

## ***Líneas de investigación sobre especies para la Bioingeniería en ámbito mediterráneo:***

Joao Paulo Fernandes, Carlos Souto Cruz, Henrique Pires (Universidad de Évora, Portugal)

jptaf@netcabo.pt

### **1 - Las plantas y la vegetación como material de construcción**

La vegetación ejerce en el suelo una función estabilizadora extremadamente intensa y diversificada. Esa función se manifiesta al nivel de la protección contra la acción de los agentes externos (precipitación, viento, temperatura, etc.) y de los internos (inestabilidad, encharcamiento, falta de cohesión, etc.).

En simultaneo, la vegetación además de asegurar la protección y la estabilización de los terrenos, también, dadas sus características de sistema vivo, tiene la ventaja de, se debidamente mantenida, se desarrollar de uno modo equilibrado con los factores de perturbación, se adaptando dentro de ciertos límites, a la variación de los mismos.

La utilización de plantas y de vegetación como material de construcción presenta ventajas pero también limitaciones que interesan tener siempre presentes (Tab. 1). Las ventajas y desventajas descritas, derivan de las distintas funciones de la vegetación en la estabilización de los terrenos:

- Funciones de Cubertura – A través de sus partes aéreas (troncos, ramas y hojas), las plantas aseguran una cubierto más o menos denso del terreno donde están instaladas. Especialmente en el caso de las herbáceas, que aseguran esa cubertura de uno modo bastante rápido y eficiente, se obtiene un sistema de amortecimiento del impacto directo de la lluvia, del viento y mismo de la escorrentía superficial, disminuyendo de este modo la erodibilidad de tales agentes. También las especies arbóreas y arbustivas desde que en formaciones suficientemente densas, aseguran la misma función, añadida de una intensa acción de intercepción (retención del agua de la lluvia en los troncos y copados, posibilitando su posterior evaporación y la consecuente disminución del caudal de escorrentía superficial o de infiltración).
- Funciones de armadura y anclaje del suelo – A través de sus raíces, la vegetación ejerce uno conjunto de acciones físicas que tienen como resultado final, aumentar la estabilidad mecánica del suelo, aumentando su cohesión y, consecuentemente, posibilitando la existencia de taludes de ángulo superior al ángulo de talud natural de ese material. Estas funciones son realizadas esencialmente de dos modos:
  - Las ramificaciones de las raíces penetrando en el suelo van a constituir una malla, cuya densidad es variable en función de las especies vegetales utilizadas, la cual envolverá no solamente las partículas del suelo, como también las penetrará funcionando entonces como un factor más de agregación.
  - Las grandes raíces en profundidad, destinadas a anclar la planta al suelo, lo penetran en profundidad, lo que proporcionará, al menos en los dos metros superficiales, que cualquier plano de discontinuidad paralelo a la superficie, y que sea propiciador de deslizamiento sea atravesado por las raíces, aumentando la rugosidad del plano de deslizamiento anclando el horizonte superior en el inferior y disminuyendo, consecuentemente, la tendencia para el deslizamiento segundo ese plano.

- Funciones de estructuración – Además de las acciones físicas de fijación y de anclaje, que aseguran esencialmente un papel de sustentación, las acciones químicas y biológicas proporcionadas por la vegetación, o determinadas por ella, contribuyen, igualmente y de una forma decisiva, para el aumento de la estabilidad del suelo. Tales funciones son realizadas, sea por intermedio de los productos químicos segregados por las raíces de las plantas, que favorecen la formación de agregados de partículas del suelo, como por la formación de compuestos húmicos a partir de la descomposición de hojas y otros materiales orgánicos, compuestos estos que actúan del mismo modo como agrupadores del suelo.
- Funciones de cohesión y drenaje - Las plantas debido a sus necesidades propias de agua, contribuyen también, eficazmente, para la disminución de la cantidad en agua del suelo, puesto que esta es absorbida y después transpirada. Esta disminución de la cantidad en humedad del suelo tiene como consecuencia un aumento de la cohesión del suelo y podrá, en determinadas circunstancias, disminuir el riesgo de su fluidificación. Por otro lado, la tensión capilar asociada a la absorción de agua por las raíces, genera una cohesión aparente que aumenta la estabilidad del suelo. Es importante referir que, en contrapartida, la vegetación también presenta alguna acción propiciadora de la infiltración lo que, en cierta medida, puede constituir un factor de aumento de la inestabilidad. Los efectos desestabilizadores de este proceso no anulan, sin embargo, los efectos estabilizantes ya descritos.
- Funciones de activación biológica – Estas funciones, a pesar de que no están directamente asociadas al aumento de la estabilidad del suelo, proporcionan también indirectamente una mejora de su agregación, que contribuyó decisivamente, para el incremento de la estabilidad global del local.

Tab. 1. Ventajas y desventajas comparativas de las plantas y de los materiales inertes como materiales de construcción

Utilización de la vegetación como material de construcción		Utilización de materiales inertes como material de construcción	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
<p>(i) No es afectada por procesos de degradación, proporcionando, al contrario una estabilización creciente y presentando, cumulativamente, una capacidad regenerativa intrínseca.</p> <p>(ii) Rellena su función protectora de modo elástico, absorbiendo los elementos y acciones "agresivas", disminuyendo o anulando su intensidad.</p> <p>(iii) Es biológica y ecológicamente funcional.</p> <p>(iv) Posibilita y conduce a una valorización estética y paisajística, con el encuadramiento de la construcción en el espacio natural.</p>	<p>(i) No rellena en todas las situaciones, las exigencias de consolidación y seguridad requeridas.</p> <p>(ii) Exige una aplicación adaptada y dependiente de las características del sitio, no siendo también susceptible de utilización constructiva en cualquier altura del año.</p> <p>(iii) Solo alcanza su plena eficiencia técnica tras un cierto intervalo de tiempo.</p>	<p>(i) Podrán ser más estables.</p> <p>(ii) Son más independientes de las características del sitio y de aplicación menos limitada temporalmente.</p> <p>(iii) Quedan funcionales en el corto plazo.</p>	<p>(i) Tienen a perder su eficiencia debido a la corrosión y degradación no poseyendo capacidad de auto-regeneración.</p> <p>(ii) Funcionan con relación a los agentes agresivos como estructuras constructivas rígidas o muy poco deformables.</p> <p>(iii) No rellenan ninguna función biológica.</p> <p>(iv) Constituyen, normalmente, elementos extraños en el paisaje.</p>

Las plantas presentan una vasta gama de propiedades (Tab. 2)) que deberán ser consideradas en el proceso de selección no solamente de las especies, como en particular de la combinación de especies a instalar en determinado local y para uno determinado propósito. Importa, sin embargo, saber seleccionar y combinar las distintas especies que garantizan las funciones técnicas deseadas.

Tab. 2. Características de la vegetación condicionantes de los diversos efectos (adaptado de Coppin y Richards, 1990, Mendonça y Cardoso, 1998 y EFIB, 2008)

EFEITOS	Características condicionantes da vegetação										
	% de cobertura superficial	Altura	Peso	Forma e comprimento da folhagem e ramos	Densidade da Folhagem e ramos	Robustez da folhagem e ramos	Flexibilidade da folhagem e ramos	Profundidade das raízes	Densidade das raízes	Resistência das raízes	Ciclo de crescimento anual
No regime e processos hídricos	Protecção contra a precipitação intensa	X		X	X						
	Protecção contra a erosão hídrica	X			X						
	Arraste superficial	X	X	X	X		X				X
	Abrandamento e desvio de fluxos hídricos	X					X	X			X
	Retenção de detritos em enxurradas	X									
	Infiltração	X				X			X	X	
	Evaporação	X				X					
Retenção da água do solo								X		X	
No fluxo do ar (vento)	Partículas em suspensão	X		X							X
	Desvio de fluxo		X	X						X	X
	Arraste superficial	X	X	X		X					X
	Protecção contra o ruído	X	X	X	X						
Na protecção dos solos	Protecção contra a erosão eólica	X	X		X	X	X				X
	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	
Mecânicos	Sobre carga			X							
	Rede superficial								X	X	X
	Reforço das raízes							X	X	X	X
	Ancoragem							X	X	X	
	Contraforte							X		X	
	Cunha de raízes		X			X	X	X	X		
	Acção expansiva devido à espessura das raízes							X	X	X	
Compactação			X					X	X		
Na qualidade ambiental	Remoção de substâncias eutrofizantes								X		X
	Filtração e acumulação de poeiras				X	X					X
	Absorção de ruído	X	X		X	X					X
	Influência (moderadora) sobre o microclima	X	X			X					X

