta. Estes muros verdes constituem não só sistemas de suporte como podem ser eficazes barreiras sonoras.

Materiais

Ramagem viva ou estacas de espécies com capacidade de propagação vegetativa. (salgueiros, tamarqueiras, etc.)

Vantagens

Estruturação imediata da encosta até uma profundidade de 1.5 m

Rápida cobertura vegetal em caso de boa germinação e desenvolvimento vegetativo

Desvantagens

Resultados pouco eficazes em zonas áridas e períodos secos.

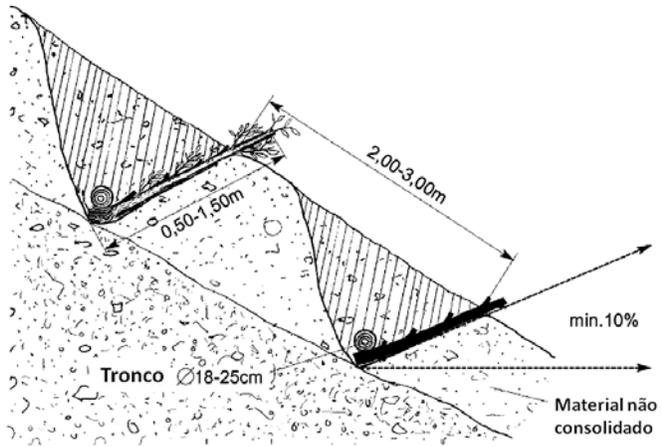
Poucas espécies com capacidade de estabelecimento vegetativo nas situação edafo-climáticas mediterrânicas

Período de Execução

Durante o início do período vegetativo.

Manutenção

Regas, podas e cortes, quando necessários.



8. MUROS DE SUPORTE VIVO

Descrição

É uma construção em madeira constituída por uma estrutura em forma de caixa, formada por troncos de madeira dispostos perpendicularmente. O seu revestimento interior deverá ser feito na base com pedra até atingir o nível médio das águas, e a restante área de enchimento poderá ser bastante diversificada, consoante as necessidades do local a requalificar, mas essencialmente poderá ser constituído por terreno local, espécies arbustivas autóctones em torrão ou raiz nua, estavas vivas ou fascinas. Estas estruturas adaptam-se muito bem ao suporte de taludes e encostas e à protecção e reconstrução de margens fluviais muito degradadas devido a acções erosivas muito intensas. São também utilizadas na construção de estruturas transversais de dissipação de energia em correntes torrenciais de montanha. Em termos gerais a sua capacidade de suporte corresponde à massa do solo que contém na sua projecção vertical, devendo ser esse a forma de proceder aos cálculos de dimensionamento. A sua construção faz-se com troncos de diâmetro entre 10 e 40 cm em camadas alternadas apresentado normalmente uma inclinação estrutural de unos 10-20% para aumentar a massa de suporte efectiva e reduzir os riscos de basculamento. Pode ser simples (só uma parede longitudinal frontal) ou duplo (duas paredes longitudinais). Pode ser ancorado com estacas (em meios muito instáveis em profundidade). São preenchidos com solo e, em cada nível são distribuídos ramos com capacidade vegetativa ou plantas enraizadas de modo a que atinjam o solo de fundação. Pode incluir preenchimento parciais com pedra na base e estar associado a sistemas de drenagem nas aplicações como muro de suporte em encostas.

Campo de Aplicação

Taludes e margens fluviais com declives entre 40-50°. Em função do meio, do tipo de aplicação e da intensidade dos factores de tensão a que estarão sujeitos assim se distinguem os diferentes procedimentos e arquitecturas construtivas deste tipo de estruturas.

Obras fluviais

Nestas obras, devido à forte acção erosiva longitudinal, há que garantir que todas as áreas abertas estão protegidas contra a erosão por filtros de pedras, fascinas ou geotextil, de modo a garantir a integridade estrutural da construção.

Longitudinais – protecção ou reconstrução de margens – este tipo de intervenções, devido à permanente acção erosiva da corrente de água têm que ser fechadas na parte frontal com pedras e fascinas de modo a impedir a erosão do material de preenchimento. A disposição relativa dos troncos transversais (sobrepostos ou alternados) não é crítica já que as tensões actuaes sobre a estrutura são longitudinais (a direcção do fluxo de água).

Transversais – Utilizados normalmente como estruturas de retenção torrencial estas estruturas são normalmente preenchidos com pedra, podendo, contudo, incluir vegetação lenhosa para aumentar o efeito de retenção hídrica e de dissipação energética.

Obras de consolidação e suporte em encostas – nestas obras, como as tensões são transversais ou perpendiculares à estrutura é da maior importância que a estrutura distribua as tensões perpendiculares da forma mais homogénea possível, pelo que se aconselha uma distribuição alternada dos troncos transversais nas diferentes camadas. Este aspecto é importante quando as estruturas são usadas como muro de suporte como também quando são usadas como componente estrutural de suporte de uma estrada, já que em ambos os casos a distribuição e dissipação das cargas pela estrutura sem pontos de acumulação de tensões ou de fraquezas é da maior importância.

