

Rita dos Santos Sousa<sup>1</sup>; Charles Rodrigo Belmonte Maffra<sup>2</sup>; Júnior Joel Dewes<sup>3</sup>; Rinaldo José Barbosa Pinheiro<sup>4</sup>; Fabrício Jaques Sutili<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,5</sup>Universidade Federal de Santa Maria; <sup>4</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## Engenharia natural: o uso e avaliação de plantas de uma perspectiva de engenharia

### Soil bioengineering: the use and evaluation of plants from an engineering perspective

**Resumo.** O objetivo deste estudo foi abordar e discutir conceitualmente como as plantas devem/podem ser tratadas e manejadas da mesma maneira que os materiais de construção tradicionais de engenharia quando usadas para reforçar os solos e estabilizar taludes em trabalhos de infraestrutura (por exemplo em taludes de reservatórios de barragens, rodovias, ferrovias, cavas de mineração, linhas de transmissão e em parques eólicos). Embora úteis para obras de infraestrutura, o uso de plantas como elementos estruturais em técnicas de Engenharia Natural ainda são uma fonte de incertezas e desconfiança, pois não há consenso sobre como medir o desempenho desses elementos vivos de comportamento dinâmico e errático. Nesse contexto, é possível indicar que as plantas têm características morfológicas e mecânicas intrínsecas que podem ser tratadas tecnicamente de maneira semelhante ao realizado com materiais de construção usados em Engenharia Civil. Uma vez adotadas essas ações, a Engenharia Natural tende a ganhar mais confiança nos trabalhos de infraestrutura, pois os efeitos das plantas no reforço dos solos e na estabilização de encostas podem passar a ser considerados não apenas qualitativamente (aspectos estéticos), mas também quantitativamente (taxa de crescimento, taxa de reforço do solo, rugosidade e flexibilidade do material). **Palavras-chave:** Estabilização de taludes, Propriedades dos materiais, Restauração ecológica, Funções técnicas das plantas, Propriedades biotécnicas.

**Abstract.** The aim of this study was to conceptually approach and discuss how plants should/can be treated and managed in the same way as traditional construction materials when used to reinforce the soil and stabilize slopes in infrastructure works (e.g. slopes in dam reservoirs, highways, railways, mining pits, transmission lines and wind towers). Although useful for infrastructure works, the use of plants as structural elements in soil bioengineering techniques is still a source of uncertainty and distrust, as there is no consensus on how to measure the performance of these dynamic and erratic living elements. In such a context, it is possible to indicate that plants have inherent morphological and mechanical characteristics that can be technically treated similarly to traditional construction materials used in civil engineering. Once such actions are adopted, soil bioengineering tend to gain more confidence in infrastructure works, as the effects of plants on soil reinforcement and slope stabilization can be considered not only qualitatively (aesthetic aspects) but also quantitatively (growth rate, soil reinforcement rate, roughness and flexibility). **Keywords:** Slope stabilization, Ecological restoration, Plants technical functions, Material properties, Biotechnical properties.

### Introdução

A Engenharia Natural é uma área da Engenharia Civil que cumpre com objetivos técnicos, ecológicos, criativos, construtivos e econômicos, principalmente fazendo uso de materiais de construção vivos, tais como sementes, plantas, partes de plantas e comunidades de plantas. A Engenharia Natural pode ser usada como uma substituta, mas principalmente como um complemento útil, e por vezes necessário, aos métodos construtivos clássicos de engenharia (SCHIECHTL, 1980).

A Engenharia Natural é uma disciplina transversal que usa informação, conhecimento e tecnologia de várias disciplinas para realizar intervenções em que a combinação das ações da

vegetação com outros materiais naturais ou artificiais tem objetivos anti-erosivos, de estabilização e consolidação (SAULI et al. 2003).

Conforme Kangas (2004), a base da Engenharia Natural, sob uma perspectiva filosófica e técnica, é a compreensão da interface entre hidrologia, geomorfologia e ecologia.

As técnicas de Engenharia Natural promovem o uso de materiais naturais obtidos nos locais de intervenção (por exemplo plantas, solo, madeira, etc.), o que geralmente leva a soluções de melhor custo-benefício que os trabalhos tradicionais de engenharia (FERNANDES e FREITAS, 2011). Devido ao uso de plantas, essas técnicas exibem características como capacidade de deformabilidade, resiliência e regeneração das peças danificadas, algo que não é observado em estruturas tradicionais construídas usando apenas materiais inertes.

O uso de plantas na Engenharia Natural, característica distintiva dessa disciplina em relação à engenharia tradicional, é primordial, pois são consideradas não apenas do ponto de vista ecológico e estético, mas também do funcional e técnico, ou seja, as plantas são utilizadas como materiais vivos de construção. Esse recurso é muito importante e distingue a Engenharia Natural das disciplinas tradicionais que dependem apenas do uso de materiais inertes ou consideram as plantas apenas do ponto de vista da paisagem ou da restauração ecológica (SAULI e CORNELINI, 2005).

