

ENGENHARIA NATURAL NA REABILITAÇÃO DE TALUDES E VERTENTES

Carlo Bifulco

Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Centro de Ecologia Aplicada Prof. Baeta Neves (CEABN); Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal

email: carlobifulco@isa.utl.pt <http://www.isa.utl.pt/ceabn>

Sumário

A Engenharia Natural (EN) é largamente aplicada na Europa, mas limitadamente em Portugal. Aqui é reduzido o leque de espécies conhecidas que se adaptam a este tipo de intervenções que, por sua vez, utilizam como materiais base, fundamentalmente, plantas, estacas e sementes. No sentido de dotar o país de um maior conhecimento sobre a matéria, estão em curso, no Centro de Ecologia Aplicada Baeta Neves, ensaios para a determinação das espécies vegetais mais adaptadas ao ecossistema português. Pretendendo-se, com estas, poder contribuir para uma execução mais alargada e de sucesso das obras de EN em Portugal. Nesta comunicação apresenta-se um quadro síntese das técnicas desta disciplina que podem ser usadas em âmbito rodoviário no sentido de mitigar fenómenos erosivos e conter deslizamentos de terra através do revestimento de encostas, da estabilização de superfícies e da consolidação de taludes. Com estas técnicas e utilizando as espécies adequadas, é possível a reabilitação dos taludes e aterros das estradas, de uma forma sustentável, melhorando as suas funções ecológicas, paisagísticas, bem como o impacto no meio envolvente, nomeadamente o ruído e a paisagem.

Palavras-chave: Engenharia Natural (EN); materiais vivos, técnicas de EN; estabilização e consolidação de vertentes e taludes; controlo da erosão; reabilitação sustentável.

1 INTRODUÇÃO

Engenharia Natural (EN) é uma expressão portuguesa equivalente à alemã *ingenieurbiologie*, à italiana *ingegneria naturalistica*, à francesa *génie biologique*, à espanhola *ingeniería del paisaje*, à inglesa *soil bioengineering*, que consiste num conjunto de métodos e técnicas que se caracterizam por utilizar, como principal material de construção, as plantas.

As plantas, organismos vegetais capazes de sintetizar a energia radiante do sol e a transformar em biomassa, são a base da pirâmide alimentar, mas esse está longe de ser o seu único uso. Na tentativa de melhor compreender a extensão do uso das plantas, será útil introduzir-se a etnobotânica, ciência que estuda o uso e a perceção das espécies vegetais na sociedade humana. Esta ciência, inicialmente aplicada em sociedades primitivas, é hoje genericamente utilizada para analisar os diversos usos das plantas, numa determinada área geográfica, e de entre eles, o uso das plantas nas práticas rituais e as suas aplicações ligadas à sabedoria popular, como remédio médico e veterinário, e como matéria-prima numa panóplia de situações, nomeadamente, na construção, no artesanato e na manufatura, para além das utilizações agrícolas em outros usos alimentares.

A utilização técnica de plantas e raízes, já é referido por Leonardo da Vinci (1452-1519) no que concerne a construção dos canais e a proteção das margens dos rios: “*As raízes dos salgueiros permitem que os taludes dos canais navegáveis não se desagreguem; os ramos de salgueiro colocados transversalmente, ou seja na direção da corrente, e podados anualmente na base, tornam-se mais grossos, permitindo, desta maneira, obter uma margem viva e compacta*” [1].

No mesmo sentido, em 1900, no livro “*Le Portugal au point de vue agricole*” [2], a propósito do *Salix salviifolia*, refere-se “*os salgueiros são cultivados nas beiras das linhas d’aguas para fixar e proteger a terra*”.

Em Portugal, no século XVIII, corria o ano de 1790, José Diogo Mascarenhas Neto, Superintendente Geral das Estradas de 1791 à 1805, preconiza o uso de plantas na construção das estradas, no seu livro intitulado “*Methodo para construir as estradas em Portugal, dedicado ao Senhor Dom João Príncipe do Brasil*” [3].

Inspirar-se na observação e procurar imitá-la, tentando encontrar soluções para problemas técnicos, é hoje um objetivo mais geral da biomimética, *biomimicry* em inglês, método de estudo aprofundado e divulgado por Janine Benyus [4]. Muitos são os exemplos de imitação de formas, processos, sistemas e estratégias encontradas na natureza, para resolver os problemas humanos; talvez o mais famoso é a invenção do VELCRO®.

Os primeiros métodos e técnicas de EN foram desenvolvidos na Europa central aquando da sua aplicação, em larga escala, nos trabalhos de construção da autoestrada do Brenner nos Alpes austríacos. Entre os resultados mais relevantes destas experiências dá-se nota da identificação dos salgueiros, especificamente do *Salix purpurea*, como espécies muito úteis nas obras de EN e da demonstração que a colocação das estacas vivas em posição sub-horizontal permitia o desenvolvimento de um maior número de raízes [5].

