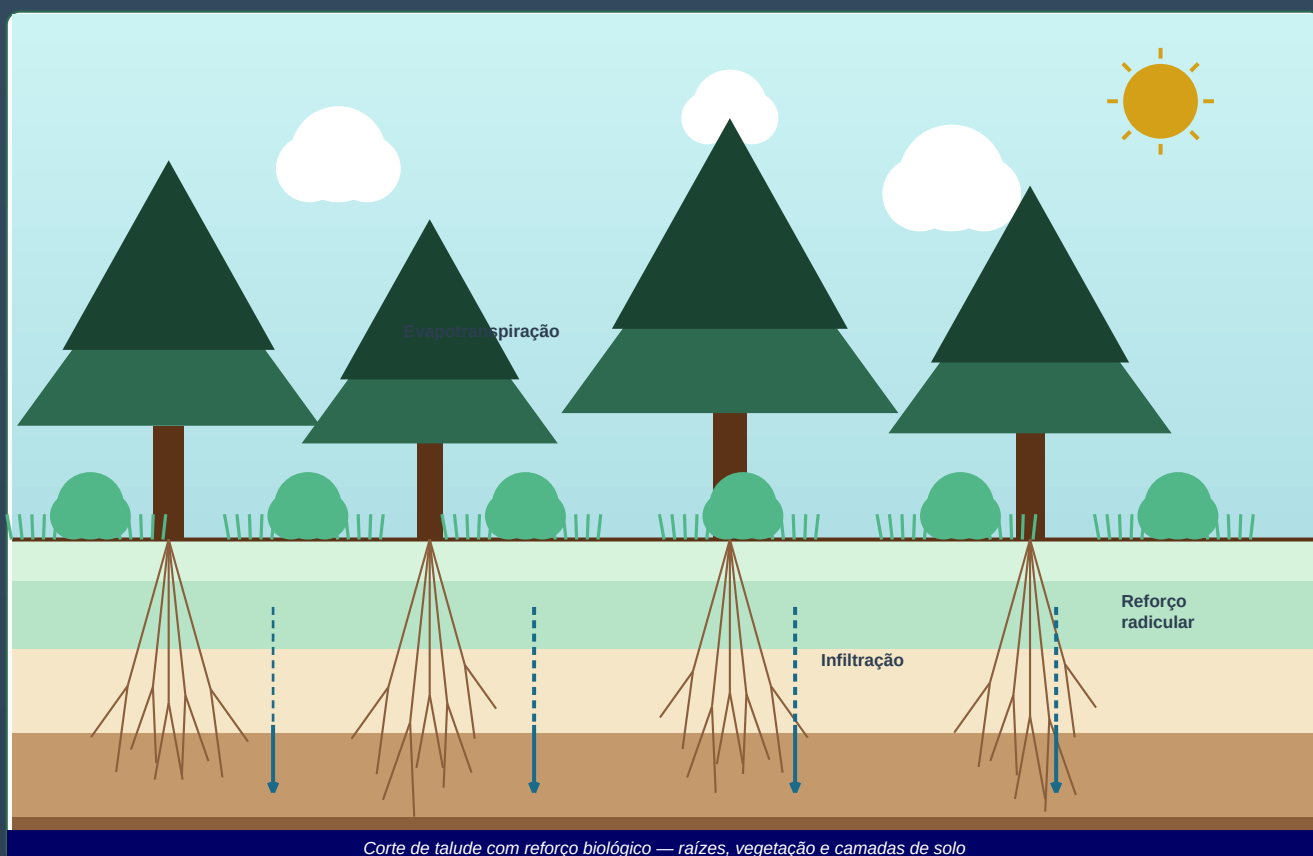


Engenharia Natural Fundamentos e Princípios

Manual Técnico de Referência para Profissionais em Portugal

Fundamentos científicos, história, técnicas e aplicações da Engenharia Natural. Volume de referência para engenheiros, arquitetos paisagistas e técnicos ambientais em Portugal.