O uso de plantas com potencial biotécnico em intervenções de Engenharia Natural, além da vantagem de garantir a proteção da superfície e a estabilização estrutural dos solos, auxilia a desenvolver um ecossistema em equilíbrio dinâmico (MORGAN e RICKSON, 1995).

Do ponto de vista da Engenharia, as plantas e suas características morfológicas de sistemas radiculares e copas desempenham funções técnicas hidrológicas e mecânicas que têm a capacidade de modificar as propriedades de engenharia do solo. Os materiais de construção vivos não diferem tecnicamente de outros materiais de engenharia tradicionais e devem ser escolhidos de acordo com os objetivos a serem alcançados pela intervenção (GRAY e SOTIR, 1996).

Diante do contexto trazido a luz, o reconhecimento das funções técnicas e das propriedades biotécnicas da vegetação autóctone útil à Engenharia Natural é essencial para o desenvolvimento dessa disciplina aos moldes do que atualmente é realizado como protocolo no dia a dia de obras em diversas áreas Engenharia.

O objetivo deste estudo foi abordar conceitualmente e discutir como as plantas devem/podem ser tratadas e gerenciadas da mesma maneira que os materiais de construção tradicionais, quando usados para reforçar o solo e estabilizar encostas em obras de infraestrutura.

### **Requisitos construtivos de materiais em obras de engenharia**

Exigências são feitas para garantir o desempenho dos materiais e sistemas construtivos utilizados nas obras de engenharia. Assim, para que os materiais de construção sejam escolhidos para uso em uma obra, suas propriedades devem ser conhecidas e, para que um sistema seja selecionado como solução construtiva, seu comportamento diante de toda carga e tensão deve ser conhecido. Esses fatores são especialmente importantes quando se refere a obras de infraestrutura, como o caso de processos de erosão e perda de estabilidade em pistas de

estradas, oleodutos, ferrovias, margens de rios, encostas de barragens, entre outros. Isso se deve ao fato de que os projetos de infraestrutura têm mais responsabilidade técnica, maiores riscos associados e devem responder a um conjunto de requisitos legais de maiores consequências de natureza técnica, econômica e ambiental. Dado isso, deve haver um maior conhecimento das características dos materiais de construção e de como eles se comportam no sistema construtivo adotado.

Na Engenharia Natural, é importante analisar as plantas do ponto de vista dos materiais de construção, comparando-se com a forma como as técnicas tradicionais de engenharia civil tratam os materiais de construção, desde a sua caracterização, especificações técnicas, controle de qualidade e avaliação de desempenho.

Um paralelo pode ser estabelecido entre as características dos materiais de construção inertes tradicionais e os materiais de construção vivos (plantas), uma vez que os requisitos técnicos para aplicação em projetos de infraestrutura são equivalentes (Figura 1). As propriedades morfológicas e mecânicas inerentes às plantas estão para as propriedades biotécnicas, como materiais de construção tradicionais (peso específico, módulo de elasticidade etc.) estão para as propriedades de engenharia (resistência, rigidez etc.) (SUTILI e GAVASSONI, 2017).

Material Vivo	Propriedades Morfo-Mecânicas	Propriedade Biotécnica	Aplicação na Estabilização de Solos
	<p>Arquitetura, profundidade e resistência à tração do sistema radicular, flexibilidade, etc.</p>		
Material Inerte	Propriedades do Material	Propriedade de Engenharia	Aplicação na Estabilização de Solos
	<p>Módulo de elasticidade, resistência à tração, tenacidade, etc.</p>		

Figura 1 - Relação entre as propriedades de materiais de construção vivos e inertes. Fonte: Sousa, 2015.

Um material inerte e fabricado como o aço pode ter uma baixa quantidade de carbono que lhe confere altas propriedades de tenacidade (a capacidade que um material possui de absorver energia mecânica, nos campos plástico e elástico) e alta ductilidade (propriedade do material que sofre deformação permanente sem quebrar) propriedades que dão ao material uma melhor capacidade de tolerar deformação, mas baixa resistência e dureza. Um material vivo e não fabricado, como é o caso, por exemplo, de estacas de plantas, pode ter muitas fibras gelatinosas em sua madeira, o que lhe confere propriedades como flexibilidade e capacidade de tolerar deformações (SUTILI et al., 2012).

Enquanto a Engenharia Civil busca e/ou fabrica materiais inertes com características que resultam em propriedades de engenharia adequadas para os requisitos de construção do projeto, na Engenharia Natural, deve-se buscar na natureza materiais vivos que possuam características morfológicas e mecânicas que resultem em propriedades biotecnológicas ajustadas aos requisitos de construção (SOUSA, 2015).

### **Propriedades biotécnicas**

Considerando as plantas do ponto de vista da Engenharia, é possível estabelecer uma relação direta de suas propriedades morfo-mecânicas com suas funções técnicas (hidrológicas e mecânicas), funções adicionais (ecológico-ambiental, estética e socioeconômica) e efeitos sobre as propriedades de engenharia do solo.

