

Engenharia de Sistemas Naturais em recuperação de Pedreiras - da teoria à prática

João Paulo Fernandes
ICAAM, Universidade de Évora

Enquadramento conceptual e prático da recuperação de áreas degradadas

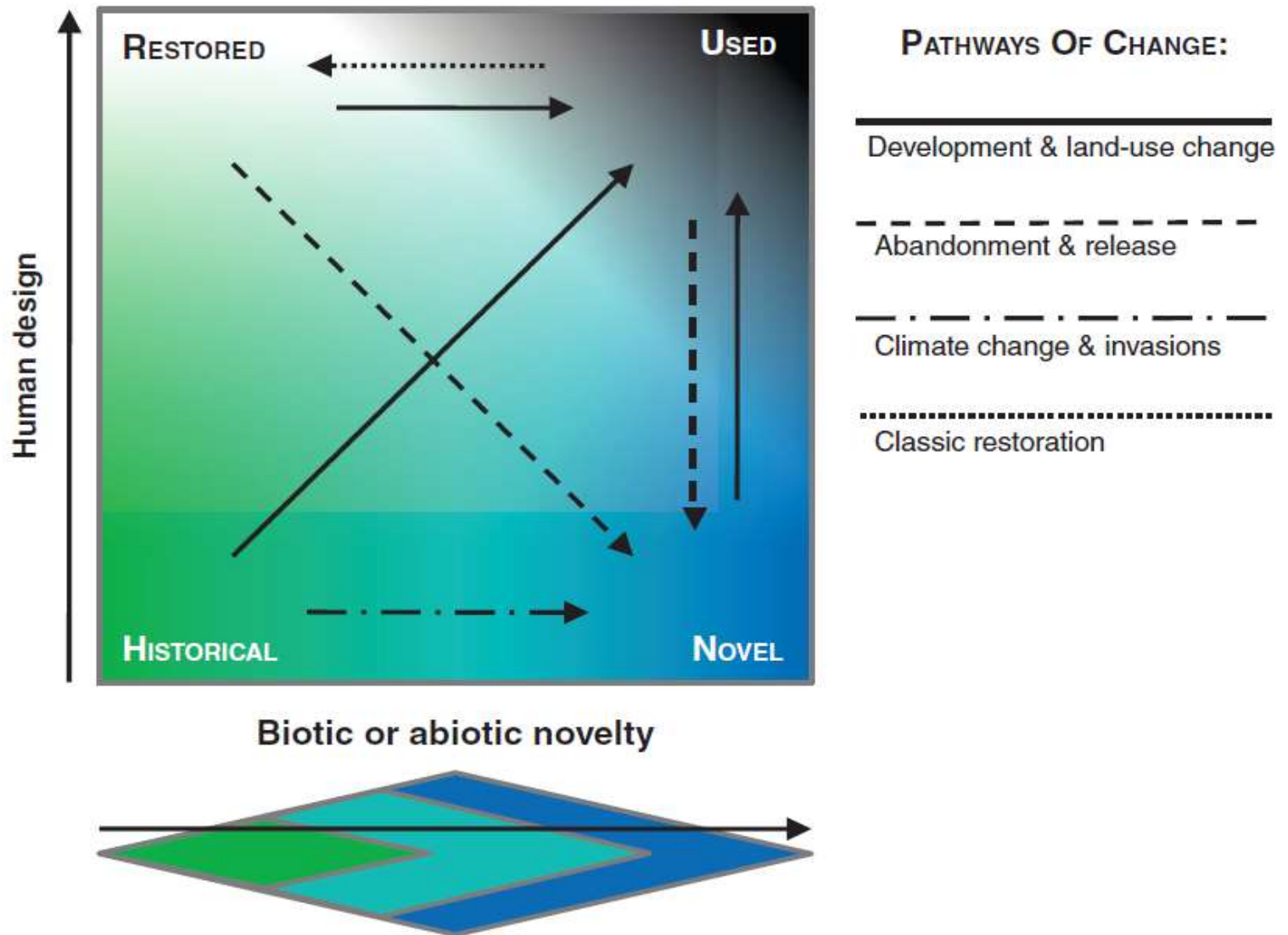
Quando se fala em recuperação (ecológica, ambiental, paisagística) está-se muitas vezes a incluir no mesmo termo uma grande variedade de conceitos que convém esclarecer.