01



Coleção Técnica EcoSalix · Volume 01 de 15

Manuais Técnicos de Engenharia Natural para Profissionais em Portugal

ECOSALIX

Sistemas Ecológicos de Engenharia Natural, Lda

Engenharia Natural Fundamentos e Princípios

Manual Técnico de Referência para Profissionais em Portugal

Publicação: EcoSalix — Sistemas Ecológicos de Engenharia Natural, Lda

Morada: Rua D, Lote 8 · Zona Industrial Casal dos Frades · 2435-661 Ourém

Contacto: geral@ecosalix.pt · +351 964 169 349

Website: www.ecosalix.pt

Ano: 2025

Versão: 1.0 — Volume 01/15 da Coleção Técnica EcoSalix

Público-alvo: Engenheiros, Arquitetos Paisagistas, Técnicos Ambientais, Biólogos, Gestores de Espaços Naturais

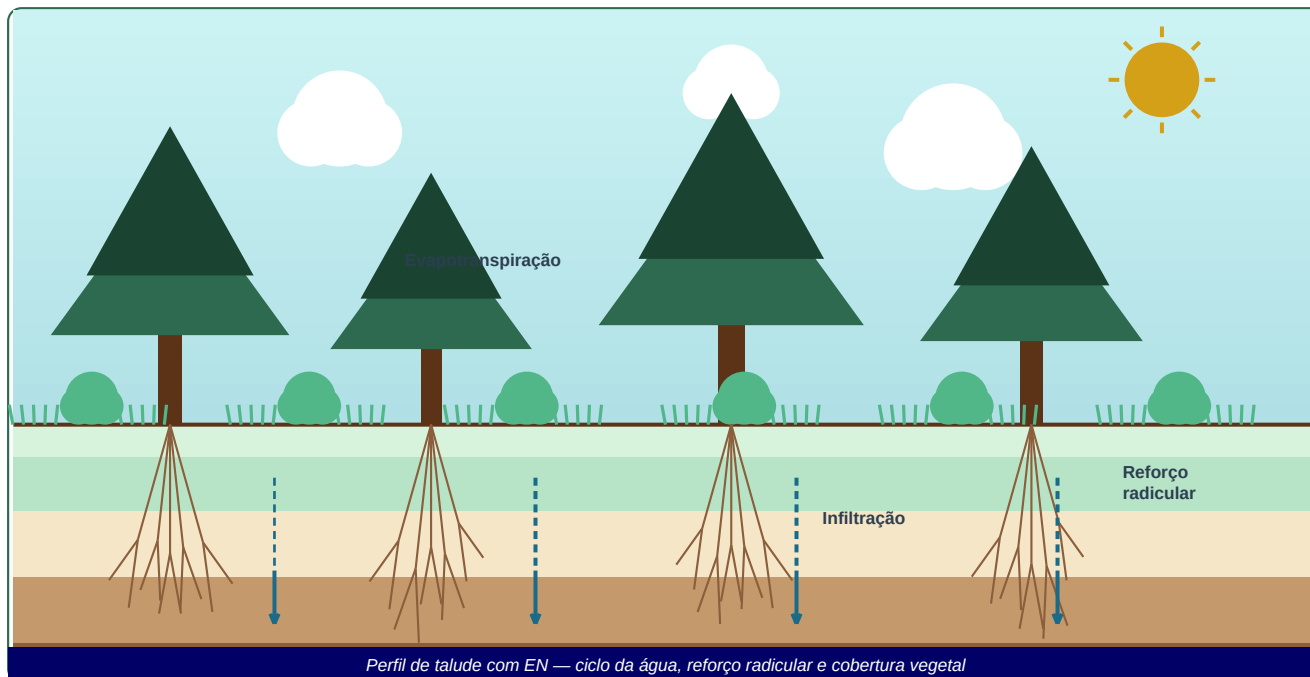
Este documento é propriedade intelectual da EcoSalix — Sistemas Ecológicos de Engenharia Natural, Lda. A reprodução total ou parcial sem autorização expressa da empresa é proibida. As informações técnicas contidas neste manual têm carácter informativo e de referência, não substituindo o julgamento profissional qualificado na aplicação de soluções técnicas específicas. A EcoSalix não se responsabiliza pela aplicação indevida das técnicas descritas sem adequada avaliação técnica do local e das condições específicas de cada projeto.