As funções técnicas podem ser hidrológicas e mecânicas (COPPIN e RICHARDS, 2007; MORGAN e RICKSON, 1995; SCHWARZ et al. 2010). Do ponto de vista hidrológico, as plantas modificam o equilíbrio e a distribuição da água na hidrosfera (água superficial e subterrânea) e na atmosfera (água atmosférica). Mecanicamente, as plantas recebem, absorvem, transferem e descarregam tensões provenientes de tensões externas (MORGAN e RICKSON, 1995). Os agentes que causam essas tensões podem ser ação humana, gravidade, temperatura, vento e água.

As plantas apresentam as funções hidrológicas de interceptação, infiltração, evapotranspiração e drenagem, além de funções mecânicas para estruturar, absorver e transferir tensões. É importante ressaltar que as tarefas técnicas das plantas estão todas interconectadas, algumas ocorrem simultaneamente e dificilmente será encontrada uma função isolada. Ou seja, uma planta que apresenta funções do ponto de vista hidrológico também fornece funções mecânicas. Isso se deve ao fato de as características técnicas das plantas serem causadas por várias características morfológicas (arquitetura da coroa ou sistema radicular) ou propriedades mecânicas (flexibilidade ou resistência à tração das raízes) que resultam em um grupo de ações que operam em conjunção, uma vez que essas características morfo-mecânicas não são dissociadas.

As funções técnicas das plantas têm efeitos nas propriedades de engenharia dos solos, isto é, na resistência do solo. As funções técnicas também podem atuar e ter efeito no estresse ativo no solo, o que sucessivamente leva indiretamente a uma maior estabilidade ou instabilidade. Com base nessa premissa, determina-se que os efeitos técnicos positivos da planta são o aumento da resistência do solo e a redução do estresse. Os efeitos nas propriedades de engenharia do solo são o resultado de um processo hidrológico e/ou mecânico que influencia a resistência ou o estresse do solo.

Com base nesses conceitos, a propriedade biotécnica pode ser definida como uma propriedade dos materiais de construção vivos, que por características morfo-mecânicas inerentes às plantas desempenham uma função técnica (hidrológica ou mecânica), que tem efeitos positivos nas propriedades de engenharia do solo (SOUSA e SUTILI, 2017).

As plantas também têm funções adicionais resultantes de suas características morfo-mecânicas, e que podem ser ecológico-ambientais, estéticas ou socioeconômicas. Essas características, apesar de desempenharem um papel secundário no ponto de vista da engenharia tradicional, são vantagens importantes resultantes do uso das técnicas de Engenharia Natural para controle de processos erosivos e estabilização de taludes. A escolha adequada das plantas como materiais de construção, em uma intervenção de Engenharia Natural, deve seguir um conjunto de requisitos, uma vez que as plantas precisam de condições adequadas para seu desenvolvimento (SUTILI et al., 2018). Esses requisitos são determinados pelas formas de uso das plantas, detalhes específicos da solução construtiva e local de aplicação. O cumprimento desses requisitos resulta na implementação bem-sucedida da vegetação em uma construção.

Com base nas explicações realizadas nesta seção, um fluxograma que representa a correlação entre as propriedades das plantas de maneira simplificada pode ser preparado, como mostra a Figura 2.