- **Restauro** ecológico é o processo de ajudar o restabelecimento de um ecossistema que se degradou, foi danificado ou foi destruído, restaurando a sua integridade funcional e biótica original.
- **Reabilitação** ecológica refere-se igualmente aos ecossistemas originais mas foca-se mais na reparação dos processos, produtividade e serviços do ecossistema.
- **Recuperação** ecológica (ecological reclamation) utiliza-se normalmente no contexto das áreas degradadas (nomeadamente por actividades extractivas) e tem como principais objectivos a estabilização do terreno, a garantia da segurança pública, a melhoria estética e a recuperação dos terrenos para usos úteis no contexto regional.

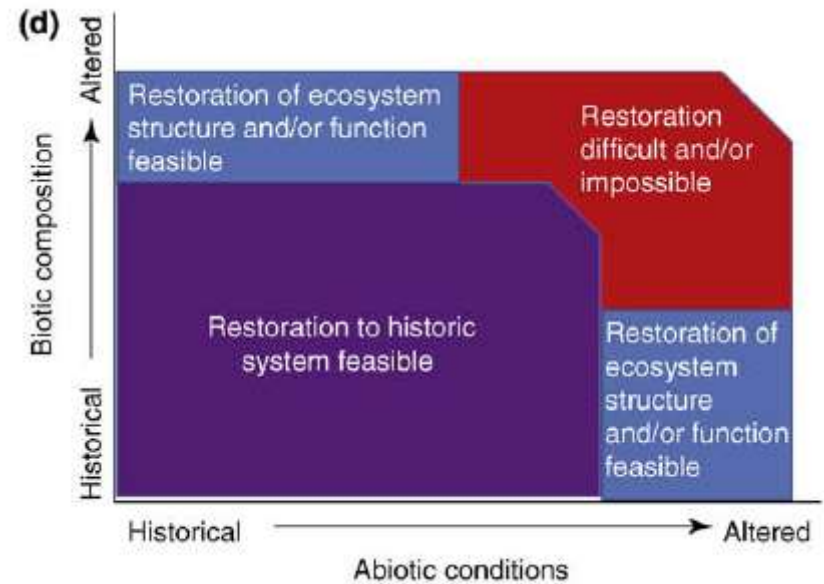
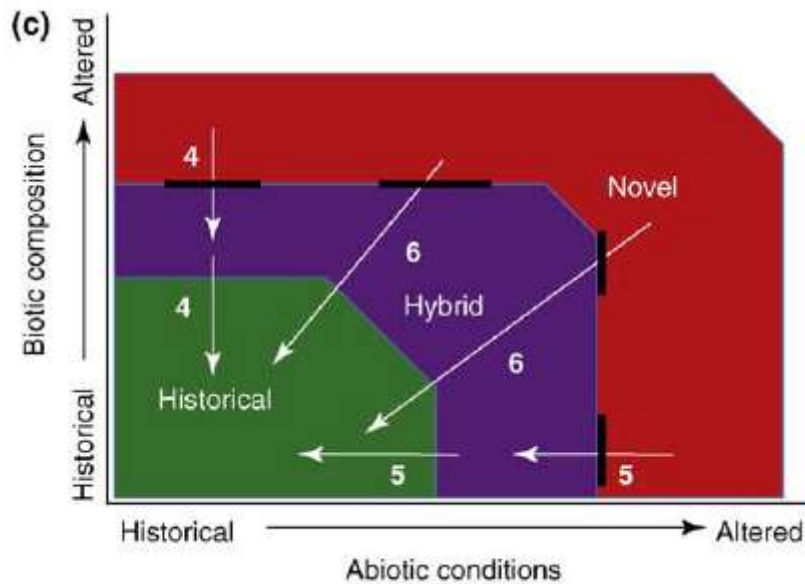
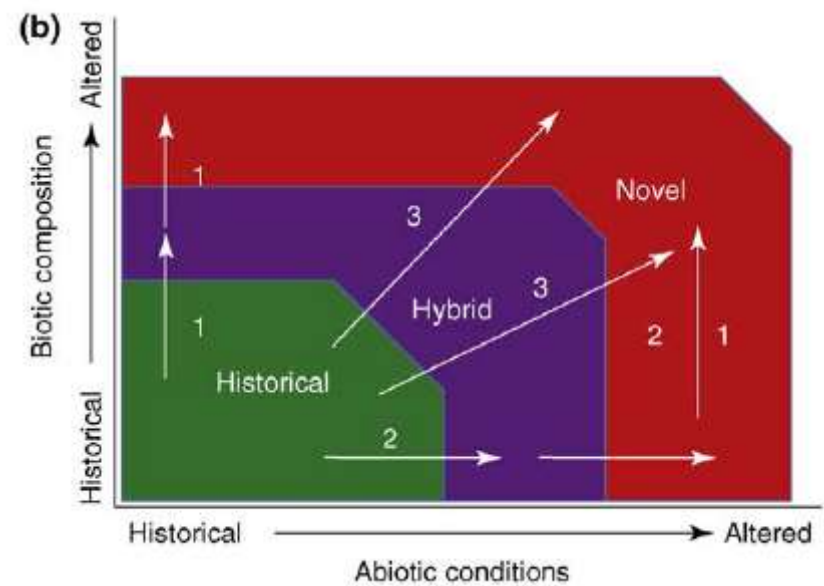
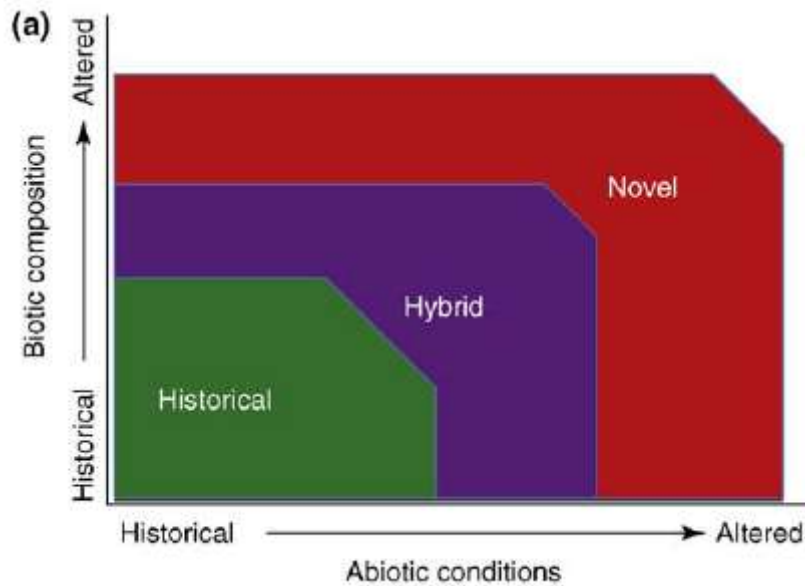
O Restauro pode ser conduzida em 5 contextos distintos:

- Recuperação de um ecossistema degradado ou danificado até ao seu estado original;
- Substituição de um ecossistema que foi completamente destruído por um da mesma natureza.
- Transformação (conversão) de um ecossistema num ecossistema ou tipo de uso de natureza diferente mas da mesma bio-região, que substitua o ecossistema que foi removido de uma paisagem na sequência de uma alteração irreversível da mesma.
- Substituição de um ecossistema que foi completamente destruído de uma forma que impede o estabelecimento de qualquer ecossistema da mesma bio-região por um ecossistema correspondente a uma composição inovadora de espécies indígenas.
- Substituição por um ecossistema de natureza diferente do potencial devido ao desconhecimento ou desaparecimento do ecossistema de referência na sequência de um historial milenar de uso e perturbação.