Índice

Engenharia Natural Fundamentos e Princípios · Manual Técnico

● 1. Definição, Âmbito e Relevância da Engenharia Natural	4
● 2. Fundamentos Geotécnicos — O Solo como Sistema Vivo	5
● 3. História da Engenharia Natural e Evolução em Portugal	6
● 4. Catálogo de Técnicas — Descrição e Comparação	7
● 5. Espécies Prioritárias para EN em Portugal	8
● 6. Dimensionamento Geotécnico em EN — Metodologia	9
● 7. Análise Económica e Custo de Ciclo de Vida	10
● 8. Enquadramento Legal e Licenciamento em Portugal	11
● 9. Casos de Estudo — Projetos de Referência EcoSalix	12
● 10. Metodologia EcoSalix — Do Diagnóstico à Monitorização	13

1. Definição, Âmbito e Relevância da Engenharia Natural



A Engenharia Natural (EN) — também designada Bioengenharia do Solo ou Engenharia Biotécnica — é a ciência e a prática de usar organismos vivos, principalmente plantas vasculares, como materiais de construção primários em obras de estabilização e proteção do território. Distingue-se da engenharia convencional por trabalhar com materiais vivos cujas propriedades mecânicas e hidráulicas melhoram progressivamente ao longo do tempo — o fenómeno do "auto-reforço biológico".

Em Portugal, a EN tem relevância estratégica crescente: o país enfrenta taxas de erosão das mais altas da Europa (26% do território com perdas >11 t/ha/ano), incêndios florestais recorrentes (média 85 000 ha/ano, 2010-2023), e tem metas vinculativas de restauração de 30% dos ecossistemas degradados até 2030 (EU Nature Restoration Law). A EN é a ferramenta técnica mais custo-eficaz para atingir estas metas.

Bioengenharia do Solo: Disciplina que utiliza plantas vivas — raízes, caules e ramos — como elementos de reforço. Combina efeitos mecânicos (resistência ao corte) com efeitos hidrológicos (evapotranspiração) e ecológicos (biodiversidade, habitat).

Técnica Biotécnica: Solução que combina elementos vivos (bioengenharia) com elementos inertes de engenharia civil (aço, geossintéticos), aproveitando sinergias entre os dois sistemas.

Reforço Radicular (ΔC): Incremento de coesão aparente do solo resultante do crescimento de raízes. Quantificado pelo $\Delta C = Tr \cdot (Ar/A) \cdot (\sin \beta + \cos \beta \cdot \tan \phi)$. Varia de 1-3 kPa (gramíneas) a 15-20 kPa (árvores adultas).

Serviços Ecossistémicos: Benefícios que a EN fornece para além da estabilização: sequestro de CO₂, regulação biodiversidade, valor paisagístico e recreativo, filtragem de poluentes difusos.

2. Fundamentos Geotécnicos — O Solo como Sistema Vivo

Compreender o comportamento geotécnico do solo é condição essencial para dimensionar soluções de EN eficazes. O solo é um sistema trifásico (sólidos, água, ar) cujas propriedades mecânicas — coesão (c') e ângulo de atrito interno (ϕ') — determinam a resistência ao corte: $\tau = c' + \sigma' \cdot \tan \phi'$ (Critério de Mohr-Coulomb).