Por ejemplo, considerando las funciones técnicas de cubierto (para protección contra la erosión) y de consolidación radicular, tenemos de distinguir las distintas especies en función del tipo de aparato superficial y radicular que desarrollan, de modo a garantizar que las distintas funciones pretendidas son obtenidas. Observando por ejemplo la fig. 2, es posible verificar que las distintas especies herbáceas ilustradas se distinguen claramente por esas características. Verificamos la ocurrencia de especies con uno enraizamiento superficial denso (coincidiendo muchas veces con uno desarrollo igualmente denso de la parte aérea que puede proporcionar una buena cubierto del suelo) y especies con uno desarrollo radicular profundo (mucho o poco ramificado), proporcionando funciones de anclaje distintas de la simples agregación de la superficie del suelo.

Sin embargo, la vegetación se queda limitada en su eficiencia y aplicabilidad por los limites que le son colocados por los factores de tensión medioambiental (Tab. 3) relativamente al su espectro ecológico específico.

Tab. 3 – Factores de tensión ambiental colocadas a una planta o formación vegetal en uno determinado local o hábitat (adaptado de Coppin y Richards, 19990 y EFIB, 2008)

	<b>Factores</b>	<b>Abordajes de corrección</b>
<b>1- Tensiones y exigencia físicas</b>	<b>1.1 - Estáticas</b> 1.1.1 - Masa 1.1.2 - Presión hidrostática - Impulso - Elevado nivel freático en una encosta 1.1.3 - Presión 1.1.4 – Textura, estructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructuras de soporte</li> <li>• Drenaje</li> <li>• Anclaje profunda</li> <li>• Modelación de la encosta (reducción del declive)</li> <li>• Ripper / escarificación</li> <li>• Compactación</li> <li>• ...</li> </ul>
	<b>1.2 - Dinámicas</b> 1.2.1 - Flujo de agua 1.2.2 - Tensiones dinámicas en el suelo 1.2.3 - Precipitación 1.2.4 - Flujo del viento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drenaje y desvío de caudales afluentes y superficiales</li> <li>• Anclaje</li> <li>• Cuberutra del suelo con geotextiles</li> <li>• ...</li> </ul>
	<b>1.3 - Otras</b> 1.3.1 - Encharcamiento 1.3.2 - Calor, sequía 1.3.3 - Frio, helo 1.3.4 - Radiación 1.3.5 - Sombreo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubierto del suelo con geotexteis</li> <li>• Drenaje interna</li> <li>• Control de la vegetación o de estructuras envolventes</li> <li>• Uso de especies resistentes</li> <li>• Irrigación</li> <li>• ...</li> </ul>
<b>2 - Químicas</b>	- Substancias fito tóxicas - Fertilizantes - Sales - Ácidos, Bases - Aguas residuales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Correcciones químicas y</li> <li>• Correcciones orgánicas</li> <li>• Fertilización</li> <li>• Desvío de caudales afluentes contaminados</li> <li>• Uso de especies resistentes</li> <li>• ...</li> </ul>
<b>3 - Biológicas</b>	<b>3.1 Debidos a los animales</b> 3.1.1 - Excavación, consumo de las raíces como alimento 3.1.2 - Mordedura, Consumo de las hojas como alimento 3.1.3 - Pisoteo 3.1.4 - Arranque	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cercadura, vallar</li> <li>• ...</li> </ul>
	<b>3.2 Debidos la plantas</b> 3.2.1 - Competencia 3.2.2 - Parasitismo (por ejemplo trepadoras) 3.2.3 - Hongos, Bacterias, Virus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamientos de protección integrada y fitosanitarios</li> <li>• Limpiezas de mantenimiento</li> <li>• Siembras y plantaciones complementares</li> <li>• ...</li> </ul>

Las condicionantes y limitaciones referidas en la Tab.3, ha aún que añadir las limitaciones técnicas intrínsecas, por ex. profundidad de enraizamiento (limitando la profundidad eficaz de estabilización), capacidad de enraizamiento en determinados sustratos, o potenciación de riesgos de mala estabilización, aumento de cargas, dinámicas inducidas por ex. por el viento, etc..

Con base en el conocimiento de estas funciones y en el desarrollo de técnicas constructivas propias, que anulen o disminuyen estas desventajas y potencien las ventajas, los sistemas constructivos han sido implementados utilizando esencialmente la vegetación como material constructivo, demostrando una eficacia muy elevada. Estas técnicas constituyen esencialmente la aplicación orientada de sistemas vegetativos combinados o no con otros materiales o sistemas constructivos, de modo a consolidar zonas inestables, a recuperar áreas degradadas y a encuadrar otras intervenciones constructivas.

**Nunca es demás enfatizar que el cerne de la Bioingeniería no son las técnicas y materiales constructivos complementares sino la instalación eficaz de la vegetación.** Con efecto, las mantas orgánicas, los muros de soporte de madera o mismo las escolleras o muros de gaviones, tienen de ser *siempre* considerados como apoyos transitorios hacia a la plena instalación de la vegetación, con excepción de las situaciones en que, explícitamente, la naturaleza del factor de riesgo o del problema a resolver, implican la existencia de una estructura inerte que complementa a largo plazo la acción de la vegetación, una vez que esta nunca hará capacidad, por sí sola, en las condiciones y limitaciones locales de garantizar la seguridad exigida.

Por fin, ha aún que considerar que, además de las especies en sí, estas tienen que garantizar su propia adaptación genotípica y fenotípica a las condiciones locales.

Pero, en situaciones particularmente extremas, donde en las distintas asociaciones naturales no sea posible seleccionar especies que rellenen las necesidades técnicas exigidas por la intervención de recuperación en curso, puede recurrirse al uso de especies pioneras extrañas a las asociaciones autóctonas. Estas tienen por función ayudar al rápido establecimiento de las comunidades-objetivo, especies que naturalmente, o en el marco de los necesarios trabajos de mantenimiento de la obra, deberán ser retiradas cuando ya no sean necesarias (o pasan mismo a tener un efecto contraproducente, compitiendo con la vegetación natural cuya instalación propiciarán).

Con base en el conocimiento de estas funciones y en el desarrollo de técnicas constructivas propias que anulen o disminuyen las desventajas anteriormente apuntadas y potencien las ventajas tienen sido implementados sistemas constructivos utilizando esencialmente la vegetación como material constructivo y que tienen revelado la mayor eficiencia. Estos sistemas constituyen combinaciones de los siguientes tipos básicos de construcciones:

- **Construcciones combinadas de apoyo, soporte y consolidación**, para desvío y anulación de acciones mecánicas, para fijación del terreno y consolidación de materiales inestables. Son constituidas normalmente por combinaciones entre obras inertes (hormigón, piedra, albanaría, madera, geotextiles, etc.) y las plantaciones. Permiten, por la aplicación de sistemas combinados, disminuir la dimensión de las obras inertes.
- **Construcciones de drenaje biotecnia**, en que son utilizadas esencialmente plantas con elevada capacidad de evapotranspiración y sistemas de construcción y plantación adecuados para asegurar una drenaje activa de toda la masa del suelo.
- **Construcciones de estabilización**, para desvío y anulación de acciones mecánicas, consolidación y agregación del suelo en profundidad. Consisten en sistemas particulares de plantación de leñosas (en líneas o en banquetas, por ejemplo), de

modo la asegurar una fijación profunda del terreno y producir el desvío o conduciendo las acciones mecánicas que pasan criar situaciones de inestabilidad.