Tendo o autor sido diretor do parque nacional do Vesúvio entre 1997 e 2005, pode constatar que a transferência da metodologia utilizada nos Alpes, como uma cópia, para aquele parque nacional, uma área geográfica de clima mediterrânico, não teve êxito. As estacas de salgueiro, depois de enraizarem e rebentarem na primavera, não conseguiram ultrapassar o verão do Sul italiano e secaram. A EN deveria ter sido adaptada às condições locais do clima e da flora. E de facto, seguidamente, foi o que aconteceu [6].

Apesar das inúmeras potencialidades da EN existe a consciência de que ela não é uma panaceia que resolverá todas as questões.

A comunicação que aqui se apresenta, tem como principal objetivo dar nota de quais as técnicas de EN que poderão ser aplicadas na resolução dos problemas causados pelos declives das vertentes e taludes que derivam da construção de estradas, diferenciando-as segundo o seu objetivo funcional.

Relembrando, no entanto, outras aplicações da EN, como a estabilização das margens dos rios e, mais recentemente, a fito-remediação, *phytoremediation* em inglês ou *fitodepurazione* em italiano, bem como, a estabilização de encostas após os grandes incêndios florestais.

2 ENGENHARIA NATURAL: OPORTUNIDADES E LIMITAÇÕES

As técnicas de EN resultam de uma estratificação de conhecimentos que se inicia na época moderna [1], embora sem um enquadramento sistemático específico, como aconteceu com outras disciplinas contemporâneas da engenharia. De facto, a primeira sistematização desta matéria é muito recente e deve-se a Schiechtl [5]. Desde que este iniciou a aplicação das técnicas de EN, em 1948 no Tirol, Alpes Centrais, originou-se um processo que levou, a partir dos anos 80, à publicação de diversos artigos e livros sobre a matéria e à constituição de associações profissionais de nível nacional, posteriormente federadas (1995) na Associação Europeia de Engenharia Natural (*EFIB*).

São muitas as classificações das técnicas usadas pela EN. Uma delas, bastante comum, diferencia-as em dois grupos principais, segundo o local de execução da obra: intervenções (*i*) em áreas ribeirinhas e rios ou (*ii*) em taludes e vertentes. No entanto, em ambas as situações existem modelos e elementos construtivos que são comuns. Sendo que, para o segundo grupo, devido à carência de água, as condições de sucesso das intervenções são significativamente mais dificultadas.

As técnicas de maior interesse para a construção de estradas classificam-se segundo o seu objetivo funcional [7]:

- técnicas de revestimento superficial anti-erosão;
- técnicas de estabilização superficial;
- técnicas de consolidação, com construção de obras de suporte.

A escolha dos *materiais vivos* a utilizar é um passo crucial no processo de determinação da técnica de EN mais adequada a uma obra específica, é por isso determinante referi-los: (*i*) sementes, principalmente para o caso de espécies herbáceas; (*ii*) estacas vivas de vários diâmetros e comprimentos, de espécies arbustivas ou arbóreas que revelem ter capacidade de propagação vegetativa; e (*iii*) plantas. Uma outra particularidade de grande importância, relativa a escolha destes materiais vegetais, é a restrição ao uso de espécies autóctones. Critério sustentado por Bifulco e Rego num artigo publicado relativo a questões de ecologia aplicadas à seleção das espécies a utilizar [8].

Os objetivos principais da EN em encostas são a recuperação e a estabilização do solo e a prevenção de deslizamentos de terra. Para os atingir é obrigatório limitar o escoamento superficial da água e dos fluxos sub-superficiais de infiltração. As técnicas de EN baseiam-se na construção de obras ligeiras e permeáveis, onde a

diferença entre a permeabilidade da obra e a do terreno envolvente é atenuada, permitindo conter o aumento das pressões hidráulicas no solo. As técnicas que usam barreiras impermeáveis, como as de betão têm um efeito contrário. Quando os fluxos superficiais são impedidos de fazer o seu curso, as águas concentram-se, resultando num aumento da sua força e conseqüentemente da sua capacidade erosiva. A acumulação de fluxos subterrâneos poderá desencadear, no solo, processos de separação de diferentes camadas de terreno e provocar deslizamentos.

As raízes das plantas usadas na EN entrelaçam, armam e estabilizam o terreno, favorecendo a sua porosidade e, com os exsudados radicais, a coesão das suas partículas, melhorando o ângulo de atrito interior. As raízes promovem também a infiltração profunda das águas sub-superficiais.