Mecanismo de Reforço Radicular

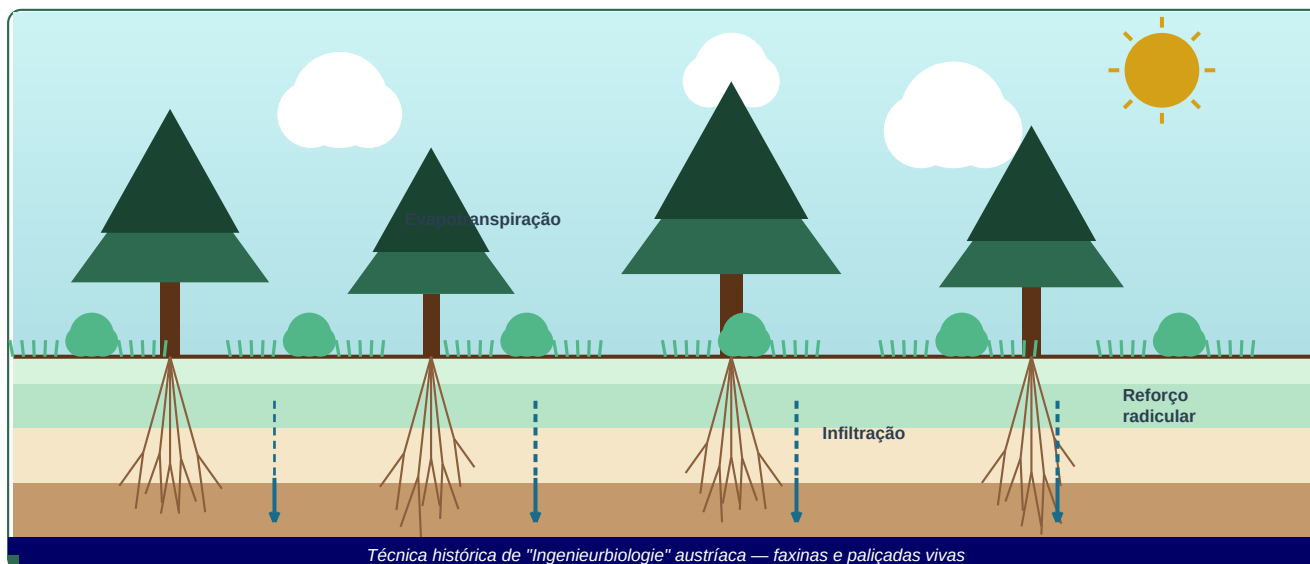
As raízes atuam como micro-estacas ou armaduras biológicas que "cossem" o solo. A coesão adicional (ΔC) depende da resistência à tração dos tecidos radiculares ($Tr = 5-40$ MPa), da razão área radicular/área total ($Ar/A = 0.001-0.003$) e do ângulo de mobilização ($\beta \approx 40-60^\circ$). Em condições portuguesas, estudos com *Salix atrocinerea* (EcoSalix 2019) mediram $\Delta C = 5-12$ kPa, equivalente a um fator de segurança adicional de 0,3-0,6 pontos em taludes típicos de 2H:1V.

Mecanismo Hidrológico

A vegetação reduz a pressão de água intersticial (u) de dois modos: (1) Evapotranspiração — uma árvore adulta de *Salix* pode transpirar 200-400 L/dia, reduzindo u em 10-30 kPa durante a estação seca; (2) Interceptação — o dossel da galeria ripária interceta 15-40% da precipitação. A redução de u aumenta a tensão efetiva ($\sigma' = \sigma - u$) e, portanto, a resistência ao corte.

Espécie	ΔC (kPa)	Prof. Ativa (m)	Tr (MPa)	Tempo p/ Eficácia
Festuca rubra (gramínea)	1.0 – 2.5	0.1 – 0.3	8-15	3-6 meses
Cytisus scoparius (giesta)	3.5 – 7.0	0.3 – 0.8	20-35	12-24 meses
Salix atrocinerea (salgueiro)	5.0 – 12.0	0.5 – 1.5	15-28	6-18 meses
Populus nigra (choupo)	6.0 – 14.0	0.8 – 2.5	18-32	18-36 meses
Alnus glutinosa (amieiro)	5.5 – 11.0	0.5 – 1.8	16-30	12-30 meses
Pinus pinaster (pinheiro)	8.0 – 18.0	1.0 – 3.0	25-40	36-60 meses

3. História da Engenharia Natural e Evolução em Portugal



Pioneiros Europeus

A "Ingenieurbiologie" (Bioengenharia) austríaca e alemã é a base da EN moderna. Hugo Schiechl (1913-1998) é o grande sistematizador: a sua obra "Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau" (München, 1973) definiu as técnicas fundamentais ainda hoje usadas. Florineth (2004), Sauli (1997) e Gray & Sotir (1996) expandiram a disciplina para a Europa mediterrânica e América do Norte.