Os diferentes padrões de evolução dos sistemas ecológicos em quadros de uso



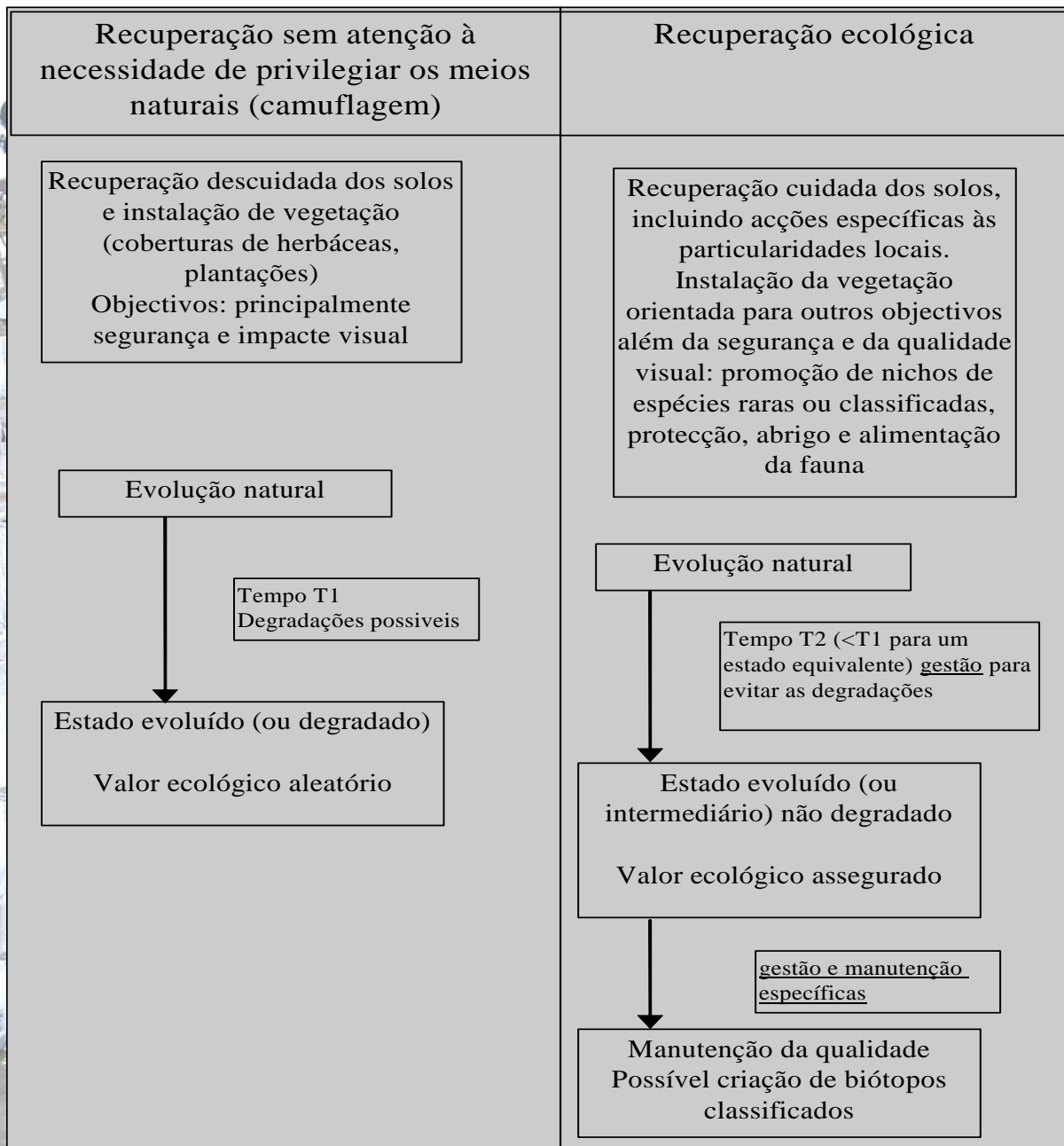
Os contextos de evolução e o espaço do restauro