- **Construcciones en cubierto**, para asegurar una rápida y eficiente protección de la superficie del suelo, una mejora de los balances térmicos e hídricos, el sombreado y la activación biológica del suelo. Es conseguida por siembra o plantación de herbáceas, o por técnicas especiales de instalación de leñosas arbustivas o mismo arbóreas.
- **Construcciones complementares**, para conducción y aceleración de la sucesión natural de la vegetación permitiendo obtener lo más rápida y eficazmente posible, el cubierto vegetal pretendido.

Importa, sin embargo, saber seleccionar y combinar las distintas especies que garanticen las funciones técnicas deseadas. Por ejemplo, considerando las funciones técnicas de cubierto (para protección contra la erosión) y de consolidación radicular, ha que distinguir las diistintas especies en función del tipo de formación superficial y radicular que desarrollan, de modo a garantizar que se obtiene las distintas funciones pretendidas.

Observando por ejemplo la Fig. 1 es posible verificar, que las distintas especies herbáceas ilustradas, se distinguen claramente en termos de las referidas características. Verificamos la ocurrencia de especies con uno enraizamiento superficial denso (coincidiendo muchas veces con un desarrollo igualmente denso de la parte aérea que puede proporcionar una buena cobertura del suelo) y especies con uno desarrollo radicular profundo (mucho o poco ramificado), proporcionando funciones de anclaje distintas de la simples agregación de la superficie del suelo.

Las plantas presentan, como ya referido, uno vasta gama de características (Tab. 2) que deberán ser consideradas en el proceso de selección no solamente de las especies, como particularmente de la combinación de especies a instalar en uno determinado local y para uno determinado fin.

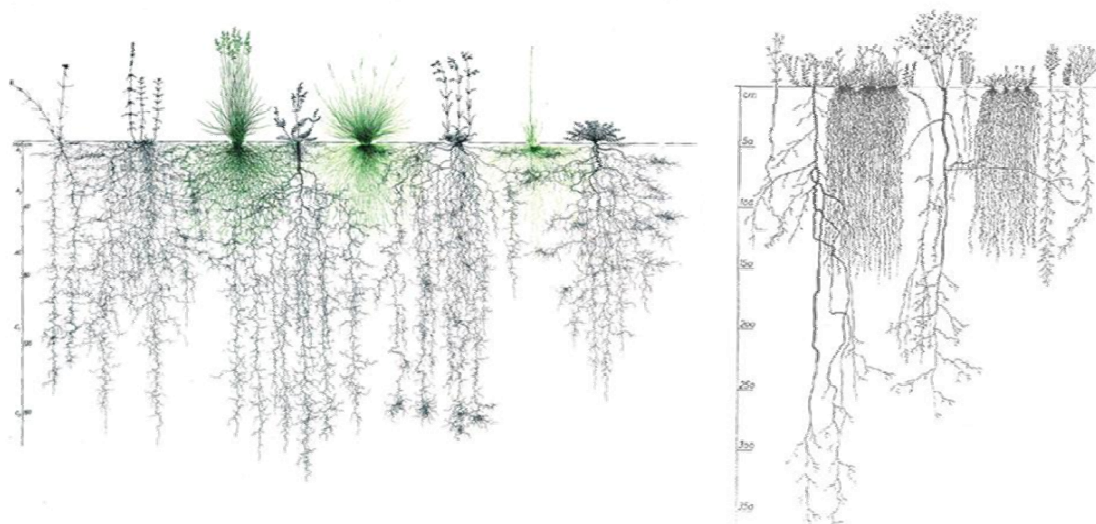


Fig. 1. Ejemplos de formaciones superficial y radicular de distintas especies vegetales ilustrando como solamente la combinación de distintas especies y tipologías de formaciones radiculares garantizará una densa fijación y cobertura superficial y un anclaje profundo y resistente.

Procurando sistematizar estos factores de selección de las especies y tipologías de plantas a utilizar, la Tab. 4 presenta, de forma simplificada, para los principales tipos de vegetación, las ventajas y desventajas técnicas la tener en consideración en ese proceso.

Los objetivos del cubierto vegetal a establecer, como atrás referido, el simple desarrollo de uno cualquier tipo de cubierto vegetal, pero se refieren a la creación de las condiciones que puedan garantizar un número muy diversificado de funciones técnicas y ecológicas. Importa, sin embargo, nunca olvidar que la vegetación se queda limitada en su eficiencia y aplicabilidad, por los límites que le son colocados por los factores de tensión ambiental, relativamente a sus características ecológicas específicas.

Tab. 4. Adecuación de los tipos de plantas para distintas funciones y aplicaciones de ingeniería (Gray *et al.*, 1996)

<b>Tipo de vegetación</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Gramíneas	Versátiles y económicas, elevado espectro de tolerancia, establecimiento rápido, elevada densidad de cubierto	Enraizamiento superficial, necesitan de mantenimiento regular
Cañas y juncos (cañizos)	Se establecen bien en márgenes de ríos y lagos, crecimiento rápido	Plantación manual dispendiosa, obtención difícil
Herbáceas	Enraizamiento profundo, atractivas en céspedes	Semillas dispendiosas, a las veces difícil de establecer, muchas especies mueren en el Inverno
Leguminosas	Establecimiento económico, fijan azoto, combinan bien con gramíneas	No son tolerantes a localizaciones extremas
Arbustos	Robustos y razonablemente económicos, muchas especies pueden ser sembradas, cubierta del suelo mucho significativa, enraizamiento profundo, reducida necesidad de mantenimiento, muchas especies siempre-verdes	Establecimiento mas dispendioso y por veces más difícil
Árboles en general	Enraizamiento muy significativo, algunas pueden ser sembradas, ninguna mantenimiento cuando bien establecidas	Establecimiento prolongado, crecimiento lento, dispendiosas
Chopos y salgueros	Enraízan fácilmente de estaca, versátiles, muchas técnicas de plantación, establecimiento rápido	Necesitan de mantenimiento de modo la seleccionar la forma de establecimiento correctivo, no crecen de semilla

Debido a las limitaciones anteriormente referidas, ocurren un numeroso conjunto de situaciones en que la vegetación, por si sola está imposibilitada de cumplir todos los objetivos técnicos que se coloquen la una obra, impongo-se entonces el recurso a los sistemas constructivos complementares que rellenen las funciones que la vegetación no consigue, aisladamente, desempeñar.

## **2 - Propiedades técnicas de las especies vegetales la utilizar en bioingeniería**

El primero problema que se coloca cuando consideramos el proceso de instalación de la vegetación en uno determinado espacio es el de la selección de las especies la utilizar. Como encuadramiento non contornadle de esta selección tenemos, naturalmente, las series de vegetación correspondientes a la localización biogeográfica del espacio en causa y al ecotipo específico a criar. El elenco específico de las asociaciones vegetales correspondientes a la serie, en especial a sus estadios iníciales, debe constituir la orientación básica para la selección de las especies la utilizar.

Dentro dese elenco de especies, y tiendo las propiedades específicas de cada una, los criterios de selección son múltiples, de entre los cuales se destacan:

1. Carácter pionero (estrategia ecológica);
2. Adecuación al local y a la comunidad vegetal la establecer (funcional, ecológica y genética)
  - a. Adaptación a los factores de tensión edáfico-climáticos locales
  - b. Resistencia/resiliência a perturbaciones
  - c. Resistencia a los patogénicos locales
  - d. Que la mezcla de especies a introducir garanta una sucesión equilibrada
  - e. Existencia de condiciones de desarrollo y propagación (micorrizas, polinizadores, dispersores)
3. Tipología de propagación vegetativa y de instalación (semilla, elemento vegetativo, planta enraizada, etc.) (Tab. 5);
4. Disponibilidad de material para propagación (facilidad de obtención y de establecimiento en vivero o en el terreno);
5. Velocidad de establecimiento y desarrollo;
6. Funcionalidad técnica (cobertura, tipologías de enraizamiento, influencia nos balances de nutrientes, absorción y retención de contaminantes como metales pesados, etc.) (Tab. 6 Y 7)
7. Facilidad de mantenimiento<sup>1</sup>.
8. Idoneidad o adaptación al sitio, donde las plantas utilizadas no solo corresponden a las características edafo-climáticas y a las asociaciones vegetales del sitio sino que también todo el material propagativo (semillas, plantas, plántulas o partes vegetativas) han sido obtenido cerca del sitio en las mismas condiciones ecológicas