EN em Portugal

Em Portugal, as primeiras aplicações sistematizadas de EN surgem no final dos anos 1990, nas obras rodoviárias do IP5 e A25 (Beira Interior), sob influência de técnicos austríacos e alemães. A EcoSalix, fundada em 2012 em Ourém, foi das primeiras empresas a praticar EN de forma sistemática e baseada em evidência científica, participando também no projeto europeu ECOMED (Erasmus+ 2019-2022, 8 países mediterrânicos).

Quadro Político Atual

O Green Deal Europeu (2019), a Estratégia de Biodiversidade 2030, a EU Nature Restoration Law (2023) e o Plano Nacional de Restauro da Natureza criam um contexto político sem precedentes para a EN. Portugal tem metas vinculativas: restaurar 30% dos ecossistemas degradados até 2030, com ênfase em zonas fluviais, dunas, pradarias e florestas. O financiamento disponível via PRR e POSEUR é significativo.

4. Catálogo de Técnicas — Descrição e Comparação

Técnica	Tipo	Inclinação Máx.	Época Instalaç.	Eficácia (1-5)	€/m²
Hidrossementeira	Biotécnica	Qualquer	Todo o ano	4	1.5-5
Geotêxtil biodegradável	Biotécnica	Qualquer	Todo o ano	3	2-8
Estacaria viva	Biológica	60°	Nov-Mar	4	3-7
Faxina viva	Biológica	50°	Nov-Mar	5	7-14
Entrançado vivo	Biológica	45°	Nov-Mar	4	12-20
Camadas de ramagem	Biológica	70°	Nov-Mar	5	13-23
Paliçada viva	Biológica	80°	Nov-Mar	5	18-30
Bio-rolo (margem)	Biotécnica	N/A	Todo o ano	5	15-26/m
Gabião vegetado	Biotécnica	90°	Todo o ano	5	35-70
Geocélula + vegetação	Biotécnica	70°	Todo o ano	4	20-45