Nos últimos anos têm-se definido métodos para o cálculo das forças envolvidas na construção das obras de EN e determinado quais as suas dimensões máximas, por forma a assegurar o respeito pelos critérios de segurança [7, 9]. Um parâmetro importante para definir qual a técnica mais eficaz é o ângulo de declive da encosta a intervir. Outro elemento geométrico relevante é a dimensão máxima da intervenção, intimamente ligado à profundidade máxima atingida pelas raízes e às condições da coesão do terreno.

Nem sempre as técnicas de EN podem ser utilizadas. Estas resultam pouco eficazes quando se trata de deslizamentos em escarpas sub-verticais de rocha. Nestes casos, onde quase não há terreno para o desenvolvimento das raízes das plantas, estas funcionam como uma cunha, levando ao fracionamento das rochas e ampliando o risco de desabamento. Existem limites de altura máximos para as intervenções de EN, sobretudo no caso de escarpas com elevado declive, que poderão ser ultrapassados quando há a possibilidade de se fracionar a intervenção em socalcos, dividindo uma grande área de intervenção em diversas parcelas e aplicando as técnicas de EN em cada uma delas.

A penetração das raízes no terreno não é um fenómeno instantâneo. Por isso, quando se pretende um efeito estabilizador imediato, interessa, por um lado, facilitar a germinação das sementes e melhorar as características do terreno usando adubos e palha, e por outro, usar conjugadamente *materiais mortos* como: postes de madeira, ramos secos, pedras de mão, tecidos de fibra vegetal, e ainda, pregos, grampos e arame para os fixar e juntar. A produção industrial disponibilizou outros *materiais mortos* em material sintético, como tecidos, redes e grelhas, todos estes menos deterioráveis, mas também menos naturais.

Nas obras de EN realizadas no parque nacional do Vesúvio, Itália meridional, durante o período 1998-2000 [6], ao importar as técnicas alpinas para um ambiente mediterrâneo, verificou-se pouco viável o uso de estacas que era o material vivo de uso mais frequente na Europa. Este facto originou a necessidade de inovar e decidiu-se experimentar a utilização de plantas, colocando-as de acordo com os esquemas construtivos das estacas, enterradas sub-horizionalmente. A eficácia deste método permitiu que o uso de plantas, em detrimento de estacas, fosse posteriormente difundido para outras áreas da Itália central e meridional. Atualmente, em obras de encosta, longe dos rios e em clima mediterrânico, as estacas vivas são usadas sobretudo como complemento das plantas.

As técnicas desenvolvidas pela EN permitem, em curtos prazos e até em difíceis condições, instalar uma superfície coberta de vegetação. Esta capacidade permite destacar o papel estético de um revestimento verde, para além do desempenho estrutural da EN.

3 ENGENHARIA NATURAL: AS SUAS TÉCNICAS

Em 1790 José Diogo Mascarenhas Neto [3], descreve as técnicas para construir estradas quer nas planícies, quer nas áreas de montanha. Para a estruturação dos taludes o autor indica, como principal matéria-prima, as pedras grossas, mas *“quando o sitio não contem pedra, ou que esta não se consegue sem longo careto... se devem semear as grammas, ou qualquer outra hervas, das que enlação as raízes, pois com isto fazem mais duráveis os marachõens”*. Seguidamente debruça-se sobre os benefícios indiretos das árvores que ladeiam as estradas: *“Todos os confinantes das estradas devião ser obrigados a plantar arvores,.... as que de verão contém mais folha, e de inverno se conservão sem ella....”*, isto com o objetivo de, no verão, permitir a sombra e a retenção da poeira junto á estrada e, no inverno, *“ter sol para agasalhar os viajadores e ter enxuto o corpo da estrada”*.

Desde o século XVIII e mesmo antes, no tempo de Leonardo da Vinci, o uso das plantas com a função de fixar o terreno das encostas ou taludes, passou de intuição a método. É sobre essa metodologia agora vigente que se debruçarão os próximos subcapítulos, dando-se nota do *estado atual da arte*.

3.1 Revestimento superficial

O objetivo destas técnicas é o de constituir, com a parte aérea das plantas, uma proteção para as superfícies potencialmente expostas às forças erosivas do impacto das gotas de chuva (*splash erosion*) e das águas de escoamento superficial. Paralelamente, os sistemas radiculares reforçam a estrutura e a coesão dos estratos superficiais do solo. Nestes casos as plantas mais utilizadas são herbáceas, propagadas por semente, que permitem a instalação de uma cobertura de solo mais rápida e económica por oposição a uma cobertura de árvores ou arbustos.