Tab. 5. Materiales de construcción vivos susceptibles de utilización en obras de Ingeniería Natural y respectivas formas de instalación y propagación (leñosas realizadas) (adaptado de EFIB, 2008)

	Cañas y juncos	Gramíneas y Herbáceas	Leguminosas	Subarbutivas	Arbustos	Árboles
<b>Tallos capaces de enraizaren</b>	X	X	X	X	X	X
<b>Partes de leñosas capaces de enraizaren</b>						
Estacas					X	X
tallos asientes en el suelo					X	X
Ramas asientes en el suelo						X
<b>Rizomas</b>	X	X	X	X		
<b>Propágalos radiculares</b>					X	
<b>Estacas radiculares</b>					X	X
<b>Semillas</b>	X	X	X	X		
<b>Inflorescencias y frutos</b>	X	X	X	X		
<b>Henos y pajas</b>	X	X	X	X		
<b>Plantas</b>	X	X	X	X	X	X
Estacas de leñosas					X	X
Semilla germinada					X	X
Estacas enraizadas					X	X
Plantas de vivero con raíz desnuda					X	X
Plantas en contenedores	X	X	X	X	X	X

<sup>1</sup> Ejemplos de listados de especies utilizabais en España constan de Ruiz de la Tore et. Al., 1990 o, para el caso de minería, Ayala Carcedo et al. 1989 y en Portugal de Fernandes y Cruz, 2009



Plantas en cepellón	X	X	X	X	X	X
<b>Cepellones</b>	X	X	X	X	X	X
<b>Mantas orgánicas vegetadas</b>	X	X	X	X		
<b>Tepes de césped</b>		X	X			
<b>Suelo con semillas o placas del horizonte</b>	X	X	X			
<b>Cepellones o Placas de Vegetación</b>	X	X	X	X	X	X

La eficacia técnica de cada especie depende, por eso, de un largo conjunto de factores, de naturaleza morfológica, ecológica o metabólica (Tab. 6 y 7).

Tab. 6 - Características ecológicas, morfométricas y técnicas relevantes en la identificación de la funcionalidades técnica de las especies (adaptado de Cornelini et al. 2008, Sutilli, 2007 e Fernandes y Cruz, 2009)

### Características ecológicas

Tipo de hábitat (Fernandes y Cruz, 2009)	Litoral (LIT) Continental (CON) <i>Hábitats</i> de montañas elevadas (CUL) Estaciones higrofilicas (HID) – zonas generalmente alagadas o con exceso de agua Estaciones higrofilicas (HIG) – solos quase siempre con elevada humedad y/o con níveis freáticos superficiais ou com drenagem deficiente Estaciones mesofilicas (MES) – em solos evoluídos e bem drenadas Estaciones xerofilicas (XER) <i>Hábitats</i> ribeirinhos (RIP) – associados a linhas de água torrenciais ou permanentes <i>Hábitats</i> rupícolas (RUP) <i>Hábitats</i> ombrófilos (OMB) <i>Hábitats</i> ruderales (RUD) <i>Hábitats</i> de dunas litorales (DUN) <i>Hábitats</i> halo-higrofilicos ou de sapal (SAP) Prados (PRA), formaciones dominadas por especies herbáceas graminoides y/o terófitos Matos (MTS), formaciones dominadas por elementos arbustivos de porte generalmente inferior a 2m Matorrales (MTG), formaciones dominadas por elementos arbustivos de porte generalmente entre los 2 m y los 5 m Montados (MON), formaciones do tipo parque con dos estratos bien definidos, uno de porte arbóreo y otro herbáceo o arbustivo bajo Pinares (PIN) Matas (FLO), formaciones de porte arbóreo pluri-estratificadas Sebes (SEB), formaciones arbustivas con presencia frecuente de elementos escandentes (silvados) <i>Hábitats</i> de cascalheiras (CAS) <i>Hábitats</i> arenosos (ARE) <i>Hábitats</i> calcícolas (CAL) <i>Hábitats</i> ultra-básicos (UBS) <i>Hábitats</i> de zonas pantanosas e de turfeiras (PAN) <i>Hábitats</i> higrofilicos (HAL), <i>Hábitats</i> semi-halofilicos (SHA) <i>Hábitats</i> antrópicos agrícolas (AGR) (...)
Valores de Bioindicación (Ellenberg, 1974, 1979, 1992; Pignatti, S., 2005)	Luz (L) Temperatura (T) Continentalidad (C) Humedad o disponibilidad de agua (H) Reacción del suelo (R) Nutrientes (N) Salinidad (S)
Características Biotécnicas (Schiechtel, 1980)	Crecimiento (anos) Crecimiento raíces (cm) Rebentos (cm) Altura/diámetro

	Porte Tasa de crecimiento Tipo de propagación vegetativa Tipo de solo pH Salinidad Nutrientes Frescura Encharcamiento Secura Temperatura Sombra Tolerancia de altitudes Valor forrajero Semillas/gr Tasa de sementera (Kg/ha) Distribución Clasificación CSR (C- Competidores, S - Tolerantes al estrés, R - Ruderales) Expansión vegetativa por brotes de cepa o raíz Regeneración estacional de claros Regeneración a través de un stock permanente de semillas o esporos Regeneración mediante numerosas semillas o propágulos diseminados por el viento Regeneración mediante un stock permanente de plántulas
Estrategias ecológicas en la fase regenerativa (Grime, 2002)	

#### Características Morfométricas

Parte aérea (Cornelini et al., 2008)	Edad presumible (anos) Altura por encima del suelo Diámetro do fuste a 20 cm de altura (mm) Amplitud por encima del suelo (largura máxima da copa (cm))
Sistema radicular (Cornelini et al., 2008)	Profundidad de enraizamiento (cm) Amplitud radicular (diámetro del aparato radicular incluido las raíces secundarias) (cm) Longitud de las raíces secundarias (cm) Espesor de la raíz principal (mm) Espesor de las raíces medias (mm) Espesor de las raíces secundarias (mm) Dimensiones del espacio con raíces (cm) Tipo de raíz: Raíz aprumada, raíz axial ou raíz pivotante Raíz fasciculada ou raíz em cabeleira Raíz plana superficial Raíces aéreas

Parametrización dos sistemas radiculares

para a análise da estabilidade de encostas con vegetación (Preti, 2008 in Cornelini, 2008)

#### Relación de la área enraizada RAR(z)

$$RAR(z) = \frac{\sum_{i=1}^m Ar(z)_i}{Ars(z)}$$

Donde:

Ar(z)<sub>i</sub>= Área de la i-ésima raíz seccionada a la profundidad z

Ars(z)= Área de suelo enraizado a la profundidad z

z= profundidad

m= nº de raíces a la profundidad z

#### Cohesión radicular Cv(z)

$$Cv(z) = K \sum_{j=1}^n Tr_j \left( \frac{Ar(z)_j}{Ars(z)} \right)$$

Em que:

K normalmente considera-se 1,2

Tr<sub>j</sub>= resistencia à tracción da j-ésima clase de diámetro das raíces (MPa)

Ar(z)<sub>j</sub>= soma de todas as áreas das raíces da j-ésima clase de diámetro