Como o principal factor erosivo é a chuva não existe necessidade de instalar filtros entre os troncos sendo suficiente respeitar o ângulo de estabilidade do material de preenchimento para que garantir que a estrutura e o seu enchimento fiquem estáveis logo após a sua construção até ao pleno desenvolvimento da vegetação.

Materiais

Troncos de madeira

Pregos ou varão de ferro roscado

Estacas vivas de espécies arbustivas autóctones

Plantas em torrão ou raiz nua

Terreno local

Arame

Vantagens

Consolidação imediata e robusta

A vegetação implementada desenvolve uma acção drenante, pois absorve a água necessária ao seu desenvolvimento

Custos de manutenção contidos

Flexibilidade estrutural

Desvantagens

Limitado desenvolvimento em altura da obra

Necessidade de utilizar meios mecânicos para executar as escavações

Período de Execução

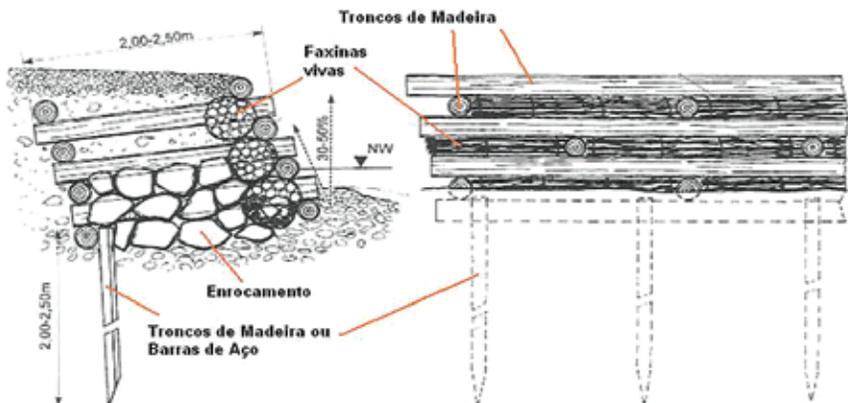
Todo o ano (estrutura em madeira)

Período de repouso vegetativo (estacaria viva e plantações)

Manutenção

Vigiar no primeiro ano, de modo a evitar o descalçamento da estrutura.

Substituição de estacas ou plantas que não tenham enraizado



9. GABIÕES VIVOS

Descrição

Estrutura em forma de caixa rectangular, feita com rede de malha hexagonal em arame galvanizado reforçado, e o seu interior é preenchida com pedra não friável. Estacas vivas são inseridas no interior dos gabiões com disposição irregular ou em filas na primeira malha do gabião superior. Desempenham funções de protecção contra a erosão fluvial e ao mesmo tempo servem de suporte à margem em caso de instabilidade gravítica. São estruturas com elevada flexibilidade e permeabilidade. Os gabiões são estruturas constituídas por uma caixa pré fabricada de contenção rígida metálica em rede de arame ou grade de aço preenchida ordenadamente com pedras. Para introduzir vegetação, durante o processo de enchimento colocam-se camadas de terra vegetal e dispõem-se ramos com capacidade vegetativa ou plantas enraizadas com um comprimento tal que atinjam plenamente o solo por trás do gabião de modo a maximizar as hipóteses de estabelecimento bem sucedido. O objectivo é o de que o desenvolvimento das raízes ajudem a fixar a estrutura ao talude e a melhorar a sua integração paisagística. São utilizados como estruturas de suporte de taludes com declives muito acentuados ou na protecção longitudinal de margens fluviais. **Ao contrário das restantes técnicas descritas, os gabiões plantados não constituem na sua essência uma técnica de Engenharia Natural, já que a vegetação nunca substituirá plenamente as funções de suporte do gabião.**

Campo de Aplicação

Defesa longitudinal e/ou transversal de linhas de água e taludes em erosão.

Materiais

Seixo do rio ou outro tipo de pedra

Arame galvanizado reforçado

Estacas vivas de espécies com capacidade de reprodução vegetativa

Vantagens

Execução rápida e simples

Efeito de contenção imediato

Pode utilizar materiais locais

Flexíveis e permeáveis

Permite a sistematização de margens muito íngremes ou em zonas com limitado espaço de intervenção

Aumento da estabilidade da estrutura com o desenvolvimento radicular dos salgueiros

Desvantagens

A utilização de material pedregoso não característico do local aumenta os custos

Artificialidade da estrutura

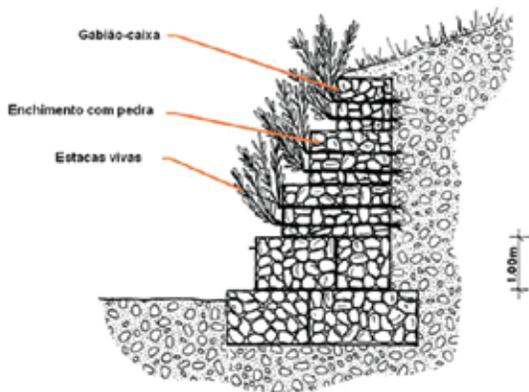
Período de Execução

Todo o ano (estrutura)

Período de repouso vegetativo (estacaria viva)

Manutenção

Não necessita de tarefas de manutenção específicas, apenas se deve ter em atenção para o caso de surgirem danos na estrutura.