Temos de ter sempre presente que:

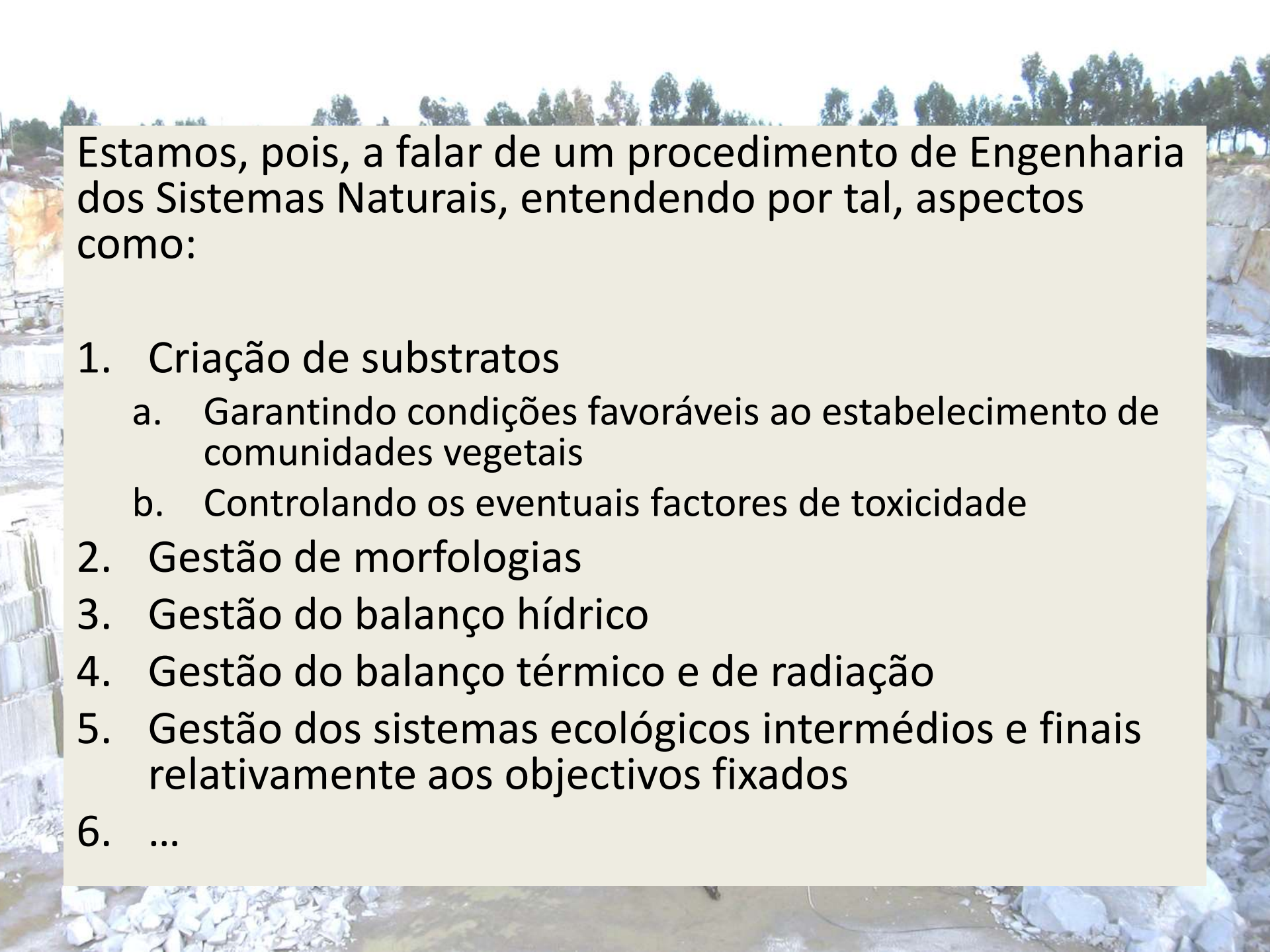
- Uma área degradada é uma área cujo potencial ambiental se encontra comprometido ou condicionado.
- Recuperar é repor a plena funcionalidade do potencial ambiental natural de uma área.
- O potencial natural de uma área é uma função espaço-temporal que corresponde à capacidade que essa área tem de fornecer de uma forma sustentável recursos ou serviços ambientais aos diferentes usos (ou utilizadores) susceptíveis de nele ocorrerem.
- Recuperação ambiental de uma área consiste na reposição da sua funcionalidade enquadrada pela natureza do seu estado subsequente à perturbação que a “degradou”. Reposição não significa reconstrução do original mas tão só apoio ao natural padrão de reequilíbrio que qualquer sistema experimenta após uma perturbação.