	N= nº de clases de diámetro à profundidad z
Parámetros sintéticos (Cornelini et al., 2008) (Tab. 7)	<b>Índice a dimensional de Arquitectura Radicular</b> Índice de semi esfericidad radical $A=1/2*(P/Aip)$ (1/2*(profundidad radicular/amplitud radicular)
	<b>Índices a dimensionales de Estabilidad e Solidez</b> Índice de estabilidad relativa $S=P/H$ (profundidad radicular/altura por encima del suelo)
	Índice de estabilidad potencial $Sp=L/H$ (longitud da raíz principal/altura por encima del suelo)
	Índice de solidez relativa $s=Aip/Aep$ (amplitud radicular/amplitud da planta por encima del suelo)
	<b>Índices Globales de Estabilidad</b> Índice de estabilidad radicular $R=S*s$ (estabilidad relativa*solidez relativa)
	Índice de estabilidad global $P=S(s)^2$ (estabilidad relativa*(solidez relativa) <sup>2</sup> )
	<b>Características técnicas</b>
Propiedades técnicas da vegetación (Sutilli2007)	Desarrollo vegetativo (para las especies capaces de desarrollo vegetativo de raíces) después de períodos padrón de tiempo de plantación Nº medio de brotes/planta longitud media de los brotes Soma do longitud dos brotes por planta Nº medio de raíces por planta Soma do longitud das raíces por planta longitud medio das raíces
Otros parámetros técnicos Ayala Carcedo et al., 1989	Flexibilidad (en función del diámetro)
	Resistencia à la tracción (MPa)
	Grado de cobertura do solo
	Adaptación a substratos particulares
	Tóxicos
	Metales
	Alcalinidad o acidez
	Sales
	Sequedad
	Pocos nutrientes
Estrés hídrico (exceso)	
Estructuras adversas	
	Capacidad de fijación do N

### 3 - Selección y caracterización de especies con capacidad técnica y ecológica en medio mediterráneo

El listado de la Tab. 6 (completado por lo de la Tab. 7) constituye una base de trabajo para el desarrollo de un programa sistemático de caracterización ecológica y biotécnica de la vegetación con vista a su utilización en bioingeniería.

Ese trabajo incluye dos enfoques distintos pero complementarios: un enfoque documental de sistematización de toda la información disponible y un enfoque experimental buscando una evaluación estadísticamente fundamentada de parámetros biotécnicos y su variabilidad con los distintos medios y condiciones de hábitat.

Este proyecto de sistematización está siendo iniciado en la Universidad de Évora con el desarrollo de una base de datos pública donde toda esta información pueda ser cargada y validada de modo a permitir un acceso sencillo susceptible de integrar la experiencia colegida en los distintos proyectos, los resultados de investigaciones académicas y de observaciones documentadas.

Esta base de datos se organiza de acuerdo con distintos planos:

1. La planta

- a. Su hábitat
  - b. Sus características ecológicas
  - c. Sus características morfométricas
  - d. Sus características técnicas
2. El hábitat
- a. Dominio ecológico (Biogeografía)
  - b. Medios Hídricos
  - c. Medios terrestres
  - d. Medios particulares (substrato, clima, etc.)
3. La función biotécnica
- a. Cobertura
  - b. Consolidación
  - c. Ecológica, conservación o estética
4. La estrategia ecológica
- a. Modo de propagación
  - b. Clasificación CSR

Buscará asociar sistemas expertos que permitan la producción de información pericial para la selección preliminar de especies para intervenciones de bioingeniería.

La primera fase de este trabajo fue la identificación de las especies con mayor aptitud para los trabajos de bioingeniería en Portugal considerando su forma de propagación (Anexo 1).

Sin embargo la diversidad ecológica registrada en Portugal (por ejemplo en NW uno registra más de 3800 mm de precipitación media en las montañas, mientras solo 120 km a leste ese valor de precipitación se a reducido a solo 400mm), expresada en la diversidad de su fitogeografía (Fig. 2), determina que, en una segunda fase hubo que diferenciar las distintas plantas disponibles en cada unidad fitogeográfica (Anexo 2).

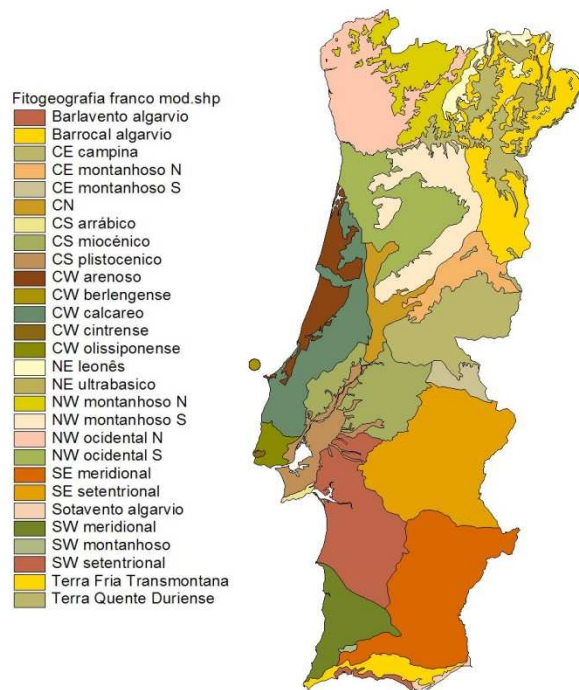
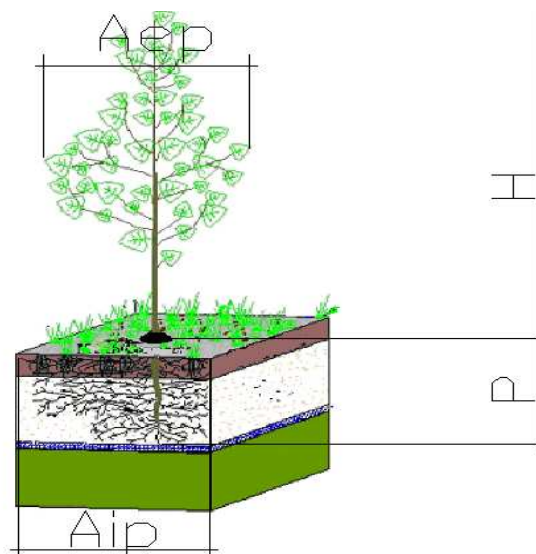


Fig. 2 - Carta Fitogeográfica de Portugal (Franco, 2007)

Tab. 7 - Índices de parametrización sintética (Cornellini et al. 2008)



Índice adimensional de  
Arquitectura Radicular

Índice de semiesfericidad radical

$$A = 1/2 * (P/Aip)$$

(1/2\*(profundidad  
radicular/amplitud radicular)

Considera-se que as plantas apresentando um valor de **A=0,5**, têm um desenvolvimento radicular próximo do hemisférico

Valor médiór observado (Sicília) = **0,53**,  
(pocas espécies apresentam A<0,5).

Quanto mais A > 0,5, tanto mais o comportamento privilegia a profundidade

Índices adimensionais de Estabilidade e Solidez

Índice de estabilidade relativa

$$S = P/H$$

(profundidade radicular/altura por encima del suelo)

Valores baixos comprometem a resistênciã ao basculamento

Valor médiór observado (Sicília) = **1,04**.

Índice de estabilidade potencial

$$Sp = L/H$$

(comprimento da raíz principal/altura por encima del suelo)

Tale indice vale maggiormente per le specie con radici dominanti, mentre può perdere significato nel caso delle specie con apparati radicali fascicolati.

Le specie con i migliori risultati, hanno ottenuto buoni risultati anche per gli indici di stabilità.

Valor médiór observado (Sicília) = **1,32**

Índice de solidez relativa

$$s = Aip/Aep$$

(amplitud radicular/amplitud da planta acima do solo)

Valores reduzidos deste índice (ou seja, em que a amplitud por encima del suelo é superior à amplitud radicular) indicam uma estabilidade precária da planta analisada

Valor médiór observado (Sicília) = **0,96**

Índice de estabilidade radicular

$$R = S * s$$

(estabilidade relativa\*solidez relativa)

Valor médiór observado (Sicília) = **1,06**.

Índices Globais de Estabilidade

Índice de estabilidade global

$$P = S(s)^2$$

(estabilidade relativa\*(solidez relativa)<sup>2</sup>)

Valor médiór observado (Sicília) = **0,97**.

Le specie migliori sono, in gran parte, quelle del parametro di stabilità globale:

Finalmente fueron identificados los hábitats donde ocurren estas plantas de modo a permitir garantizar una correspondencia optimizada entre los objetivos de la intervención y el material vegetal que se dispone para concretarla (Anexo 3).