As técnicas utilizadas derivam fundamentalmente da sementeira a lanço vulgarizada na agricultura, que é uma das práticas também em uso. Outras técnicas de sementeira, aplicáveis em situações mais difíceis, são reforçadas com outros materiais e métodos que promovem a melhoria das condições do solo e facilitam a germinação das sementes, ajudando-as a fixar-se em taludes íngremes, protegendo-as do arranque pelo vento e água e da predação de aves ou roedores. Schiechtl [5] descreve as técnicas de cobertura de taludes através da sementeira, da seguinte forma:

- sementeira a lanço;
- sementeira com sementes obtidas da secagem do feno;
- hidrossementeira;
- sementeira com cobertura de proteção;
- sistema SCHIECTLN®;
- sementeira com espuma;
- instalação de esteiras previamente semeadas, de materiais vegetais e reforçados com arame ou fibras plásticas.

Com as técnicas referidas consegue-se, no curto prazo, obter uma cobertura de plantas cujas raízes penetram no estrato superficial do terreno. O uso de algumas leguminosas pode permitir atingir uma profundidade de um metro.

A garantia de sucesso de uma sementeira prende-se com a escolha adequada da mistura de sementes a utilizar. Esta mistura que tem que ser adaptada às condições do solo e do lugar onde se pretendem implantar. Os taludes, resultantes de escavações ou os aterros ficam, em regra, despidos de vegetação. A primeira cobertura de plantas, originada pelas sementes que inicialmente colonizam estes solos, é uma primeira associação florística de espécies pioneiras. Esta evoluirá através da germinação de sementes originárias nas plantas da área circundante ou no *banco de sementes* armazenado no próprio terreno. Foi realizada uma obra de EN - um pequeno muro vivo de suporte - na Tapada de Ajuda em Lisboa, no ano de 2009, com o intuito demonstrativo e de experiência didática. Nesta obra semearam-se sete herbáceas e plantaram-se três espécies arbustivas. Após um ano foram identificadas quarenta espécies de plantas típicas do pousio existente nos terrenos em redor.

A hidrossementeira é uma técnica muito divulgada; uma mistura fluida contendo: sementes, fertilizantes, fibras, colantes e água, e por vezes terreno fino, é colocada num tanque sob pressão e é espalhada pelo solo com uma mangueira. De facto, concentra-se numa só operação a prática da uma sementeira com cobertura de proteção e da rega. A implementação desta técnica carece de maquinaria pesada, cujo transporte implica uma zorra, o que limita a sua aplicação em locais de pior acesso. O abastecimento e a capacidade do tanque onde é armazenada a mistura levam a que a sua utilização seja considerada, principalmente, para superfícies mais acessíveis.

A sementeira com cobertura de proteção - normalmente palha, é a solução mais frequente para superfícies mais pequenas e menos acessíveis. Nas figuras seguintes (fig. 1 e 2) dá-se dum exemplo deste tipo de técnica, utilizada na Tapada da Ajuda em Lisboa.



Fig.1. Sementeira com cobertura de proteção de palha (07/2012)



Fig.2. O mesmo local 3 meses depois (10/2012)

O sistema SCHIECTLN® é uma sementeira em que se aplica uma cobertura de proteção, que consiste em palha molhada com uma emulsão de água e betume, para favorecer a sua união ao solo em condições desfavoráveis de vento e declive.

As esteiras têm a função de estabelecer um revestimento imediato do terreno. Estas podem incorporar ou não sementes. Atualmente esta segunda modalidade é a mais difundida, permitindo adaptar a mistura de sementes às condições do solo e do lugar. As esteiras, usadas pela primeira vez nos EUA nos anos '60, tem sido objeto de extensa produção industrial que utiliza diferentes materiais, biológicos e/ou sintéticos, dispostos em camadas, podendo ter diferentes formatos. Presentemente existem diversas categorias comerciais [10] como: mantas de fibra vegetal, geo-esteiras, geo-redes, geo-feltros, geo-grelhas tridimensionais. As esteiras de material sintético podem ter uma espessura que lhes permita funcionar como suporte de uma camada de terreno, devendo para isso ser pregadas ao solo, favorecendo assim a viabilidade das sementes e o crescimento das plantas.

A colocação das esteiras, enquanto cobertura de proteção, poderá ser muito rápida e ser revestida de êxito, desde que realizada sobre superfícies sem sulcos ou outras irregularidades. Caso não exista contacto entre esteira e terreno, as águas podem escoar-se por baixo e continuar os processos erosivos; nestas condições de falta de aderência ao terreno, as plântulas, resultantes da germinação das sementes incorporadas na esteira, morrem pois não dispõem de terreno para enraizar.