5. Espécies Prioritárias para EN em Portugal

Catálogo de Espécies para Engenharia Natural — Portugal Continental e Ilhas

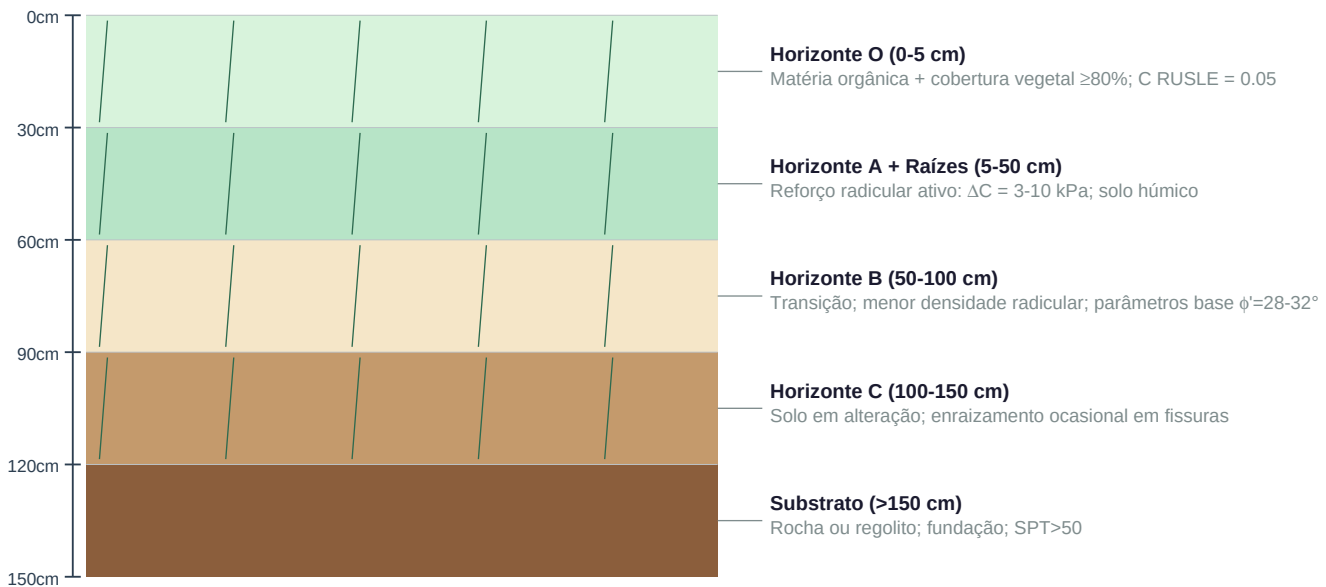
Nome Comum	Nome Científico	Família	Uso em EN
Salgueiro Cinzento	Salix atrocinerea	Salicaceae	Estacaria/faxinas — zonas ripárias; universal
Salgueiro Branco	Salix alba	Salicaceae	Estacaria grande porte — margens fluviais
Choupo Negro	Populus nigra	Salicaceae	Estacaria alto porte — ribeiras caudalosas
Amieiro	Alnus glutinosa	Betulaceae	Margens ripárias — fixa N■; excelente
Tamargueira	Tamarix africana	Tamaricaceae	Zonas costeiras, estuários, solos salinos
Sabugueiro	Sambucus nigra	Adoxaceae	Encostas sombrias e frescas; crescimento
Giesta	Cytisus scoparius	Fabaceae	Encostas secas — fixadora de azoto;
Esteva	Cistus ladanifer	Cistaceae	Pós-fogo; mediterrânico; colonizadora rápida
Rosmaninho	Lavandula stoechas	Lamiaceae	Solos pobres e secos; mediterrânico;
Feno-das-areias	Ammophila arenaria	Poaceae	Fixação dunas — espécie-chave do sistema
Gramínha Vermelha	Festuca rubra	Poaceae	Hidrossementeira — cobertura rápida e
Junco	Juncus effusus	Juncaceae	Margens de água — zonas encharcadas e

6. Dimensionamento Geotécnico em EN — Metodologia

■ Nota Técnica:

O dimensionamento segue o Eurocódigo 7 (EN 1997-1), com verificação pelo método das fatias (Bishop/Morgenstern-Price via GeoStudio® SLOPE/W). FS mínimos: permanente $FS \geq 1.5$; temporário $FS \geq 1.3$; sismo $FS \geq 1.1$.

Corte Transversal Tipo — Talude Estabilizado com EN (2H:1V)



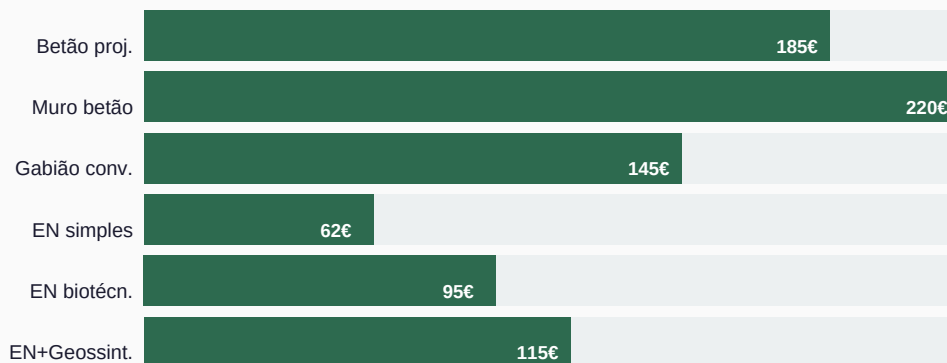
7. Análise Económica e Custo de Ciclo de Vida

A EN é sistematicamente mais económica que as soluções convencionais numa análise de ciclo de vida (LCC, 20-30 anos). O diferencial deve-se aos menores custos de manutenção, à ausência de custos de substituição e à valorização dos serviços ecossistémicos gerados.