Recuperação ecológica é pois completamente distinta da “recuperação ou integração paisagística”





O processo de recuperação

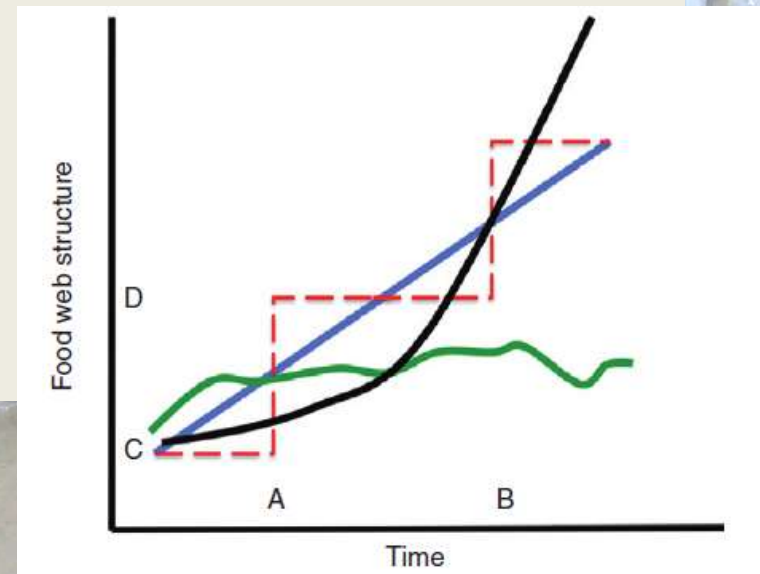


Estamos, pois, a falar de um procedimento de Engenharia dos Sistemas Naturais, entendendo por tal, aspectos como:

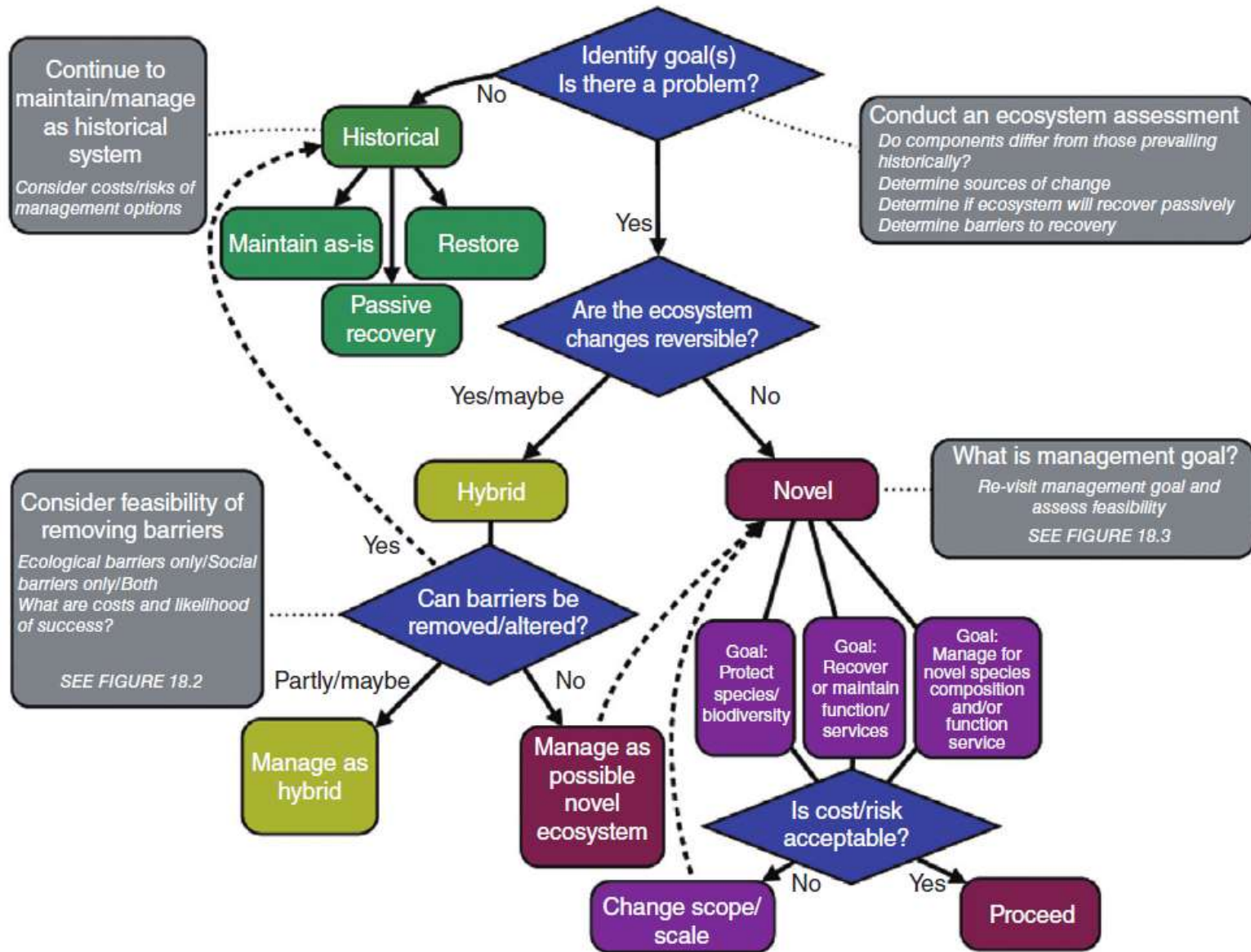
1. Criação de substratos
 - a. Garantindo condições favoráveis ao estabelecimento de comunidades vegetais
 - b. Controlando os eventuais factores de toxicidade
2. Gestão de morfologias
3. Gestão do balanço hídrico
4. Gestão do balanço térmico e de radiação
5. Gestão dos sistemas ecológicos intermédios e finais relativamente aos objectivos fixados
6. ...

Coloca-se pois a questão: qual é o sistema final?

- Criaram-se novas condições que implicam novas composições florísticas e faunísticas?
- Correspondem às condições locais?
- Criaram-se condições em que espécies estranhas permitam a recolonização por outras espécies nativas?
- Associado às condições criadas, ou por via delas, ocorreu uma colonização por espécies exógenas?
 - Mais concorrenciais (invasoras)
 - Únicas adequadas (uma comunidade nova de raiz)
 - Novas condições de trofia
- ...