Para obter resultados mais imediatos, para além das técnicas referidas, deve mencionar-se [5] o transplante de “tapetes” de relvado previamente cultivado. O solo onde se cultiva este tapete é, regra geral, rico em húmus e fertilizantes e o terreno onde se pretende intervir é, normalmente, edaficamente pobre; nestes casos, as raízes das plantas ficam no “tapete” e não penetram o novo terreno. O relvado apenas se mantém devido à existência de pregos usados na sua fixação. Quando este fenómeno ocorre e se está em presença de declives é fácil que pedaços do relvado se possam destacar e deslizar. Este tipo de material muito dispendioso aplica-se, na atualidade, em obras de âmbito urbano ou em obras com fins mais estéticos que estruturais, em que se procura um efeito imediato.

3.2 Estabilização superficial

As técnicas de estabilização superficial são resultado da evolução de práticas usadas em trabalhos florestais onde é instituído o uso de estacas vivas, ou destas em conjunto com plantas. As principais técnicas referidas [5] são:

- entrançados vivos;
- cordões vivos;
- faxinas vivas;
- faixas de vegetação.

Na EN as estacas vivas de salgueiro são o material de construção mais usado nas descrições da literatura consultada: de facto, os primeiros relatos e aplicações foram em ambiente alpino onde as estacas de salgueiro, mais que outras folhosas disponíveis localmente, tinham percentagens de enraizamento muito favoráveis e eram

de fácil manuseamento devido à sua flexibilidade. Nesta situação o transporte ou aquisição de outras plantas, onerando a obra, não se revelava de qualquer interesse.

Os entrançados são uma prática sobre a qual há das mais antigas descrições, como as citadas no “De Bello Gallico” de Júlio Cesar do I século d.C. [7]. Trata-se da colocação, em curva de nível, de uma linha de paus enterrados verticalmente. Ao longo dessa linha enterram-se também estacas, finas e longas, de vime cujas partes aéreas se entrelaçam horizontalmente nos paus. Esta estrutura de vimes entrelaçados nos paus, cria uma barreira com cerca de 20-30 cm de altura ao longo da linha de cota de modo de reter eventuais pequenos movimentos de terra.

Nesta técnica o contacto dos vimes, com o terreno é muito limitada, o que leva a uma diminuta capacidade de emissão radicular e a eventualidade do vime secar antes de enraizar. Se, com muita brevidade, não se acumula terreno atrás do entrançado, este perde parte do efeito protetor sobre o escoamento superficial da água, sendo facilmente atravessado por esta.

Os cordões vivos constroem-se com estacas vivas e plantas colocadas numa banquetta escavada no declive. As estacas vivas e as plantas são colocadas sobre uma estrutura de troncos de madeira e ramos mortos. A banquetta é posteriormente coberta com o aterro da banquetta superior. Esta técnica, também uma das mais antigas, é de execução muito dispendiosa. Ela surge como uma adaptação da usada nos trabalhos de reflorestação das encostas secas da Europa mediterrânea. Um exemplo destes trabalhos são os desenvolvidos nas encostas cobertas de cinzas vulcânicas depois da erupção do Vesúvio do 1906 [11]. Mais recentemente é referenciada por Florineth [9] uma variante, mais económica e eficaz, com o mesmo nome, “cordões vivos”. Esta técnica coloca um poste de madeira, em curva de nível, pregado à encosta com varas de aço, atrás do qual se escava, uma pequena banquetta, na qual se dispõem estacas vivas que são posteriormente cobertas com o aterro da banquetta superior.

Faxinas vivas é o nome de uma técnica eficaz que usa os ramos do salgueiro unidos em feixes. Estes são inseridos em sulcos escavados no terreno, profundos quanto a espessura do feixe, depois completamente cobertos de terra. Nesta técnica, descrita pela primeira vez em 1936, o contacto dos ramos com o terreno faz-se ao longo de todo o seu comprimento, facilitando o enraizamento e permitindo um maior taxa de pegamento das estacas. Os feixes colocados no terreno têm ainda um efeito de dreno e os novos rebentos têm a função de reter os eventuais movimentos do terreno. Para a execução desta técnica, é necessário uma grande quantidade de ramos de salgueiro longos e flexíveis, o que nem sempre é fácil de obter. Em circunstâncias de falta de material vivo e sendo difícil que o terreno disponível envolva a totalidade do interior do feixe não permitindo o enraizamento dos vimes mais internos, utiliza-se no núcleo do feixe ramos mortos.

Faixas de vegetação é o nome da técnica mais eficaz e eficiente de estabilização superficial. A sua construção faz-se escavando socalcos na encosta, ao longo das curvas de nível, onde se enterram estacas vivas e/ou plantas, de árvores e arbustos, colocadas horizontalmente e cobertas de terra em dois terços da extensão do seu caule, normalmente entre setenta centímetros e um metro. As espécies de plantas usadas deverão ser capazes de emitir raízes adventícias ao longo do caule enterrado. Esta técnica tem um efeito estabilizador mais imediato, pois utiliza a função estrutural do caule/estaca enterrada e adiciona-lhe o efeito agregador das raízes basais e adventícias. Na descrição desta técnica, Schiechl [5] define pela primeira vez os princípios e os efeitos da instalação de plantas horizontalmente e com o caule enterrado, diversa das habituais práticas florestais de plantação.