Benefícios Quantificáveis da EN

Para além dos custos diretos, a EN gera valor monetizável: (1) Sequestro de carbono: 2-8 tCO₂/ha/ano, valorizável no mercado de carbono (40-60 €/tCO₂); (2) Retenção de solo: evita perdas de 10-100 t/ha/ano (custo agrícola: 50-200 €/t); (3) Regulação hídrica: redução de cheias e custos de dragagem; (4) Biodiversidade: elegível para subsídios agro-ambientais (PEPAC).

LCC Comparativo: EN vs. Soluções Convencionais (€/m², 20 anos)



8. Enquadramento Legal e Licenciamento em Portugal

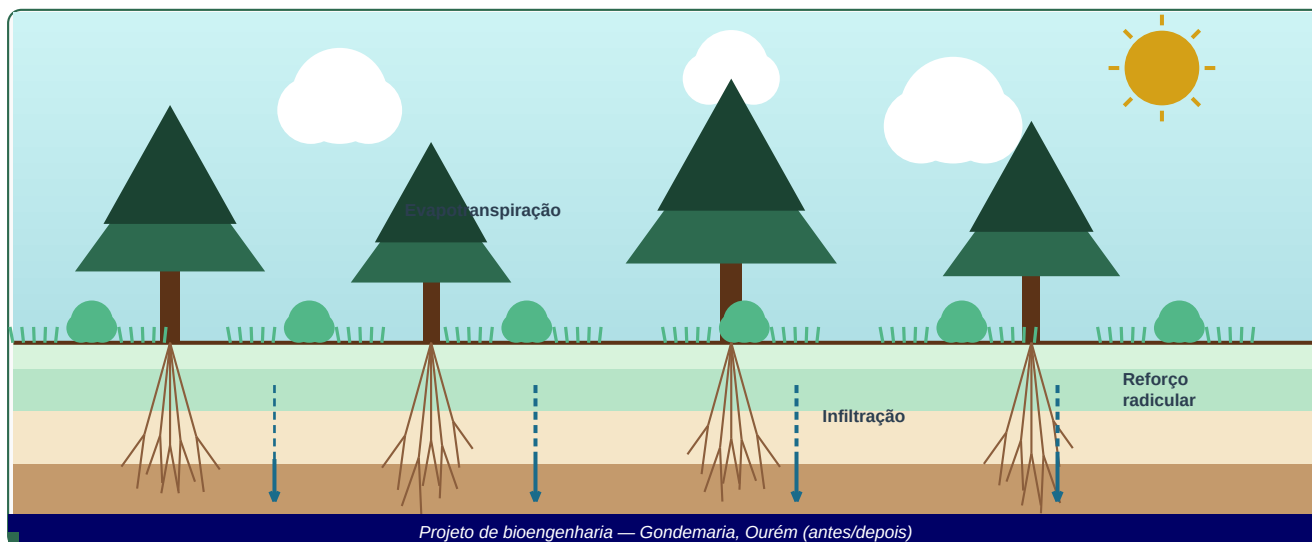
Processo de Licenciamento

Para projetos em Domínio Hídrico e áreas REN, o processo de licenciamento envolve pedido de ARH (Administração Regional de Hidrográfica), consulta à APA e, em áreas Natura 2000, avaliação de incidências ambientais. A EcoSalix apoia todo o processo.

Legislação e Normas Aplicáveis a Projetos de Engenharia Natural

- DL 166/2008 (RJREN, rev. 2012) — Intervenções em margens, leitos, dunas costeiras, cabeceiras de ribeiras e encostas com risco de erosão
- DL 73/2009 (RJLAN, rev. 2011) — Condicionantes em solos de aptidão agrícola elevada (RAN)
- Lei 58/2005 (Lei da Água) + DL 77/2006 — Regime do Domínio Hídrico: licenciamento de obras em leitos e margens de cursos de água
- DL 140/99 + DL 49/2005 — Rede Natura 2000: avaliação de impacte ambiental em ZPE e ZEC
- Lei 19/2014 (Lei de Bases do Ambiente) — Princípios gerais; responsabilidade ambiental
- DIN 18918:2002 — Norma alemã de referência europeia para bioengenharia; adotada em Portugal como base de projeto
- ÖNORM L 6240 — Norma austríaca de prestações de bioengenharia; detalhe de especificações
- Eurocódigo 7 (EN 1997-1:2004) — Projeto geotécnico; análise de estabilidade de taludes
- DL 92/2019 — Lista de espécies exóticas invasoras preocupantes para Portugal; relevante para seleção de espécies