Importa aún hablar de los experimentos de caracterización radicular (no solo en términos fisiológicos e morfológicos sino también técnicos) que empiezan a desarrollarse y de que importa destacar, por su contribución metodológica, los trabajos de parametrización sintética de especies mediterráneas (Cornelini et al. 2008) (Tab. 7 y 8), o los trabajos de observación y caracterización de los aparatos radiculares y aéreos de especies en hábitat natural desarrollados por Silva y Rego (2003 y 2004) (Fig. 3).

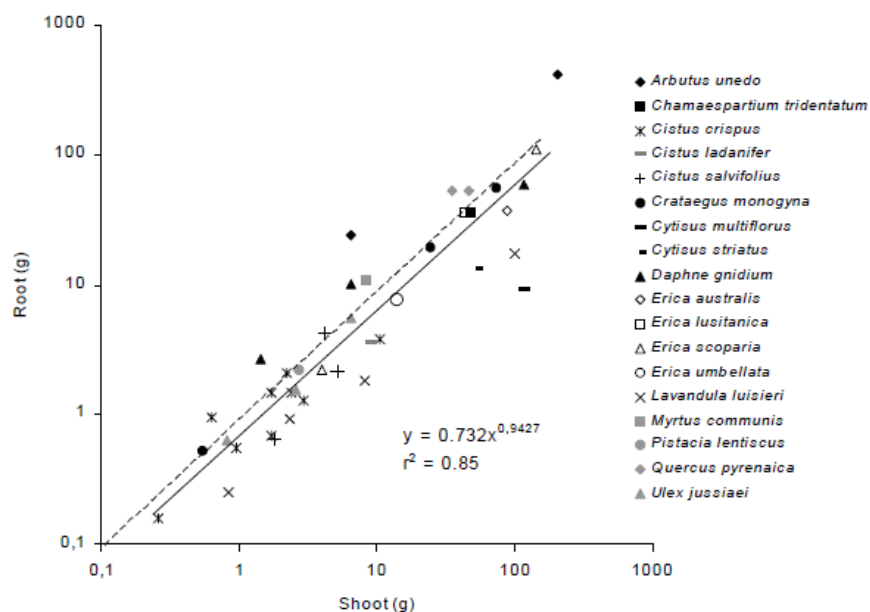


Fig. 3 - Relaciones entre la biomasa de las raíces y la biomasa de la rama (Silva y Rego 2004)

Tab. 8 - Resultados preliminares obtenidos por Pirrera y Cornelini (Cornelini et al. 2008) en los experimentos realizados en Sicilia con los índices de parametrización sintética (Tab. 7)

Especies idóneas para una funcionalidad técnica y recomendadas para intervenciones de estabilización y consolidación	Especies idóneas para una funcionalidad naturalística y recomendadas para mejorar la cubierta vegetal en las intervenciones anti erosivas
<i>Anagyris foetida</i>	<i>Artemisia arborescens</i>
<i>Artemisia variabilis</i>	<i>Daphne gnidium</i>
<i>Asparagus acutifolius</i>	<i>Erica multiflora</i>
<i>Asparagus albus</i>	<i>Olea europaea L. var. sylv</i>
<i>Atriplex halimifolia</i>	<i>Osyris alba</i>
<i>Calicotome spinosa</i>	<i>Phlomis fruticosa</i>
<i>Capparis spinosa</i>	<i>Pistacia lentiscus</i>
<i>Cistus monspeliensis</i>	<i>Prunus spinosa</i>
<i>Cistus salvifolius</i>	<i>Prunus webbii</i>
<i>Colutea arborescens</i>	<i>Pyrus amygdaliformis</i>
<i>Crataegus monogyna</i>	<i>Quercus calliprinos</i>
<i>Ephedra fragilis</i>	<i>Rhus coriaria</i>
<i>Euphorbia characias</i>	<i>Rosa canina</i>
<i>Euphorbia dendroidea</i>	<i>Rosmarinus officinalis</i>

<i>Euphorbia rigida</i>	<i>Sarcopoterium spinosum</i>
<i>Rosa sempervirens</i>	<i>Teucrium fruticans</i>
<i>Salsola verticillata</i>	<i>Ulmus minor</i>
<i>Spartium junceum</i>	
<i>Tamarix gallica</i>	
<i>Thymus capitatus</i>	

#### 4 - Consideraciones finales

***El cerne de la Bioingeniería no son las técnicas y materiales constructivos complementares sino la instalación eficaz de la vegetación***

Esto me parece algo de la máxima importancia pues que se puede verificar una tendencia para sobre valorizar la estructura en detrimento del agente funcional llave - la planta.

Este riesgo es tanto mayor en espacio mediterráneo donde el desarrollo vegetal es más lento y condicional y se verifica una disponibilidad mucho menor de especies con capacidad de desarrollo vegetativo que permitan técnicas de instalación donde esas partes constituirían desde el momento de construcción un elemento estructural operacional de la intervención.

Por eso es crítico desarrollar un esfuerzo integrado de sistematización de la información disponible y de experimentación.

Este dominio de la experimentación es, sin duda el más carenciado pues que se verifica una concentración de los estudios en la caracterización morfo fisiológica de los aparatos radiculares y ay aun muy pocos estudios sistemáticos sobre la funcionalidad técnica de esos aparatos - por ej.: Flexibilidad (en función del diámetro), Resistencia a la tracción (MPa) o tensión de corte.

Por eso me parece crítico una coordinación entre los distintos actores dentro de la Bioingeniería de modo a flexibilizar este proceso de colección de información y de creación de un sistema eficaz de información bio-técnica de apoyo a todos.

La Universidad de Évora procurará garantizar la disponibilidad de la base de datos en producción hacia el final de este año. Todas las sugerencias y contribuciones serán acogidas con alegría.

#### **BIBLIOGRAFÍA**

Ayala Carcedo,

Coppin, N.J. & Richards, I.G. [Eds.] (1990): Use of Vegetation in Civil Engineering. Construction Industry Research and Information Association (CIRIA). Butterworths, London

Cornellini, P.; Sauli, G., 2005 – Manuale di Indirizzo delle scelte progettuali per interventi di Ingegneria Naturalistica. Ministero dell’Ambiente y della Tutela del Territorio, Roma

Costa Pérez, J.C.; Sánchez Lancha; A., 2007 – Manual para la identificación y reproducción de semillas de especies vegetales autóctones de Andalucía, Consejería del Medio Ambiente, Sevilla

EFIB (Europäische Föderation für Ingenieurbioogie), 2008 - Vorschlag für EFIB Richtlinie Ingenieurbioogie - EFIB RI Teil 1, Documento interno de trabajo

Fernandes, J.P.; Cruz, C.S., 2009 – Portugal: die Herausforderungen an die Ingenieurbiologie, Verein für Ingenieurbiologie, Mitteilungsblatt Nr. 4, pp 40-47

Franco,

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

Grime, J. Philip, 2002 - Plant Strategies, Vegetation Processes and Ecosystem Properties - J.Wiley and Sons, New York

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

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

Mc Donnell, M.J.; S.T.A. Pickett (eds.), 1997 - Human as components of ecosystems - the subtle human effects and populated areas, Springer, New York

Mendonça, A.A.; Cardoso, A.S., 1998 – Contribuição da vegetación para a estabilidade de taludes. Parte I – Enquadramento geral. Geotecnica nº 82, pp 51-62

Oliveira, G., 2008 – Plantaciones, Curso Técnico de Restauración Ecológica de Canteras, Outão (Setúbal), Portugal, 24 – 27 / 09 / 2008

Pignatti, S., 2005. Valori di bioindicazione delle piante vascolari della flora d'Italia. Braun-Blanquetia 39, 3–97

Rauch, H.P., 2008 – Application of soil bioengineering techniques for river engineering projects with special focus on hydraulic and morphological issues. Documento não publicado de apoio a aulas, Universidade de Évora

Regione Lazio, Assessorato per l'Ambiente, (2001): Manuale di Ingegneria naturalistica, Naturstudio Trieste, Universita della Tuscia, Viterbo