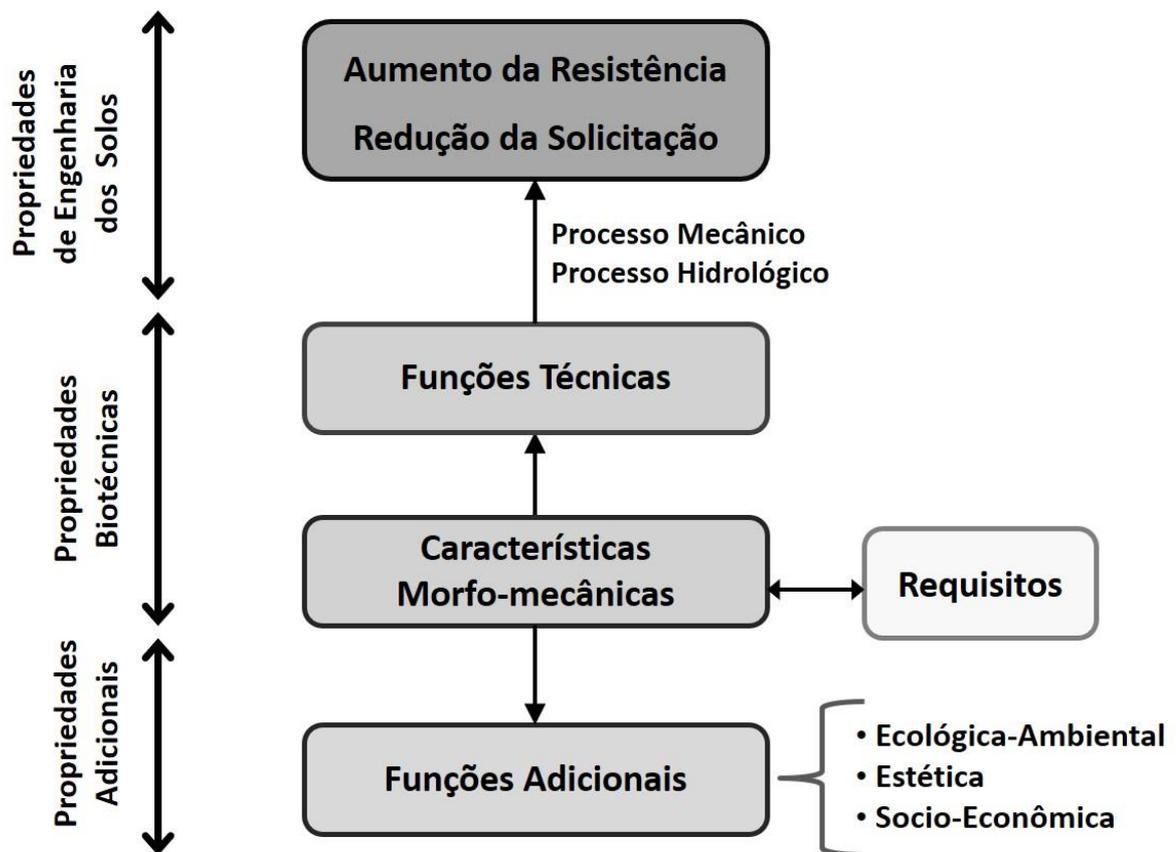


Figura 2 - Correlação entre as propriedades das plantas e as funções da Engenharia Natural.

## Seleção e avaliação de materiais de construção

Segundo Carvalho (2009), em relação às necessidades do engenheiro, e em relação à escolha de materiais de construção inertes, os seguintes critérios devem ser atendidos: escolher o material mais adequado para a realização de um determinado tipo de construção, levando em consideração segurança, economia e durabilidade; e como pré-requisito de escolha, conhecer suas propriedades, sozinhas ou associadas, que exigirão testes de laboratório. O mesmo autor também afirma que os materiais de construção devem atender a um conjunto de condições para uma determinada obra. Essas condições podem ser técnicas, econômicas e estéticas, uma vez que cada condição deve atender a um conjunto de requisitos. Em relação às condições técnicas, os materiais de construção devem atender aos seguintes requisitos de qualidade: resistência, durabilidade, trabalhabilidade e higiene (proteção à saúde). As condições econômicas estão diretamente ligadas a requisitos que consideram custos de fabricação, transporte, aplicação e conservação de materiais. As condições estéticas estão relacionadas à aparência geral dos materiais, por exemplo, cor ou forma.

Assim, um material de construção, inerte ou vivo, que não atenda aos requisitos técnicos como durabilidade ou resistência, pode ter um custo baixo, mas não será viável para uma construção, pois não atende a todas as condições. Ou seja, um material só pode ser considerado satisfatório para o trabalho de engenharia se cumprir todas as condições, refletindo um equilíbrio entre todos os requisitos. Mudanças em qualquer um dos requisitos, por mais ou por menos, trarão efeitos negativos, seja nas condições técnicas, econômicas ou estéticas.

A elaboração de especificações técnicas também é muito importante para os materiais de construção, pois estabelecem normas gerais e específicas, planejadas para determinar as características, condições ou requisitos aplicáveis aos elementos de construção de um projeto, consistindo em uma indicação detalhada das propriedades que os materiais devem apresentar, bem como a técnica empregada na construção (CARVALHO, 2009; TISAKA, 2011).

Como o desenvolvimento da vegetação em uma intervenção depende das condições ambientais, ecológicas, do solo e do clima, é essencial o desenvolvimento de uma especificação técnica apropriada (SUTILI e GAVASSONI, 2017; MAFFRA et al., 2017), pois definirá as características, requisitos e condições para o uso dos materiais de construção vivos.

A existência de especificações técnicas claras também possibilita avaliar a conformidade dos produtos e o controle de qualidade dos produtos especificados na fase de projeto. A qualidade dos materiais de construção tradicionais pode ser controlada desde o estágio de sua produção até o recebimento, armazenamento e aplicação na construção. As mesmas indicações para controle de qualidade devem ser seguidas para materiais vivos. Embora os materiais vivos não sejam fabricados pela indústria de maneira padronizada, sua coleta e preparação devem seguir regras claramente definidas para não comprometer sua viabilidade técnica. Na construção, o processo de recebimento deve seguir critérios de aceitação ou rejeição para garantir que os materiais entregues atendam aos requisitos especificados e o estoque deve seguir as diretrizes de armazenamento. Na fase de implementação da construção, os critérios de manuseio adequados devem ser seguidos de acordo com as características do material. Em relação aos materiais vivos, o manuseio correto é essencial para não comprometer a viabilidade do material vegetal e, conseqüentemente, o sucesso da intervenção, que depende principalmente do bom enraizamento e desenvolvimento da planta (EUBANKS e MEADOWS, 2002).