10. TERRA REFORÇADA

Descrição

Obra de sustentação, utilizada para reconstrução de taludes muito inclinados. Consiste numa estratificação reforçada de várias parcelas de terreno local, as quais são estabilizadas interiormente pelo peso do próprio terreno, enquanto que na parte frontal, a contenção do terreno é feita através de uma protecção com diversos tipos de materiais inertes. Utilizam-se mantas de geotextil orgânico reforçadas o não com redes de aço ou plástico e cheias com uns 50 cm. de terra vegetal. finalizada uma camada procede-se à plantação de espécies enraizadas ou à disposição da ramos com capacidade de instalação vegetativa de forma semelhante à construção de um leito de ramagens. Esta técnica adapta-se muito bem à construção de muros de suporte ou a muros verdes de protecção contra o ruído.

Campo de Aplicação

Taludes e margens fluviais de elevada inclinação. Muros para protecção sonora.

Materiais

Rede sintética ou metálica zincada e plastificada

Geotêxtil orgânico ou sintético

Geogrelhas de reforço

Material inerte de enchimento

Estacas vivas de espécies de propagação vegetativa, arbustos em torrão, hidrossementeira

Painéis em rede metálica electrossoldada

Vantagens

Elevada duração temporal

A construção por módulos permite obter formas ilimitadas, adaptadas às condições locais do terreno

É a estrutura artificial com melhores condições para o estabelecimento da vegetação

Aplicável em locais com fortes inclinações e espaços limitados

Deformáveis e permeáveis

Desvantagens

Elevado custo

Os materiais de reforço não são biodegradáveis

Recolha de material de enchimento com características geotécnicas idóneas

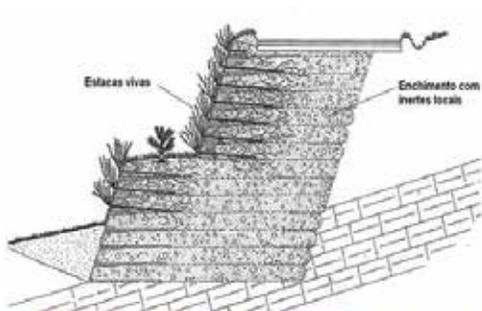
Período de Execução

Todo o ano (estrutura)

Período de repouso vegetativo (estacaria viva e plantações)

Manutenção

Não necessita de tarefas de manutenção específicas, apenas se deve ter em atenção para o caso de surgirem danos na estrutura.



11. GRADE VIVA

Descrição

Estrutura em madeira obtida através da colocação de troncos de madeira horizontais e verticais dispostos perpendicularmente entre si, e suportada por troncos de madeira cravados no solo que servem de suporte à estrutura. Posteriormente, procede-se à plantação de estacas vivas, de plantas em torrão ou em raiz nua, e finalmente enche-se a estrutura com terreno local. As grades vivas são estruturas de madeira para a consolidação superficial de taludes com uma altura de até 20 m e declives de até 55%. O seu objectivo é a consolidação das camadas superficiais de solo da encosta até uma profundidade de 30 – 40 cm (em função do tipo de grade (simples ou duplo)). São construídas utilizando troncos de diâmetros entre 10 e 30 cm numa estrutura em grade simples ou dupla. A distancia vertical entre os diferentes níveis transversais é função do ângulo de estabilidade do solo de modo a garantir que não ocorram deslizamentos ou erosão do solo de enchimento. A instalação da vegetação pode ser feita por plantação ou colocação de estacas posteriormente à construção da grade. Isso significa que é possível construir a grade fora do período vegetativo ao contrário da maioria dos sistemas construtivos descritos.

Campo de Aplicação

Em taludes com declives entre 45-55° e, eventualmente, em margens fluviais

Materiais

Troncos de madeira

Pregos ou varão de ferro roscado

Terreno local

Arame

Estacas vivas de espécies arbustivas autóctones

Plantas em torrão ou raiz nua

Vantagens

Estabilização imediata

A vegetação exerce uma acção drenante pois absorve a água necessária ao seu desenvolvimento

Requer pouca escavação

Permite o desenvolvimento de vegetação em taludes com declives muito acentuados sem a necessidade de nivelamento

Efeito estabilizante contínuo, que inicialmente é assegurado pela estrutura em madeira, e posteriormente é assegurado pelo desenvolvimento radicular da vegetação

Desvantagens

Método de construção intensivo

Difícil aplicação em substratos rochosos

Período de Execução

Todo o ano (estrutura em madeira)