9. Casos de Estudo — Projetos de Referência EcoSalix



Estudos de Caso — EcoSalix em Portugal (seleção)

projetado).

meses: cobertura 92%, NDVI 0.71, erosão <5 t/ha/ano, FS subiu de 1.1 para 1.6. Custo total: 18.400€ (vs. 65.000€ betão Festuca+Lotus+nativas) + faxinas vivas Salix em curva de nível (espaçamento 2m) + paliçadas de contenção. Resultado 18 t/ha de madeira em 8 ha, erosão laminar severa (estimada 45 t/ha/ano). Solução: hidrossementeira Tipo C (60 kg/ha,

Técnica de Erosão — Talude Agrícola + Hidrossementeira

■ **Gondemaria, Ourém (2017)**

2017

instabilidade registados.

hidrossementeira nativa + bio-roló Ø30 na base. FS subiu de 1.05 para 1.55. Cobertura >90% em 24 meses. Zero eventos de Erosão. Encosta alta 45°, 2,3 ha, risco de escorregamento elevado. Geocélulas GEOWEB 150mm + substrato orgânico +

Estabilização de Encosta — Geocélulas + Hidrossementeira

■ **Ilha Terceira, Açores (2017)**

2017

(www.ecomed-project.eu).

faxinas). Formação de 35 técnicos de autarquias e empresas. Material disponível em ECOMED Learning Platform

Workshop ECOMED — Demonstração Técnica 35 Técnicos

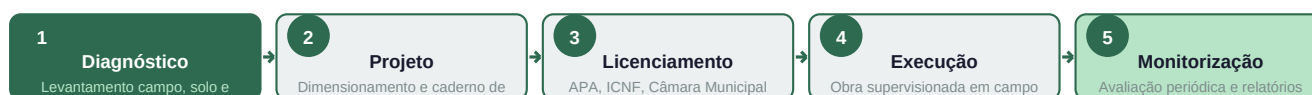
Arneiro das Milharichas, Santarém (2017)

2017

10. Metodologia EcoSalix — Do Diagnóstico à Monitorização

Indicador	Método	Freq.	Limiar de Alerta
Cobertura vegetal (%)	Quadrats DAFOR 50×50cm	30/90/180/360 d	<60% aos 90 dias
Taxa erosão (t/ha/ano)	Erosion pins 12/ha	Após evento	>5 mm/evento
NDVI	Drone multiespectral	6 em 6 meses	NDVI < 0.40
FS talude	Inclinómetros + SLOPE/W	Mensal (ano 1)	FS < 1.30
Qualidade da água	SST, turbidez, pH	Antes/após interv.	SST > 50 mg/L

Ciclo de Projeto EcoSalix — 5 Fases Integradas



Serviços EcoSalix

- **Engenharia Natural e Bioengenharia**
Estabilização de taludes, controlo de erosão, restauro ecológico
- **Arquitetura Paisagista**
Projeto de espaços verdes, jardins sustentáveis, espaços públicos
- **Engenharia Civil Ambiental**
Geossintéticos, estruturas ecológicas, drenagem natural
- **Consultoria Técnica**
Estudos de impacto, licenciamento, peritagem ambiental
- **Monitorização Ambiental**
UAV/drones, índices NDVI, relatórios de conformidade
- **Formação e Workshops**
Cursos práticos de bioengenharia, formação in-company

Contacte-nos

✉ geral@ecosalix.pt
☎ +351 964 169 349
🌐 www.ecosalix.pt