A avaliação de desempenho é parte integrante da análise de comportamento de um material de construção durante seu processamento, a fim de avaliar se o produto atende a seus requisitos de desempenho. A avaliação de desempenho também verifica se o material tem uma durabilidade compatível com a vida útil da construção, bem como o grau de deterioração ao longo do tempo. Para isso, é importante contar com o monitoramento das intervenções realizadas, especialmente quando estas são utilizadas como complementos a obras de infraestrutura. O monitoramento pode ser definido como a sequência de observações e medições sistemáticas registradas acompanhadas de avaliação (NERY, 2013). O monitoramento estrutural é importante para avaliar o comportamento dos materiais de construção sujeitos a tensões e, de acordo com Nery (2013), consiste em observar e medir parâmetros relativos à condição e desempenho da estrutura, a fim de fornecer a situação em que a estrutura é encontrada. De maneira precisa e ágil, e pode ser considerada uma ferramenta para aumentar a segurança, a durabilidade e a otimização da manutenção estrutural.

Procedimentos semelhantes devem ser seguidos para a avaliação do desempenho do comportamento de materiais de construção vivos, durante sua produção e preparação, bem como em termos de desempenho nas obras. Enquanto no caso de materiais inertes, esse desempenho é avaliado por sensores, no caso das plantas, deve ser feito pela coleta e medições de parâmetros das espécies utilizadas em uma intervenção, como mortalidade e taxa de sobrevivência, saúde (alterações fisiológicas causadas por pragas, água ou deficiência nutricional) e desenvolvimento da copa da planta (altura, ramificações, brotos, etc.).

### **Comparação entre materiais de construção tradicionais e vivos**

Os materiais de construção vivos comparados aos inertes podem ter vantagens e desvantagens (Quadro 1), destacando, por exemplo, vantagens como eficiência técnica a longo prazo, maior funcionalidade e capacidade regenerativa (FERNANDES and FREITAS, 2011; LEWIS, 2000; MENEGAZZI and PALMERI, 2013; VENTI et al., 2003). Com relação aos materiais de construção inertes, estes não dependem das características climáticas e do solo do local e sua aplicação não se limita ao período do ano (GRAY and SOTIR, 1996).

Uma obra que utiliza apenas materiais vivos não pode atender a todos os requisitos de estabilização e segurança exigidos. Por outro lado, uma obra que utiliza apenas materiais inertes tende a perder sua eficiência ao longo do tempo devido a processos de corrosão e degradação, pois esse tipo de material não tem capacidade de regeneração ou resiliência.

### **Eficiência técnica de intervenções tradicionais e de Engenharia Natural**

A eficiência técnica de uma obra de engenharia é muito importante para avaliar o desempenho e o sucesso de uma intervenção ao longo do tempo e está diretamente relacionada ao tipo de material de construção especificado para a obra. Uma intervenção de tamanho adequado, consistindo apenas de materiais de construção inertes, pode fornecer eficiência técnica imediata para resolver um problema específico, enquanto os materiais de construção vivos levam mais tempo para atingir a eficiência técnica (COPPIN e RICHARDS, 2007; GRAY e SOTIR, 1996). No entanto, a longo prazo, os materiais vivos não são afetados pela degradação e são capazes de regenerar (resiliência) em oposição aos materiais inertes.

A eficiência de uma intervenção tradicional pode ser conceitualmente relacionada ao longo do tempo com trabalhos que usam apenas plantas e com uma intervenção combinada de Engenharia Natural, como pode ser visto na Figura 3.

**Quadro 1** - Vantagens e desvantagens de materiais de construção vivos em comparação com materiais inertes.

MATERIAIS VIVOS		MATERIAIS INERTES	
Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens
Não são afetados por processos de degradação, promovendo uma estabilização crescente e possuem capacidade regenerativa intrínseca	As exigências de consolidação e segurança requeridas não são preenchidas em todas as situações.	Poderão ser mais estáveis.	Tendem a perder a sua eficiência devido à corrosão e degradação e não possuem capacidade de auto-regeneração.
Preenchem a sua função protetora de modo elástico, absorvendo os elementos e ações "agressivas", diminuindo ou anulando a sua intensidade.	Exige uma aplicação adaptada e dependente das características do local, não sendo também passível de utilização construtiva em qualquer altura do ano.	São independentes das características do local e sua aplicação não é limitada temporalmente.	Funcionam como estruturas construtivas rígidas ou pouco deformáveis.
Biológica e ecologicamente funcionais.	Só atinge a sua eficiência técnica plena após um certo intervalo de tempo.	Atingem a sua eficiência técnica imediatamente.	Não têm qualquer função biológica ou ecológica.
Possibilitam e conduzem a uma valorização estética e paisagística, com o enquadramento da construção no espaço natural.			Constituem, normalmente, elementos estranhos na paisagem.