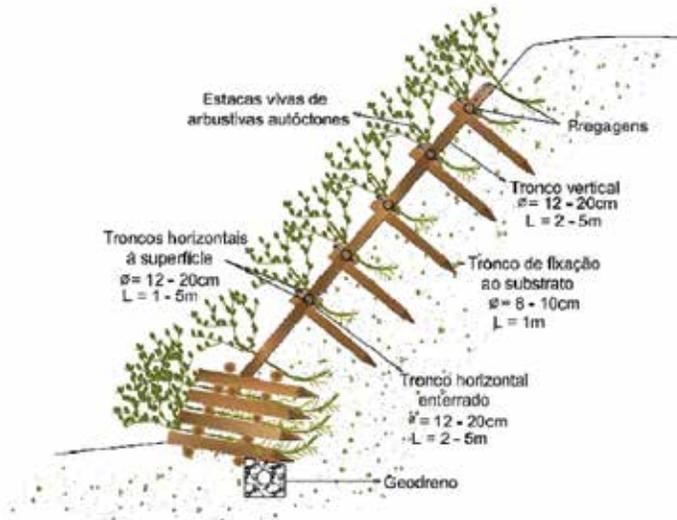
Período de repouso vegetativo (estacaria viva e plantações)

Manutenção

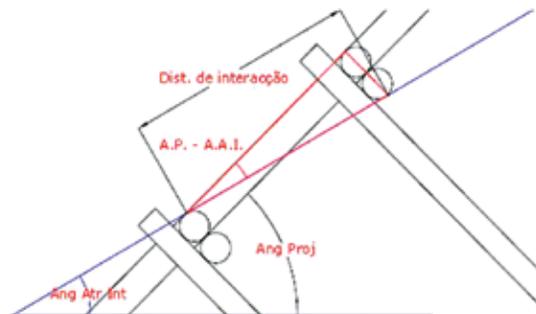
Substituição de estacas ou plantas que não tenham enraizado.

Grade de vegetação associada a muro de suporte tipo "Cribawall" de parede dupla (Martinho, 2005)

Dimensionamento da distancia horizontal entre traves numa grade simples (Pires, 2010)



Grade de vegetação associada a muro de suporte tipo "Cribawall" de parede dupla (Martinho, 2005)



Dimensionamento da distancia horizontal entre traves numa grade simples (Pires, 2010)

12. GEOTEXTEIS E GEOMALHAS VIVAS

Descrição

Neste grupo incluem-se os geotexteis, as mantas orgânicas e as redes metálicas quando utilizados como sistema de cobertura superficial permitindo o desenvolvimento de uma sementeira, de um estacaria ou de plantações de plantas enraizadas. Estes tecidos e mantas destinam-se a garantir uma cobertura do solo que evite a acção directa dos agentes erosivos e diminua as perdas de água por evaporação, permitindo um desenvolvimento mais fácil das plantas. Adicionalmente regulam a temperatura do solo, criando um microclima mais temperado e húmido. Uma adequada selecção das mantas mais adequadas a cada situação (factores de perturbação e instabilidade) e a garantia que se adequam à instalação dos propágulos utilizados (sementes, estacas, plantas enraizadas) é crucial para o sucesso da instalação. Iguamente da maior importância é a fixação das geomalhas que deve garantir uma percentagem significativa de sobreposição entre mantas consecutivas, uma pregagem adequada e uma fixação superior e inferior resistente. Adaptam-se muito bem a métodos combinados.

Campo de Aplicação

Podem ser aplicadas em muitas situação de ocorrência de erosão laminar, correcção de ravinamento e consolidação de linhas de drenagem, margens de linhas de água e taludes com declives entre 25° e 45°.

Materiais

Embora possam ser agrupadas e catalogadas de diferentes formas existem três grupos principais de geotexteis destes materiais:

- Biomantas (as fibras estão desagregadas mas acondicionadas por um material estruturante (geralmente rede ou outro material tecido de degradabilidade variável), comprimida de modo a constituir um todo homogénio mesmo sem o invólucro)
- Biotecidos (as fibras estão entrançadas)
- Bioredes (as fibras individuais estão ligadas (por nós ou agrafes) nos seus pontos de contacto)

Existem mantas numa grande diversidade de materiais: fibra de coco, juta, palha, esparto, etc, combinadas ou não com redes ou malhas estruturais sintéticas (e.g., polipropileno) ou metálicas. Em situações de controle do escoamento superficial empregam-se também redes de juta, esparto ou fibra de coco.

Vantagens

- Execução simples e rápida
- Acção protectora imediata
- Acção filtrante muito eficaz
- Elasticidade e permeabilidade

Desvantagens

- Durabilidade limitada no tempo

Período de Execução

Durante todo o ano, mas no caso de ser em combinação com sementeira ou planatação, durante o período de repouso vegetativo.

Manutenção

Vigilância no primeiro ano para controlar a estabilidade da estrutura e da pregagem.



13. BIOROLOS

Descrição

Rolos cilíndricos em fibra de coco, que permitem a sedimentação de materiais e/ou a estabilização de margens fluviais.

Campo de Aplicação

Margens fluviais de declive baixo com limitada oscilação do nível da água e transporte sólido bastante fino, margens de lagos, áreas lagunares.

Materiais

Rolo em fibra de coco

Arame

Troncos de madeira ou varas de ferro

Ramagens ou estacas vivas

Bolbos e Rizomas

Vantagens

Execução simples e rápida

Acção protectora imediata

Acção filtrante muito eficaz

Elasticidade e permeabilidade

Desvantagens

Limitada durabilidade limitada no tempo

Período de Execução

Durante o período de estiagem

Manutenção

Vigilância no primeiro ano para controlar a estabilidade da estrutura.