Ruiz de la Torre, J.; Gil Borrel, P.; Garcia Viñas, J.I. González Adrados, J.R.; Diaz-Ordóñez, F.G.; Ruza Tarrío, F. 1990 – Catalogo de especies vegetales la utilizar en plantaciones de carreteras, MOPU, Ministerior de Obras Publicas u Urbanismo, Madrid

Schiechl, H.M. (1980) - Bioengineering for land reclamation and conservation. Univ. of Alberta Press. Edmonton/Alberta

Schlüter, U., 1986 -

Silva

Silva

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)

Tremoçoiro, J., 1999 – Textos de apoio a la disciplina de “Project6os de Ingeniaria Biofísica”, no publicado, Universidade de Évora

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



## ANEXO 1

Especies con aptitud para las intervenciones de bioingeniería en Portugal continental

FAMILIA	ESPECIE	propagación vegetativa	sementeira
ACERACEAE	<i>Acer monspessulanum</i> L.	?	X
ACERACEAE	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	X	X
BETULACEAE	<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertner	X	X
GRAMINEAE	<i>Ammophila arenaria</i> (L.) Link subsp. <i>arundinaceae</i> H. Lindb. Fil.	X	X
ERICACEAE	<i>Arbutus unedo</i> L.		X
COMPOSITAE	<i>Artemisia campestris</i> L. subsp. <i>maritima</i> Arcangeli	X	X
CHENOPODIACEAE	<i>Atriplex halimus</i> L.	X	X
BETULACEAE	<i>Betula celtiberica</i> Rothm. & Vasc.		X
BUXACEAE	<i>Buxus sempervirens</i> L.	X	X
LEGUMINOSAE	<i>Calicotome villosa</i> (Poiret) Link		X
ERICACEAE	<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull		X
FAGACEAE	<i>Castanea sativa</i> Miller	X	X
THYMELAEAE	<i>Celtis australis</i> L.		X
LEGUMINOSAE	<i>Ceratonia siliqua</i> L.		X
PAPAVERACEAE	<i>Chamaerops humilis</i> L.		X
LEGUMINOSAE	<i>Chamaespartium tridentatum</i> (L.) P. Gibbs		X
COMPOSITAE	<i>Cheirolophus sempervirens</i> (L.) Pomel		X
CISTACEAE	<i>Cistus albidus</i> L.		X
CISTACEAE	<i>Cistus crispus</i> L.		X
CISTACEAE	<i>Cistus ladanifer</i> L.		X
CISTACEAE	<i>Cistus monspeliensis</i> L.		X
CISTACEAE	<i>Cistus populifolius</i> L. subsp. <i>populifolius</i>		X
CISTACEAE	<i>Cistus psilosepalus</i> Sweet.		X
CISTACEAE	<i>Cistus salvifolius</i> L.		X

EMPETRACEAE	<i>Corema album</i> (L.) D. Don subsp. <i>album</i>		X
CORNACEAE	<i>Cornus sanguinea</i> L. subsp. <i>sanguinea</i>	?	X
LEGUMINOSAE	<i>Coronilla valentina</i> L. subsp. <i>glauca</i> (L.) Batt. in Batt.		X
CORYLACEAE	<i>Corylus avellana</i> L.	X	X
ROSACEAE	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq. Fl. subsp. <i>brevispina</i> (G. Kunze) Franco		X
RUBIACEAE	<i>Crucianella maritima</i> L.		X
LEGUMINOSAE	<i>Cytisus grandiflorus</i> (Brot.) DC:		X
LEGUMINOSAE	<i>Cytisus multiflorus</i> (L` Hér) Sweet		X
LEGUMINOSAE	<i>Cytisus scoparius</i> (L.) Link. subsp. <i>scoparius</i>		X
LEGUMINOSAE	<i>Cytisus striatus</i> (Hill) Rothm.		X
ERICACEAE	<i>Daboecia cantabrica</i> (Hudson) C. Koch		X
THYMELAEACEAE	<i>Daphne gnidium</i> L.		X
GRAMINEAE	<i>Elymus farctus</i> (Viv.) Melderis subsp. <i>boreo-atlanticus</i> (Simonet & Guinochet) Melderis	X	X
GRAMINEAE	<i>Elymus farctus</i> (Viv.) Melderis subsp. <i>farctus</i>	X	X
ERICACEAE	<i>Erica arborea</i> L.		X
ERICACEAE	<i>Erica australis</i> L.		X
ERICACEAE	<i>Erica ciliaris</i> L.		X
ERICACEAE	<i>Erica cinerea</i> L.		X
ERICACEAE	<i>Erica erigena</i> R. Ross		X
ERICACEAE	<i>Erica lusitanica</i> Rudolphi in Schrader		X
ERICACEAE	<i>Erica scoparia</i> L. subsp. <i>scoparia</i>		X
ERICACEAE	<i>Erica umbellata</i> L.		X
CELASTRACEAE	<i>Euonymus europaeus</i> L.	X	X
RESEDACEAE	<i>Frangula alnus</i> Miller	?	X
MORACEAE	<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl subsp. <i>angustifolia</i>		X
LEGUMINOSAE	<i>Genista florida</i> L.		X
LEGUMINOSAE	<i>Genista triacanthos</i> Brot.		X
ARALIACEAE	<i>Hedera helix</i> L. subsp. <i>canariensis</i> (Willd) Coutinho	X	X
ARALIACEAE	<i>Hedera helix</i> L. subsp. <i>helix</i>	X	X
GRAMINEAE	<i>Hyparrhenia hirta</i> (L.) Stapf subsp. <i>pubescens</i> (Andersson) Paunero		X

OLEACEAE	<i>Jasminum fruticans</i> L.	X	X
CUPRESSACEAE	<i>Juniperus navicularis</i>	X	?
CUPRESSACEAE	<i>Juniperus phoenicea</i> L.		X
LABIATAE	<i>Lavandula viridis</i> L' Her		X
OLEACEAE	<i>Ligustrum vulgare</i> L.	X	X
LEGUMINOSAE	<i>Lygos monosperma</i> (L.) Heywood		X
LEGUMINOSAE	<i>Lygos sphaerocarpa</i> (L.) Heywood		X
ROSACEAE	<i>Malus sylvestris</i> Miller		X
MYOPORACEAE	<i>Myrica faya</i> Aiton		X
MYRICACEAE	<i>Myrica gale</i> L.	?	X
MYRTACEAE	<i>Myrtus communis</i> L. subsp. <i>communis</i>	X	X
APOCYNACEAE	<i>Nerium oleander</i> L.	X	X
OLEACEAE	<i>Olea europaea</i> L. var. <i>sylvestris</i>	X	X
LEGUMINOSAE	<i>Ononis natrix</i> L. subsp. <i>hispanica</i> (L. fil.) Coutinho		X
LEGUMINOSAE	<i>Ononis natrix</i> L. subsp. <i>ramosissima</i> (Desf.) Batt. & Trabut		X
COMPOSITAE	<i>Otanthus maritimus</i> (L.) Hoffmanns		X
OLEACEAE	<i>Phillyrea angustifolia</i> L.	?	X
OLEACEAE	<i>Phillyrea latifolia</i> L.	?	X
PINACEAE	<i>Pinus pinaster</i> Aiton		X
PINACEAE	<i>Pinus pinea</i> L.		X
PINACEAE	<i>Pinus sylvestris</i> L.		X
ANACARDIACEAE	<i>Pistacia lentiscus</i> L.	?	X
ANACARDIACEAE	<i>Pistacia terebinthus</i> L	?	X
SALICACEAE	<i>Populus alba</i> L.	X	X
SALICACEAE	<i>Populus nigra</i> L. subsp. <i>caudina</i>	X	X
ROSACEAE	<i>Prunus avium</i> L.	X	X
ROSACEAE	<i>Prunus dulcis</i> (Miller) D. A. Webb	X	X
ROSACEAE	<i>Prunus lusitanica</i> L. subsp. <i>lusitanica</i>	?	X
ROSACEAE	<i>Prunus mahaleb</i> L.	?	X
ROSACEAE	<i>Prunus padus</i> L. subsp. <i>padus</i>	?	X