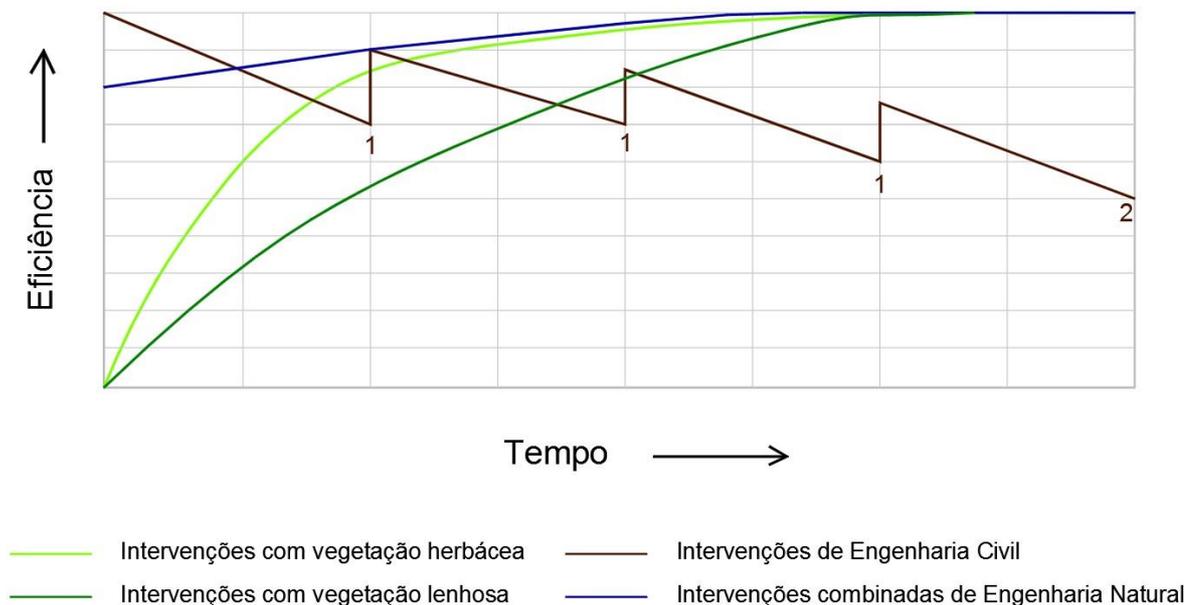
Fonte: Fernandes and Freitas, 2011.

De acordo com o gráfico conceitual mostrado na Figura 3, pode-se observar que uma intervenção de proteção de superfície com espécies herbáceas e gramíneas depende do desenvolvimento da vegetação e, por isso, apresenta eficiência nula após sua implementação, e que aumenta com o passar do tempo. Após um certo período, a intervenção atinge a máxima eficiência, que permanece constante, mas deve-se considerar que o estresse técnico e os requisitos da intervenção são baixos, pois, o objetivo é apenas controlar a erosão da superfície.

No caso de uma intervenção que utiliza apenas materiais lenhosos, como partes de arbustos e árvores, o seu sucesso depende também do desenvolvimento das plantas e, portanto, tem uma eficiência nula após a sua implantação, que tende a aumentar com o tempo. Quando comparada à intervenção com vegetação herbácea, seu desenvolvimento é mais lento, pois as espécies lenhosas levam mais tempo para crescer, no entanto, o estresse e os requisitos técnicos suportados pela intervenção são maiores.

No caso de obras tradicionais de Engenharia Civil ou de intervenções combinadas de Engenharia Natural (materiais inertes mais vegetação), o projeto é realizado de forma a atender

tensões mais elevadas do que as suportadas pelas intervenções que recorrem apenas ao uso de vegetação herbácea, arbustiva ou arbórea.



**Figura 3** - Evolução conceitual no tempo da eficiência técnica e ecológica de uma intervenção de Engenharia Natural em comparação com uma intervenção tradicional. Fonte: Sousa, 2015.

Uma obra de Engenharia Civil, imediatamente após a sua conclusão, tem a máxima eficiência. No entanto, com o tempo, essa eficiência começa a diminuir devido à degradação da estrutura, exigindo trabalhos de manutenção como medidas de reparo (Figura 3, número 1). Após a manutenção, a eficiência da obra aumenta novamente, mas não atinge o valor máximo e, com o tempo, os valores de eficiência diminuem mesmo após a manutenção. Após um período de tempo, as obras de infraestrutura ou de Engenharia Civil precisam ser reconstruídas (Figura 3, número 2), pois as medidas de manutenção não são mais suficientes para atender aos requisitos técnicos para os quais as obras foram projetadas.

No caso de intervenções combinadas de Engenharia Natural usando plantas e materiais inertes, após a implementação, elas têm uma eficiência mais baixa do que as obras tradicionais de engenharia, no entanto, essa eficiência sempre aumenta com o tempo até atingir o máximo. Após um certo período de tempo, os materiais inertes utilizados de maneira estrutural, como a madeira, começam a apodrecer e a degradar, enquanto o efeito de suporte e estabilização é substituído por um desenvolvimento adequado dos sistemas radiculares e da copa das plantas (GRAY e SOTIR, 1996; SCHIECHTL e STERN, 1996).

Esse recurso faz com que as intervenções de Engenharia Natural resultem em sistemas vivos que continuarão a desenvolver e manter seu equilíbrio dinâmico através dos processos naturais de sucessão. Se materiais e sistemas construtivos adequados forem especificados e

utilizados, será alcançada uma alta capacidade de resistência e resiliência a tensões externas, sem grandes esforços e manutenção dispendiosa.