3.3 Consolidação, obras de suporte

Quando a profundidade do terreno a consolidar atinge os dois metros (limite para além do qual se assume que as raízes não conseguem estruturar o terreno) e necessita de obras de suporte, as plantas/estacas são usadas em simultâneo com materiais mortos que apresentam em si capacidade de consolidação estática.

Podem ser usados como materiais mortos: postes de madeira, pedras de grande dimensão para a realização de enrocamentos vivos, ou pedras de mão encaixadas em cestos de rede metálica em forma paralelepípedica, vigas de betão pré-moldado, redes metálicas em conjunto com mantas vegetais ou geo-tecidos sintéticos. O uso de postes de madeira deve ter em conta que a sua função de estrutura tem uma determinada vida útil, variável de acordo com o tipo de lenho. Monitorizações de antigas obras permitem avançar com um valor de dez anos para pinho e trinta para castanho. No decorrer deste tempo estas estruturas de madeira serão substituídas pelas raízes de árvores e arbustos. De seguida referenciam-se estas técnicas, bem como o ano da sua primeira aplicação, referido pela literatura [5]:

- enrocamento vivo, 1934;
- muro vivo de suporte com postes de madeira, 1934;
- grade viva; 1956.
- muro vivo de suporte com vigas de betão armado pré-moldado, 1960;
- gabiões combinados com estacas, 1965;

Em 1966 o francês Vidal mencionou uma nova técnica chamada “terra armada” [12], que foi posteriormente alterada para “terra reforçada”, quando se introduziu o uso de estacas no revestimento da escarpa [10]. As obras realizadas com recurso a estas técnicas comportam-se e são semelhantes às de um muro de gravidade, com todas as suas características. No caso do uso de pedras, vigas de betão armado, redes metálicas e geo-tecidos sintéticos, serão estes a caracterizar a obra e a sua durabilidade, deixando ao terreno uma função de inerte e às plantas um papel estético. Contrariamente ao uso de postes de madeira que, expostos à deterioração natural deixam às raízes das plantas a verdadeira função estrutural. Estas técnicas têm muitas variantes, ligadas sobretudo às estratégias comerciais dos produtores dos materiais a usar em conjunto com as plantas. São várias as alternativas que surgem minimizando o uso da madeira e as que procuram soluções para casos específicos.

Nas áreas de clima mediterrânico o stresse climático, nomeadamente o estio, pode ser prolongado e pode afetar a velocidade de crescimento de árvores e arbustos. Neste clima e no caso de encostas secas é preferível o recurso a técnicas de consolidação, em detrimento das de estabilização superficial, nomeadamente aquelas que usam postes de madeira, que é um material menos pesado relativamente a outros. As obras podem ser complementadas posteriormente com um revestimento superficial. As figuras aqui apresentadas (fig. 3, 4, 5, 6, 7 e 8) evidenciam uma obra onde se agrega a técnica da grade viva com a do muro vivo de suporte, realizada em solo de cinzas de piroclastos vulcânicos no parque nacional do Vesúvio. Esta sequência representa a obra desde o início da sua realização, em maio 2004, até um ano depois, maio de 2005.



Fig.3. 1ª Fase: Construção de muro vivo, maio 2004



Fig.4. 2ª Fase: Construção de grade viva, maio 2004



Fig.5. Vista geral da estrutura de postes de madeira, junho 2004



Fig.6. Resultado em novembro 2004



Fig.7. Resultado em março 2005



Fig.8. Resultado em maio 2005

3.4 Drenagem superficial

As obras de drenagem superficial e subterrânea complementam sempre as obras de estabilização e de consolidação das encostas ou vertentes instáveis.

As plantas, com a sua função de evapotranspiração facilitam a absorção da água do terreno, salientando-se algumas espécies ribeirinhas que podem ser usadas como autênticas “bombas de drenagem” vivas para diminuir a presença de água no subsolo. É, no entanto, importante referir que a presença de plantas, só por si, pode não ser suficiente.

Normalmente os drenos superficiais são realizados com elementos de betão pré-moldados, mas numa encosta onde seja difícil a construção de banquetas e de valetas, poderão ser instaladas as faxinas vivas com função de dreno. Estas devem ser enterradas abaixo da linha de superfície da encosta e colocadas segundo a direção do máximo declive, por forma a permitir o escoamento das águas quer através dos próprios feixes, quer através de um tubo de drenagem colocado sob a faxina e assente em brita, quando o feixe não tem efeito drenante suficiente.