ROSACEAE	<i>Prunus spinosa</i> L. subsp. <i>insititoides</i> (Fic. & Coutinho) Franco	X	X
ROSACEAE	<i>Pyrus bourgaeana</i> Decne.	?	X
ROSACEAE	<i>Pyrus cordata</i> Desv.	?	X
ROSACEAE	<i>Pyrus pyraeaster</i> Burgsd.	?	X
FAGACEAE	<i>Quercus canariensis</i> Willd.		X
FAGACEAE	<i>Quercus coccifera</i> L.		X
FAGACEAE	<i>Quercus faginea</i> Lam.		X
FAGACEAE	<i>Quercus pyrenaica</i> Willd.		X
FAGACEAE	<i>Quercus robur</i> L.		X
FAGACEAE	<i>Quercus rotundifolia</i> Lam		X
FAGACEAE	<i>Quercus suber</i> L.		X
RHAMNACEAE	<i>Rhamnus alaternus</i> L.	X	X
RHAMNACEAE	<i>Rhamnus lycioides</i> L. subsp. <i>oleoides</i> (L.) Jahandiez & Maire		X
ERICACEAE	<i>Rhododendron ponticum</i> L. subsp. <i>baeticum</i> (Boiis & Reuter) Hand-Mazz		X
LABIATAE	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	X	X
LEGUMINOSAE	<i>Ruscus aculeatus</i> L.	X	X
RUTACEAE	<i>Salix alba</i> L. subsp. <i>alba</i>	X	X
SALICACEAE	<i>Salix alba</i> L. subsp. <i>vitellina</i> (L.) Arcangeli	X	X
SALICACEAE	<i>Salix arenaria</i> L.	X	X
SALICACEAE	<i>Salix atrocinera</i> Brot.	X	X
SALICACEAE	<i>Salix fragilis</i> L.	X	X
SALICACEAE	<i>Salix repens</i> L.	X	X
SALICACEAE	<i>Salix salvifolia</i> Brot. subsp. <i>australis</i> Franco	X	X
SALICACEAE	<i>Salix salvifolia</i> Brot. subsp. <i>salvifolia</i>	X	X
SALICACEAE	<i>Salix triandra</i> L. subsp. <i>discolor</i> (Koch) Arcangeli	X	X
CAPRIFOLIACEAE	<i>Sambucus nigra</i> L.	X	X
COMPOSITAE	<i>Santolina impressa</i> Hoffmanns & Link	X	X
EUPHORBIACEAE	<i>Securinega tinctoria</i> (L.) Rothm.	?	X
ROSACEAE	<i>Sorbus aucuparia</i> L. subsp. <i>aucuparia</i>	?	X
ROSACEAE	<i>Sorbus latifolia</i> (Lam.) Pers.	?	X

ROSACEAE	<i>Sorbus torminalis</i> (L.) Crantz	?	X
GRAMINEAE	<i>Spartina maritima</i> (Curtis) Fernald	X	X
LEGUMINOSAE	<i>Spartium junceum</i> L.		X
SOLANACEAE	<i>Tamarix africana</i> Poiret	X	X
PINACEAE	<i>Taxus baccata</i> L.	X	X
LABIATAE	<i>Thymus camphoratus</i> Hoffmanns & Link		X
LABIATAE	<i>Thymus capitatus</i> (L.) Hoffmanns & Link		X
LABIATAE	<i>Thymus capitellatus</i> Hoffmanns & Link		X
LABIATAE	<i>Thymus carnosus</i> Boiss		X
ERICACEAE	<i>Vaccinium myrtillus</i> L.		X
CAPRIFOLIACEAE	<i>Viburnum tinus</i> L subsp. <i>tinus</i>	X	X

Anexo 2

Especies con aptitud para las intervenciones de bioingeniería en Portugal continental segundo el zonamento fitogeográfico (Fig 2)

ESPECIE	NW mN	NW mS	NW oN	NW oS	Nel	Neu	TQ	TF	CW a	CW b	CW ca	CW c	Cwo	CN	CSa	CS m	CSp	CEc	CE mN	CE mS	SW m	SW me	SWs	SEm	SEs	Barr oc	Barl v	Sotv
<i>Juniperus turbinata</i>										E	E	E	E		E	E	E				E	E	E		E	E	E	E
<i>Salix fragilis</i> L.	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE		SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE
<i>Salix alba</i> L. subsp. <i>alba</i>										E	E	E	E		E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
<i>Salix vitellina</i> (L.) Arcangeli										SE	SE	SE	SE		SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE
<i>Salix triandra</i> L. subsp. <i>discolor</i>	E	E	E	E	E	E																						
<i>Salix atrocinerea</i> Brot.	E	E	E	E	E	E	E	E		E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
<i>Salix salvifolia</i> Brot. subsp. <i>salvifolia</i>	E	E	E	E	E	E	E	E						E	E	E	E	E	E	E								
<i>Salix salvifolia</i> Brot. subsp. <i>Australis</i>																						E	E	E	E			
<i>Salix repens</i> L.			E																									
<i>Salix arenaria</i> L.										E																		
<i>Juglans regia</i> L.	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE		SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE					
<i>Betula celtiberica</i> Rothm. & Vasc.			E	E																								
<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertner	E	E	E	E	E	E	E	E		E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
<i>Corylus avellana</i> L.	E	E											E		E				E	E								
<i>Castanea sativa</i> Miller	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE					SE	SE					SE			SE		SE	SE			
<i>Quercus coccifera</i> L.										E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
<i>Quercus rotundifolia</i> Lam.					E	E	E	E		E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
<i>Quercus suber</i> L.	E	E	E	E	E	E	E	E		E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
<i>Quercus robur</i> L.	E	E								E			E	E														
<i>Quercus pyrenaica</i> Willd.	E	E	E	E	E	E		E		E	E	E	E	E										E				
<i>Quercus faginea</i> Lam.					E	E	E	E		E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
<i>Celtis australis</i> L.					E	E	E	E			E							E		E								
<i>Atriplex halimus</i> L.									E	E	E	E	E			E	E				E	E				E	E	E











<i>Acanthus mollis</i> L.	E	E									E	E					E	E	E					E						
<i>Plantago coronopus</i> L. sensu lato	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	
<i>Sambucus nigra</i> L.	E	E	E	E			E	E		E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E							
<i>Viburnum tinus</i> L. subsp. tinus							E			E	E	E	E				E	E	E	E	E	E	E	E						
<i>Otanthus maritimus</i> (L.) Hoffmanns & Link	E	E							E	E	E	E	E			E	E					E	E				E	E	E	
<i>Artemisia caerulescens</i> L. subsp. caerulescens																E						E	E					E	E	
<i>Artemisia campestris</i> L. subsp. glutinosa (Besser) Batt. & Trabut	E	E							E												E		E							
<i>Artemisia campestris</i> L. subsp. maritima Arcangeli	E	E							E	E	E	E	E			E	E					E	E				E	E	E	
<i>Ruscus aculeatus</i> L.	E	E	E	E	E	E	E	E		E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	
<i>Lolium perenne</i> L.	E	E	E	E			E	E		E	E	E				E		E	E	E		E		E	E	E				
<i>Elymus repens</i> (L.) Gould subsp. repens	E	E								E	E	E				E	E					E			E	E			E	
<i>Elymus farctus</i> (Viv.) Melderis subsp. farctus										E												E	E						E	
<i>Elymus farctus</i> (Viv.) Melderis subsp. boreo-atlanticus (Simonet & Guinochet) Melderis	E	E							E	E	E	E	E			E	E					E	E				E	E	E	
<i>Lagurus ovatus</i> L.	E	E							E	E	E	E	E			E	E					E	E				E	E	E	
<i>Ammophila arenaria</i> (L.) Link subsp. arundinaceae H. Lindb.	E	E							E	E	E	E	E			E	E					E	E				E	E	E	
<i>Arundo plinii</i> Turra									E	E	E				E	E														
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Steudel	E	E	E	E	E	E	E	E		E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	
<i>Molinia caerulea</i> (L.) Moench	E	E	E	E				E		E		E			E							E			E					
<i>Nardus stricta</i> L.			E	E	E			E																						
<i>Sporolobus pungens</i>																											E		E	E



