### **Limites de aplicação da Engenharia Natural**

Por utilizar materiais vivos em suas intervenções, existem alguns limites de aplicação da Engenharia Natural, os quais estão fundamentalmente ligados aos aspectos biológicos, técnicos e ao período adequado de plantio (MENEGAZZI e PALMERI, 2013; SCHIECHTL e STERN, 1996; SCHIECHTL e STERN, 1997; VENTI et al., 2003).

Os limites biológicos correspondem a localização inadequada e limites de distribuição geográfica para determinadas espécies, poluição excessiva, tipo de solo ou quaisquer outras condições limitantes para germinação, enraizamento e desenvolvimento da vegetação.

As limitações técnicas estão relacionadas a capacidade das soluções construtivas e das plantas de estabilizar movimentos profundos de massa. Nesses casos, a Engenharia Natural atua apenas indiretamente, diminuindo a quantidade de água no solo através da evapotranspiração, interceptação e drenagem gerada pelas plantas.

Com relação às épocas de plantio, estas correspondem à sazonalidade das intervenções, pois as obras que utilizam materiais de construção vivos devem ser realizadas nas estações em que as plantas estão na estação adormecida (MAFFRA et al., 2019) e também quando as condições climáticas locais são favoráveis ao enraizamento das plantas.

No caso dos materiais inertes utilizados em obras de Engenharia Civil não há limitações de ordem biológica, mas existem sim épocas que podem ser mais favoráveis à execução das atividades, como é o caso daquelas obras executadas em ambientes fluviais ou aterros compactados, que preferencialmente são conduzidos em épocas de menor ocorrência pluviométrica e/ou cheias e enxurradas. Já os seus limites técnicos, estes estão conectados a condições geotécnicas ou hidráulicas mais extremas, mas que podem ser superadas com a escolha de materiais mais resistentes, o que naturalmente eleva os custos das intervenções.

### **Considerações finais**

Os materiais de construção considerados a partir de uma perspectiva de engenharia, inertes ou vivos, devem atender a um conjunto de condições técnicas, econômicas e estéticas, para que correspondam aos requisitos de uma obra de construção de infraestrutura. Para atender aos requisitos de responsabilidade desse tipo de intervenção, os materiais de construção vivos devem ser cuidadosamente estudados, desde sua caracterização, especificações técnicas, controle de qualidade e avaliação de desempenho. Nestes quesitos, a Engenharia Natural, principalmente no Brasil, ainda precisa evoluir.

Os materiais de construção vivos (por exemplo, sementes, mudas ou estacas vivas) apresentam algumas limitações em comparação com materiais inertes e, portanto, podem substituir os materiais tradicionais apenas parcialmente, sempre nas devidas condições ambientais, biológicas e técnicas.

Uma solução apropriada para resolver problemas de erosão do solo ou movimentos de massa pouco profundos pode envolver a combinação de materiais de construção inertes e vivos para atender aos critérios técnicos, econômicos e de segurança.

No entanto, o uso de plantas como materiais de construção apresenta algumas limitações, uma vez que ainda há poucas informações sobre a escolha do material tecnicamente adequado. Como as características técnicas das plantas precisam de mais estudos e ainda não foram quantificadas, os parâmetros de projeto são menos precisos e os procedimentos construtivos ainda não foram padronizados.

Portanto, em espécies que se mostraram tecnicamente adequadas, é necessário realizar pesquisas tratando as plantas como materiais de construção vivos da mesma forma como são tratados os materiais tradicionais da construção civil, o que inclui, por exemplo, estudos de flexibilidade, resistência à tração, impacto na resistência ao cisalhamento do solo e aumento dos fatores de segurança quando utilizadas em estabilização de taludes. Uma vez adotadas essas ações, a Engenharia Natural tende a ganhar mais confiança nos trabalhos de infraestrutura, pois os efeitos das plantas no controle de processos erosivos podem passar a ser considerados não apenas qualitativamente, mas também quantitativamente.

## Referências bibliográficas

- CARVALHO, E. F. T. *Apostila de Materiais de Construção I*. Ouro Preto, Minas Gerais: Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Departamento de Engenharia Civil, 2009.
- COPPIN, N. J.; RICHARDS, I. G. *Use of Vegetation in Civil Engineering*. London, UK: Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), 2007.
- EUBANKS, C.; MEADOWS, D. *A soil bioengineering guide for streambank and lakeshore stabilization*. U.S. Department of Agriculture Forest Service, Technology and Development Program, 2002.
- FERNANDES, J. P. A.; FREITAS, A. R. (2011). *Introdução à Engenharia Natural*. Lisboa, Portugal: EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A., 2011.
- KANGAS, P. *Ecological Engineering: Principles and Practices*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2004.
- LEWIS, L. *Soil Bioengineering an Alternative for Roadside Management - A Practical Guide*. San Dimas, California: United States Department of Agriculture, 2000.
- MAFFRA, C. R. B.; MORAES, M. T.; SOUSA, R. S.; SUTILI, F. J.; PINHEIRO, R. J. B.; SOARES, J. M. D. Métodos de avaliação da influência e contribuição das plantas sobre a estabilidade de taludes. *Scientia Agraria*, v. 18, n. 4, p. 129 - 143, 2017.
- MAFFRA, C. R. B.; SOUSA, R. S.; SUTILI, F. J.; PINHEIRO, R. J. B. The effect of roots on the shear strength of texturally distinct soils. *Floram*, v. 26. p. 1-11, 2019.
- MENEGAZZI, G.; PALMERI, F. *Il Dimensionamento delle Opere di Ingegneria Naturalistica*. Roma, Itália: Regione Lazio, 2013.
- MORGAN, R. P. C.; RICKSON, R. J. *Slope stabilization and erosion control - A bioengineering approach*. London, UK: Chapman & Hall, 1995.