Outra possibilidade oferecida pela EN é a construção de valetas vivas. Nestes casos a vala de drenagem é “ferrada” com estacas vivas, que possam enraizar, e o fundo é constituído por pedras de mão assentes no solo. Estas pedras devem ser colocadas com a parte mais bicuda para o exterior, se estiver em causa a necessidade de dissipação da energia cinética da corrente de água. A energia da água pode ser ainda mais dissipada dispondo transversalmente, na valeta, rolos de pedras de mão envolvidos em rede metálica.

4 ENGENHARIA NATURAL: SUA APLICAÇÃO NAS ESTRADAS DA EUROPA MEDITERRÂNICA

O envolvimento inicial da EN nos trabalhos de construções de estradas, para a estabilização e consolidação de taludes, dá-se, sobretudo, pelo facto de ser uma técnica muito económica e pela capacidade de atenuar significativamente os efeitos devido à erosão em solos nus. Hoje, para além destas características, é muito relevante o seu papel na mitigação dos impactes ambientais e na acentuada incorporação de mão-de-obra, questão não desprezável na sociedade atual com elevadas taxas de desemprego.

Por vezes, os elementos arquitetónicos de uma estrada são obras que se destacam positivamente na perceção da paisagem, outras vezes, é importante mitigar os seus impactos, recuperando a natureza dos lugares.

Os taludes escavados nas encostas (fig. 9, 10) e os aterros, ambos sujeitos à erosão, podem ser reparados, evitando os fenómenos de erosão e deslizamentos de terra e obstando a que se apresentem como uma “ferida na paisagem”.



Fig.9. Talude, A21, nó da Malveira (07/2012)



Fig.10. Talude, detalhe, A21, nó da Malveira (07/2012)

Com as técnicas de EN pode-se criar um “manto” verde que cubra e ajude a fixar os solos dos taludes junto das entradas dos tuneis e à volta das pontes e viadutos.

Finalizada a obra pode-se recuperar e reutilizar como áreas de recreio e lazer as zonas de estaleiros, os percursos de circulação, os depósitos de inertes e as pedreiras. Nos locais onde existe passagem de animais selvagens e é necessário construir acessos entre os dois lados da estrada, pode-se disfarçar a artificialidade dessas construções recorrendo à engenharia natural.

Pode-se favorecer a capacidade de absorção da água de escorrência nas valetas construindo pequenos canais, utilizando plantas e pedras de mão e “forrando” o fundo dessas valas, ajudando também à retenção de grande parte dos elementos poluentes antes de os enviar para os coletores. É ainda possível a utilização da EN para desviar o curso das linhas de água, construindo canais que assumirão, no curto prazo, um aspeto natural.

Arbustos e árvores a ladear as estradas têm o efeito de absorção e redução de ruídos e poeiras. As técnicas de EN podem ser utilizadas para criar uma barreira anti ruído e poeira através da utilização de arbustos e terra.

Definidas as técnicas falta a escolher as espécies. Para evitar impactos ambientais indesejáveis deve-se evitar as espécies exóticas. De facto muitas delas têm demonstrado um comportamento invasivo. Caso típico desta situação, referido por Moreira da Silva [13] é o caso das mimosas usadas nos taludes das estradas do parque nacional da Peneda Gerês. O leque de espécies autóctones, árvores e arbustos da flora portuguesa, testado [8] e considerado adequado à EN, é muito limitado e refere-se sobretudo a plantas ribeirinhas. Com o objetivo de alargar as alternativas de escolha e de permitir intervenções em locais mais secos, estão atualmente em curso ensaios sobre o enraizamento adventício de *Fraxinus angustifolia* Vahl., *Sambucus nigra* L., *Rosmarinus officinalis* L., *Viburnum tinus* L., em parcelas de amostragem localizadas em Santo Tirso e Lisboa, em solos de origem basáltica, calcária, granítica e xistosa. Outros ensaios sobre a capacidade de enraizamentos de estacas de *Daphne gnidium* L., *Dittrichia viscosa* (L.) Greuter, *Phillyrea angustifolia* L., *Coronilla glauca* L., *Myrtus communis* L., decorem em Lisboa. Os resultados observados até ao momento são interessantes [14]. Na figura 11 pode-se ver um muro vivo de suporte realizado na Tapada da Ajuda em outubro 2012 utilizando as espécies acima referidas.