14. BARRAGEM DE CORRECÇÃO TORRENCIAL

Descrição

É uma estrutura construída segundo a tipologia clássica das barragens, apesar de ser constituída por madeira e pedra como materiais alternativos ao usual betão. É construída transversalmente em relação ao sentido do escoamento da água, e contribui imediatamente para a diminuição da inclinação do fundo do leito do rio, o que favorece a diminuição dos efeitos erosivos e a deposição de material.

Campo de Aplicação

Linhas de água onde haja erosão lateral e no fundo do leito com transporte sólido não excessivo, e onde o escoamento mínimo seja constante (evitar períodos em que os troncos de madeira se encontrem húmidos e depois secos), de forma a favorecer a durabilidade da estrutura.

Materiais

Troncos de madeira

Varão de ferro roscado

Estacas e fascinas vivas de salgueiros

Pedra

Vantagens

Elevada duração temporal

Elevada capacidade drenante

Podem substituir as construções tradicionais, recorrendo à utilização de material local

Desvantagens

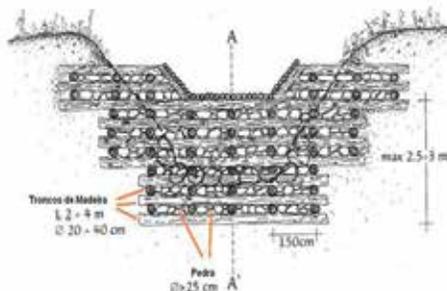
Obstáculo para a fauna piscícola

Período de execução

Período de estiagem

Manutenção

Não necessita de tarefas de manutenção específicas, apenas se deve ter em atenção para o caso de surgirem danos na estrutura.



15. SOLEIRAS

Descrição

São estruturas construídas com pedras, que servem para superar os desníveis do leito, evitando a criação de ressaltos, permitindo o movimento dos peixes. Antes da sua realização, é necessário alargar o leito. A estrutura é eventualmente fixada a montante e a jusante com troncos inseridos em profundidade. Imediatamente a montante da soleira é desejável a realização de cavidades para peixes.

Campo de Aplicação

Leitos de linhas de água com inclinação média-baixa, e com fundo pedregoso e arenoso. Aplicam-se também como dissipadores de energia na base de barragens de correcção torrencial.

Materiais

Blocos de pedra

Troncos de madeira

Vantagens

Consolidação imediata do leito da linha de água. Rappresenta una via funzionale alla risalita del corso

Funciona também como estrutura de apoio à subida da fauna ictícia.

Desvantagens

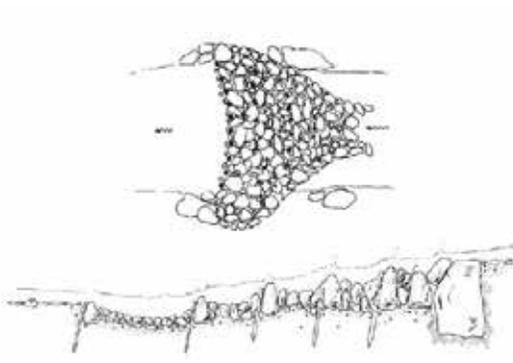
Necessita de uma quantidade elevada de material inerte.

Período de Execução

Em qualquer estação do ano, excepto em período de reprodução de peixes.

Manutenção

Não necessita de tarefas de manutenção específicas.



16. ENROCAMENTO VIVO

Descrição

Obra de defesa longitudinal contra a erosão das margens fluviais, que consiste na colocação de pedras de grandes dimensões nas margens. Nos interstícios entre pedras são colocadas estacas vivas de salgueiro.

Campo de Aplicação

Margens fluviais de linhas de água com notável transporte sólido e elevada velocidade de corrente.

Materiais

Pedras de grandes dimensões

Estacas vivas de espécies com capacidade de reprodução vegetativa

Troncos de madeira (opcional)

Vantagens

Efeito protector imediato

Assim que as estacas vivas desenvolvam o seu sistema radicular aumenta o efeito estabilizador no solo

Manutenção reduzida

Desvantagens

Técnica de difícil aplicabilidade em zonas pouco acessíveis à maquinaria necessária para a sua execução.

Em linhas de água de regime torrencial, estão sujeitas a escavação na base.

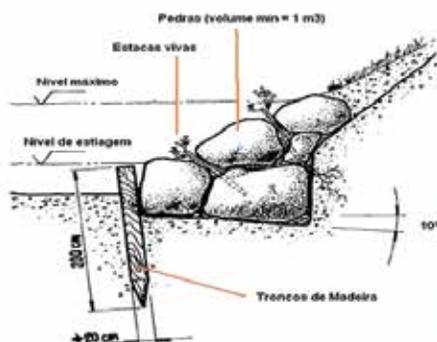
Período de Execução

Todo o ano (colocação de pedras)

Período de repouso vegetativo (estacaria viva)

Manutenção

Controlo periódico por pelo menos duas ou três estações vegetativas e substituição de estacas vivas que não tenham enraizado.