NERY, G. *Boletín Técnico - Monitoreo en la Construcción Civil*. Mérida, México: Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción - ALCONPAT Inc, 2013.

SAULI, G.; CORNELINI, P. *Manuale di Indirizzo delle Scelte Progettuali per Interventi di Ingegneria Naturalistica*. Roma, Itália: Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Direzione Generale per la Difesa del Suolo. Progetto Operativo Difesa Suolo (PODIS), 2005.

SAULI, G.; CORNELINI, P.; PRETI, F. *Manuale d'Ingegneria Naturalistica Applicabile ai Settori delle Strade, Cave, Discariche e Coste Sabbiose*. Roma, Itália: Regione Lazio, 2003.

SCHIECHTL, H. M. *Bioengineering for land reclamation and conservation*. Edmonton, Canada: Department of the Environment, Government of Alberta. University of Alberta Press, 1980.

SCHIECHTL, H. M.; STERN, R. *Ground bioengineering techniques for slope protection and erosion control*. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd, 1996.

SCHIECHTL, H. M.; STERN, R. *Water Bioengineering Techniques for Watercourse Bank and Shoreline Protection*. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd, 1997.

SCHWARZ, M.; PRETI, F.; GIADROSSICH, F.; LEHMANN, P.; OR, D. Quantifying the role of vegetation in slope stability: A case study in Tuscany (Italy). *Ecological Engineering Special Issue: Vegetation and Slope Stability*, 2010.

SOUSA, R. S. *Metodologia para especificação de plantas com potencial biotécnico em Engenharia Natural*. Dissertação de Mestrado, Santa Maria, Brasil: Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

SOUSA, R. S.; SUTILI, F. J. Aspectos técnicos das plantas utilizadas em Engenharia Natural. *Ciência & Ambiente*, v. 46/47, p. 31-71, 2017.

SUTILI, F. J.; GAVASSONI, E. (2017). The development of soil bioengineering as an analytical discipline. *Ciência & Ambiente*, v. 46/47, p. 5-31, 2017.

SUTILI, F. J.; DENARDI, L.; DURLO, M. A.; RAUCH, H. P.; WEISSTEINER, C. Flexural behavior of selected riparian plants under static load. *Ecological Engineering*, v. 43, p. 85-90, 2012.

SUTILI, F. J.; DORNELES, R. S.; VARGAS, C. O.; KETTENHUBER, P. L. W. Avaliação da propagação vegetativa de espécies utilizadas na estabilização de obras de terra com técnicas de Engenharia Natural. *Ciência Florestal*, v. 28, n. 1, p. 1-12, 2018.

TISAKA, M. Norma Técnica para elaboração de orçamento de obras de construção civil - *NORMA TÉCNICA IE – No 01/2011*. São Paulo, SP: Instituto de Engenharia, 2011.

VENTI, D.; BAZZURRO, F.; PALMERI, F.; UFFREDUZZI, T.; VENANZONI, R.; GIBELLI, G. *Manuale Tecnico di Ingegneria Naturalistica della Provincia di Terni. Applicabilità delle tecniche, limiti e soluzioni*. Terni, Itália: Servizio Assetto del Territorio - Provincia di Terni, 2003.

<sup>1</sup>Rita dos Santos Sousa; Doutora em Engenharia Florestal; ritasousa.ufsm@gmail.com;

<sup>2</sup>Charles Rodrigo Belmonte Maffra; Doutor em Engenharia Florestal; charles.maffra@gmail.com;

<sup>3</sup>Júnior Joel Dewes; Doutorando em Engenharia Florestal; juniordewes2011@gmail.com;

<sup>4</sup>Rinaldo José Barbosa Pinheiro; Doutor em Engenharia Civil; Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Avenida Paulo Gama, 110 – Farroupilha - Porto Alegre – RS; rinaldo@ufsm.br;

<sup>5</sup>Fabrcio Jaques Sutili; Doutor em Engenharia Natural; fjsutili@gmail.com;

<sup>1,2,3,5</sup>Universidade Federal de Santa Maria; Avenida Roraima, 1000 prédio 44N - Camobi - Santa Maria – RS.

Este artigo:

Recebido em: 12/2019

Aceito em: 02/2020

#### Como citar este artigo:

SOUSA, Rita dos Santos; MAFFRA, Charles Rodrigo Belmonte; DEWES, Júnior Joel; PINHEIRO, Rinaldo José Barbosa; SUTILI, Fabrcio Jaques. Engenharia natural: o uso e avaliação de plantas de uma perspectiva de engenharia. *Scientia Vitae*, v.9, n.27, p. 1-13, jan./mar. 2020.