Fig.11. Muro vivo de suporte, Tapada da Ajuda (10/2012)

5 CONCLUSÕES

O conjunto de técnicas que se agregam na disciplina da EN oferecem a possibilidade de resolver questões geotécnicas, enquadrando os seus problemas através de uma abordagem que privilegia os processos naturais e encontrando soluções de reabilitação de encostas e taludes que resultam de escavações e/ou construções. As diferentes técnicas de EN integram-se e complementam-se, sendo capazes de resolver situações simples e complexas, aplicando-se em áreas pequenas ou mais amplas. A EN, contrariando algumas ideias já adquiridas, é mais do que uma hidrossementeira e pode produzir muito mais do que um relvado.

A EN intervindo na fixação de solos declivosos e despídos de vegetação, na prevenção dos deslizamentos de terras e na recuperação de áreas ardidas, fomenta a biodiversidade. O processo evolutivo inerente à EN que aproveita o potencial das espécies pioneiras, permite que rapidamente o ecossistema instalado atinga estabilidade e resiliência.

A EN usa as energias já disponíveis na natureza, acumuladas nas sementes e nos gomos caulinares e não precisa de outros processos de transformação.

A EN é uma disciplina versátil. As suas técnicas adaptam-se aos lugares onde se aplicam e, através do tempo, evoluíram para soluções cada vez mais eficazes e económicas, por isso mais eficientes, sempre incorporando os processos naturais nos seus princípios. De facto, a EN usufrui da relação simbiótica entre a planta e o solo, tendo em conta que as plantas precisam de terreno para nascer e desenvolver e que o solo beneficia não só com a presença de raízes e das substâncias químicas que elas emitem, bem como com a degradação da folhada que incrementa o húmus e ainda com parte aérea das plantas que o protegem da erosão.

A aplicação, em larga escala, da EN em Portugal é uma oportunidade que não se pode desperdiçar, particularmente no tratamento de instabilidades geotécnicas e na reabilitação de “feridas” abertas na paisagem. Para isto contribui a disponibilidade de novos dados sobre as espécies da flora autóctone portuguesa e os bons resultados obtidos em regiões de clima mediterrânico.

REFERÊNCIAS

1. U. Schlueter, Zur Geschichte der Ingenieurbioogie, *Landshaft und Stadt*, 16(1/2) 2-9, 1984.
2. B.C. Cincinnato da Costa, D. Luiz de Castro, *Le Portugal au point de vue agricole*, Imprimerie Nationale, Lisbonne, 1900.
3. J. D. Mascarenhas Neto, *Methodo para construir as estradas em Portugal, dedicado ao Senhor Dom João Príncipe do Brasil*, Junta Autónoma de Estradas, Lisboa, 1985.
4. J. Benyus, *Biomimicry, Innovation Inspired by Nature*, HarperCollins, New York, 1997.
5. H. Schiechl, *Bioingegneria forestale – basi - materiali da costruzione vivi – metodi*, Edizioni Castaldi, Feltre, 1985.
6. C. Bifulco (Ed.), *Interventi di ingegneria naturalistica nel Parco Nazionale del Vesuvio*, Ente Parco Nazionale del Vesuvio, San Sebastiano al Vesuvio, 2001.
7. G. Sauli, P. Cornellini, F. Preti, *Manuale di Ingegneria Naturalistica – Vol. 3 Versanti*, Regione Lazio, Roma, 2006.
8. C. Bifulco, F. Rego, Raízes adventícias ao longo do caule das plantas para a consolidação dos taludes, *Soil Bioengineering and Land Management New Challenges*, APENA, 28.2.C.1.4, Cascais, 19-22 September 2012 (em publicação).
9. F. Florineth, *Piante al posto del cemento, manuale di ingegneria naturalistica e verde tecnico*, Il verde editoriale, Milano, 2007.
10. D. Ligato, T. Marasciulo, F. Pascarella, M. Guerra, *Atlante delle opere di sistemazione dei versanti*, APAT, Roma, 2002.
11. P. Lacava, *La sistemazione idraulica forestale dei monti Somma e Vesuvio dal 1° luglio 1906 al 30 giugno 1913*, Tip. Meridionale G.Turi, Napoli 1914.

12. F. Schlosser, H. Vidal, La terre armée, *Bull. Liaison Labo. Routiers P. et Ch.* (41/1969) 101-144, 1969.
13. I. Moreira da Silva, Combate à Mimosa, Acácia dealbata Link, no Parque Nacional da Peneda Gerês, *II Congresso de Áreas Protegidas*, SNPRCN, pp. 285-296, Lisboa, Dezembro 1989.
14. F. Chagas Correia, C. Bifulco, Utilização de estacas de espécies xerófilas da flora continental portuguesa em obras de engenharia natural, *Soil Bioengineering and Land Management New Challenges*, APENA, 50.2.C.3.41, Cascais, 19-22 September 2012 (em publicação).