17. DEFLECTORES (ESPORÕES) VIVOS

Descrição

Construção em madeira, pedra e material vegetal vivo, colocada transversalmente ou longitudinalmente em relação ao escoamento das águas. Desenvolvem eficazmente funções anti-erosivas, reduzindo a velocidade da água, e consentindo a deposição de material sólido. Constituem também pontos de refúgio para a fauna.

Materiais

Troncos de madeira

Ramagem morta e viva

Estacas de salgueiro

Material de enchimento (pedras, seixos)

Varão de ferro roscado

Vantagens

Tornam-se parte integrante da margem fluvial

A presença da ramagem reduz a velocidade da água e mistura-a, criando zonas de águas baixas tranquilas, indicadas para a reprodução de diversas espécies piscícolas.

Desvantagens

Podem causar erosão na margem oposta, caso não sejam bem dimensionados.

Utilização de grandes quantidades de material vivo.

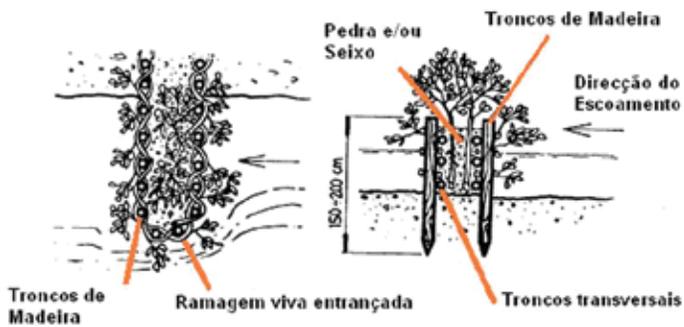
Período de Execução

Todo o ano, exceptuando a aplicação do material vivo que deverá ocorrer durante o período de repouso vegetativo

Manutenção

Nos primeiros dois anos deverá ter-se em atenção o desenvolvimento das estacas vivas, com substituição das que não vingaram.

Após eventos de cheias, deverá ser avaliada a necessidade de reposicionar algumas pedras que sejam eventualmente levadas pela corrente.



18. BARREIRAS DE CONTENÇÃO DE SOLO

Descrição

Consiste no aproveitamento em zonas pós-fogo, de troncos de árvores mortas, os quais são colocados horizontalmente sobre o terreno, apoiados noutros fixados no solo, ou mesmo nas toixas resultantes do corte de árvores ardidas. Rapidamente contribuem para a sedimentação do solo erodido, que devido à falta da protecção dada pela vegetação é facilmente arrastado. – Esta é uma técnica simples de consolidação superficial de solos erodidos e de redução da energia do escoamento por redução do trajecto linear da água na encosta. Constituem, simultaneamente um excelente suporte para a vegetação devido à acumulação de partículas finas e pela redução da erosividade do escoamento que garantem. A sua construção faz-se cravando estacas na encosta, por trás das quais se dispõem horizontalmente um ou dois que podem servir de base para a construção de leitos de ramos ou realizar plantações de lenhosas. Facilitam também o sucesso de sementeiras entre as linhas de degraus ao reduzir a energia do escoamento e a consequente erosão superficial. Em zonas ardidas no imediato pós-fogo podem-se utilizar os troncos de árvores mortas colocando-os horizontalmente sobre o terreno, apoiados noutros fixados no solo, ou mesmo nas toixas resultantes do corte de árvores ardidas. Esta intervenção contribui rapidamente para a sedimentação do solo erodido, que devido à falta da protecção dada pela vegetação é facilmente arrastado. Facilita, por este modo a restauração da vegetação ao preservar o solo e a sua humidade acima desses troncos criando as melhores condições para uma plantação bem sucedida.

Materiais

Troncos de madeira e eventualmente pregos, varão de ferro roscado, arame

Vantagens

Contenção e sedimentação imediata do solo erodido

Aproveitamento de material local

Desvantagens

Elevada quantidade de material e mão-de-obra

Período de Execução

Assim que possível após a ocorrência do fogo.

Manutenção

Não necessita de tarefas de manutenção específicas.



Fotografia: Projecto LIFE/OTF de Nisa (2005)



CUSTOS ASSOCIADOS À IMPLEMENTAÇÃO E MANUTENÇÃO DE MEDIDAS DE EN

A orçamentação dos custos de implementação das medidas/técnicas de Engenharia Natural mais relevantes são baseadas na bibliografia da especialidade. De acordo com isso, apresentaremos em seguida, por cada técnica, os valores definidos:

Técnica de Engenharia Natural	Custo Unitário
Barragem correcção torrencial	€150/m ²
Barreiras de contenção de selo	€30/m
Biorolo	€50/m
Deflectores vivos	€10/m
Enrocamento vivo	€120/m ²
Entraçado vivo	€30/m
Estacaria viva	€3/estaca
Esteira viva	€30/m ²
Faixas de vegetação	€10/m
Fascina viva	€20/m
Fascinas vivas múltiplas	€50/m ²
Gabiões vivos	€160/m ²
Geocélulas	€32/m ²
Grade viva	€100/m ²
Hidrossementeira	€1/m ²
Manta Orgânica	€5/m ²
Muro de suporte vivo	€150/m
Paliçada	€5/paliçada
Plantação	€4/pé
Redes tridimensionais	€150/m ²
Sementeira	€1/m ²
Soleiras	€200/m ²
Terra armada / Muro verde	€200/m ²
Transplantação	€20/m ²

Apesar das suas limitações, as técnicas de engenharia natural oferecem diversas vantagens relativamente às técnicas tradicionais. Estas vantagens encontram-se descritas na listagem seguinte:

- Baixo custo e reduzida manutenção a longo prazo relativamente às obras de engenharia convencionais, obtendo por isso um maior índice de custo – benefício.
- Há medida que um projecto de engenharia natural adquire maturidade (após a plena adaptação e desenvolvimento da vegetação às condições locais, pouca ou nenhuma manutenção é necessária;
- Promovem a utilização e por vezes reutilização de materiais naturais, adquiridos nos locais de intervenção (solo, vegetação, madeira, pedra);

- Benefícios ambientais ao nível da criação de nichos ecológicos, melhorias na qualidade da água;
- Aumento das forças estabilizantes do solo, através do desenvolvimento contínuo das raízes;
- Obras com elevada compatibilidade ambiental, pois são estruturas de baixo impacto, perfeitamente enquadradas na paisagem;
- Promoção de valores estéticos paisagísticos.

Custos de Manutenção

Resumo:

Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1º Ano	2	2	2	1	1	1	1	1	1			1

2 operários x 8h/dia x 2 dias/mês x 3 meses

2 operários x 8h/dia x 1 dia/mês x 6 meses

2 operários x 8h/dia x 1 dia/mês para 3 meses

Total:

2 operários x (8h x 6 dias = 48 horas) + (8h x 6 dias = 48 horas) + (8h x 3 dias = 24 h) = 120 h / ano

120 h x 15 € = 1800 €/ano (Mão de Obra)

As tarefas de manutenção referentes ao primeiro ano após a construção das técnicas de engenharia natural são imprescindíveis, pois garantem muitas vezes a eficácia e o sucesso deste tipo de intervenções.

A garantia inicial de estabilização de cada uma das intervenções é dada inicialmente pela estrutura inerte, a qual perderá ao longo do tempo a sua resistência, devido à degradação dos materiais (ex: troncos de madeira). No entanto, este facto não é preocupante, pois essa mesma força estabilizante será substituída pelo desenvolvimento do sistema radicular das espécies implementadas.

Para além do valor de mão-de-obra, existem outros custos associados à manutenção das técnicas de engenharia natural, que irão ser variáveis, pois dependem da evolução das mesmas.

Segundo Zeh (2007), a manutenção de obras de engenharia natural, diz respeito aos trabalhos que se efectuam tendo em vista a conservação das estruturas e vegetação implementadas, bem como assegurar a sua eficiência técnica e ecológica.

Em condições normais, isto é, quando foram aplicadas as técnicas construtivas e as

plantas adequadas, a manutenção das obras não é necessária após o segundo ano ou então dá-se de uma forma periódica em intervalos médios (3 a 10 anos), em intervalos prolongados (superiores a 10 anos), ou então após acontecimentos como catástrofes naturais, fogos ou danos causados por terceiros.

Esses trabalhos de cuidado e manutenção podem incluir as seguintes actividades:

- Prevenção dos danos causados pela fauna selvagem ou pelo gado.
- Ceifa e transporte do material ceifado.
- Pastoreio extensivo por espécies adequadas como por exemplo as ovelhas.
- Cobertura do solo (com palhas ou “mulch”) de plantações de lenhosas em particular em zonas áridas.
- Irrigação.
- Drenagem.
- Melhoramento do solo através de adubação arejamento ou movimentação.
- Podas dos materiais lenhoso para remoção de partes mortas ou doentes, para regeneração, redução da densidade e favorecimento de espécies preferenciais.

Existem determinadas tarefas de manutenção nas obras de engenharia natural que se não devem ser descuradas:

1. Eliminação e substituição das plantas que não tenham tido sucesso

Eventuais plantas mortas devem ser substituídas por outras idênticas, bem como proceder a novas sementeiras ou plantações em zonas onde o seu crescimento esteja a ser irregular ou defeituoso. Estas tarefas deve ser realizadas imediatamente após a identificação dos problemas, de maneira a prevenir eventuais fenómenos de erosão localizada, e que possam comprometer o sucesso das intervenções realizadas.

2. Sistematização de danos

Deve-se proceder no mais curto espaço de tempo à sistematização de danos causados pela erosão, com intervenções que reponham as condições deixadas após a realização das obras, seja na reposição de solo perdido, novas plantações ou mesmo arranjos estruturais. Também poderá ser necessário solucionar possíveis danos causados pela fauna selvagem ou gado doméstico.

3. Irrigações

De forma a favorecer o enraizamento da vegetação, deve-se proceder a diversas operações de irrigação pelos menos nos dois primeiros anos após a conclusão das obras.

4. Controlo da vegetação

É necessário realizar diversas tarefas de manutenção enquanto a vegetação se desenvolver, tais como: cortes, mondas, desbastes, remoção de partes mortas ou doentes, e redução da densidade de forma a favorecer as espécies preferenciais.

5. Podas

As podas de formação e de manutenção devem ser realizadas de acordo com as características de cada espécie.

6. Controlo fitossanitário

É necessário controlar as manifestações patológicas na vegetação, procedendo à eliminação total do problema que a afecta, e remediar os danos causados.

7. Melhoramento das características do solo

Tarefas de adubação, arejamento e drenagem.

Normalmente, as técnicas tradicionais de engenharia usando exclusivamente materiais inertes, requerem mais tarefas de manutenção ao longo do seu tempo de vida, e no caso de ocorrerem falhas nas estruturas, tornam-se mais dispendiosas em termos de reparação. Os projectos de engenharia natural podem ser mais custosos inicialmente, especialmente pela mão-de-obra especializada, pelas replantações, possíveis reparações e monitorização. Contudo, os seus custos de manutenção serão significativamente mais baixos ao longo do tempo, devido à sua resiliência e natureza auto-sustentável.)

ANEXO II

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



Espécie	Nome Vulgar	Tipo de propagação	
		vegetativa	sementeira
<i>Acer monspessulanum</i> L.	zelha	?	X
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	platano bastardo	X	X
<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertner	amieiro	X	X
<i>Ammophila arenaria</i> (L.) Link subsp. <i>arundinaceae</i> H. Lindb. Fil.	estorno	X	X
<i>Arbutus unedo</i> L.	medronheiro		X
<i>Artemisia campestris</i> L. subsp. <i>maritima</i> Arcangeli	madorneira	X	X
<i>Atriplex halimus</i> L.	salgadeira	X	X
<i>Betula celtiberica</i> Rothm. & Vasc.	videeiro		X
<i>Buxus sempervirens</i> L.	buxo	X	X
<i>Calicotome villosa</i> (Poirot) Link			X
<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull	urze		X
<i>Castanea sativa</i> Miller	castanheiro	X	X
<i>Celtis australis</i> L.	trovisco alvar		X
<i>Ceratonia siliqua</i> L.	alfarrobeira		X
<i>Chamaerops humilis</i> L.	palmeira anã		X
<i>Chamaespartium tridentatum</i> (L.) P. Gibbs	carqueja		X
<i>Cheirolophus sempervirens</i> (L.) Pomel	viomal		X
<i>Cistus albidus</i> L.	roselha branca		X
<i>Cistus crispus</i> L.	roselha		X
<i>Cistus ladanifer</i> L.	esteva		X
<i>Cistus monspeliensis</i> L.	sargaço		X
<i>Cistus populifolius</i> L. subsp. <i>populifolius</i>	estevão		X
<i>Cistus psilosepalus</i> Sweet.	saganho		X
<i>Cistus salvifolius</i> L.	saganha- mouro		X
<i>Corema album</i> (L.) D. Don subsp. <i>album</i>	camarinheira		X
<i>Cornus sanguinea</i> L. subsp. <i>sanguinea</i>		?	X
<i>Coronilla valentina</i> L. subsp. <i>glauca</i> (L.) Batt. in Batt.	seno do reino		X
<i>Corylus avellana</i> L.	aveleira	X	X
<i>Crucianella maritima</i> L.	granza das praias		X
<i>Cytisus grandiflorus</i> (Brot.) DC.	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 & Guinochev) 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> Rudolph in Schrader	urze		X
<i>Erica scoparia</i> L. subsp. <i>scoparia</i>	urze		X
<i>Erica umbellata</i> L.	urze		X

Espécie	Nome Vulgar	Tipo de propagação	
		vegetativa	sementeira
<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.			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.		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.	murta dos pantanos	?	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>	alfazema	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.	zambujeiro	?	X
<i>Phillyrea latifolia</i> L.		?	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.		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>		?	X
<i>Prunus spinosa</i> L. subsp. <i>insititioides</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 pyrauster</i> Burgsd.	pereira brava	?	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	azinheira		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	w	X
<i>Rhododendron ponticum</i> L. subsp. <i>baeticum</i> (Boiis & 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 branca	X	X
<i>Salix triandra</i> L. subsp. <i>discolor</i> (Koch) Arcangeli	borrazeira branca	X	X
<i>Sambucus nigra</i> L.	sabugueiro	X	X
<i>Santolina impressa</i> Hoffmanns & Link		X	X
<i>Securinega tinctoria</i> (L.) Rothm.	tamujo	?	X
<i>Sorbus aucuparia</i> L. subsp. <i>aucuparia</i>		?	X
<i>Sorbus latifolia</i> (Lam.) Pers.	carnogodinho	?	X
<i>Sorbus torminalis</i> (L.) Crantz		?	X
<i>Spartina maritima</i> (Curtis) Fernald	morraça	X	X
<i>Spartium junceum</i> L.	giesta		X
<i>Tamarix africana</i> Poiret		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

Ficha Técnica

Título e subtítulo	Introdução à Engenharia Natural
Edição	EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A.
Paginação e Design	Gabinete de Imagem e Comunicação da EPAL
Impressão	Rolo e Filhos II, SA
Tiragem	1250
Depósito Legal:	
Ano	2011
ISBN	978-989-97459-5-7