Comprender o contexto do sistema a intervir



Os desafios a enfrentar têm de ser considerados no contexto presente e futuro:

O que significa que, num quadro de alteração climática, gerando tipologias de extremos diferentes das habituais:

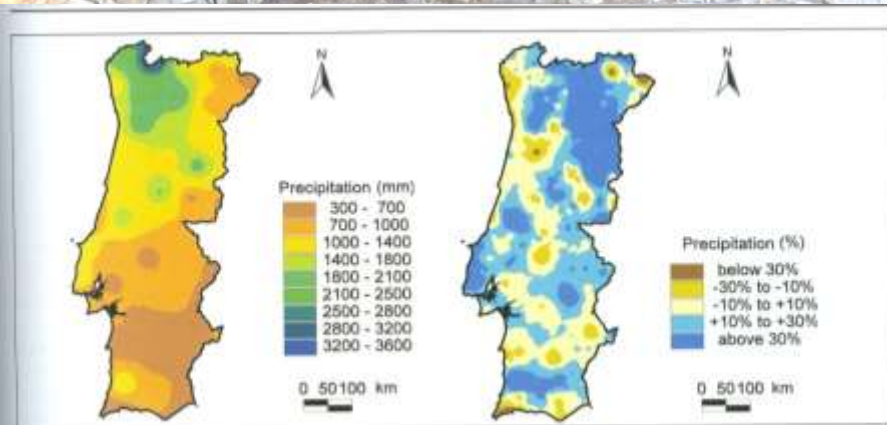


Figure 5.17 - HadRM2 control run average annual precipitation and ratio between the control run and the historical observations (1941/42-1993/93 period)

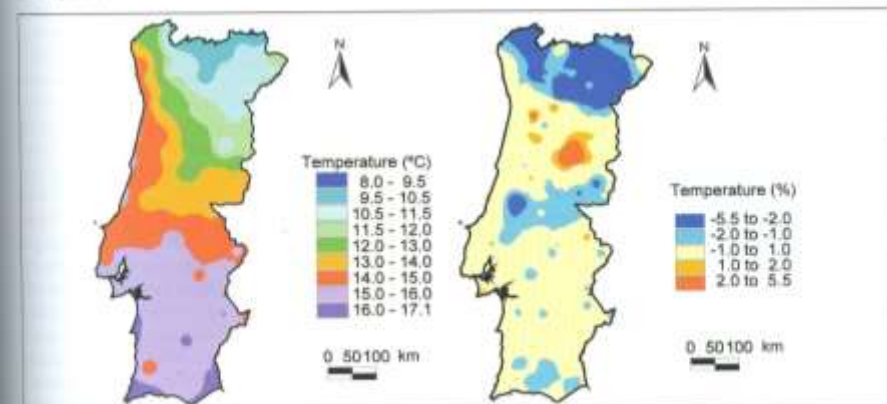


Figure 5.18 - HadRM2 control run annual average temperature and differences from historical observations (1961-1990 period)

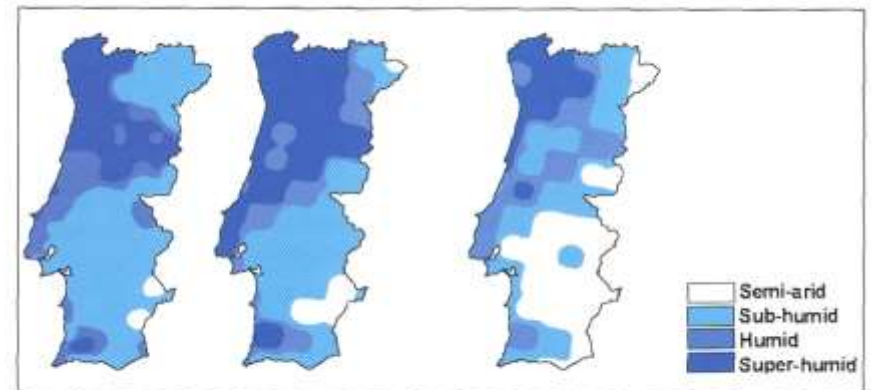


Figure 10.7 - Distribution of bioclimates (calculated with the Emberger Index) for the actual climate (50 years average) (left), control scenario climate (middle) and future scenario climate (right).

Nos confrontamos com cenários não só de variações das médias, mas também de aumento dos extremos:

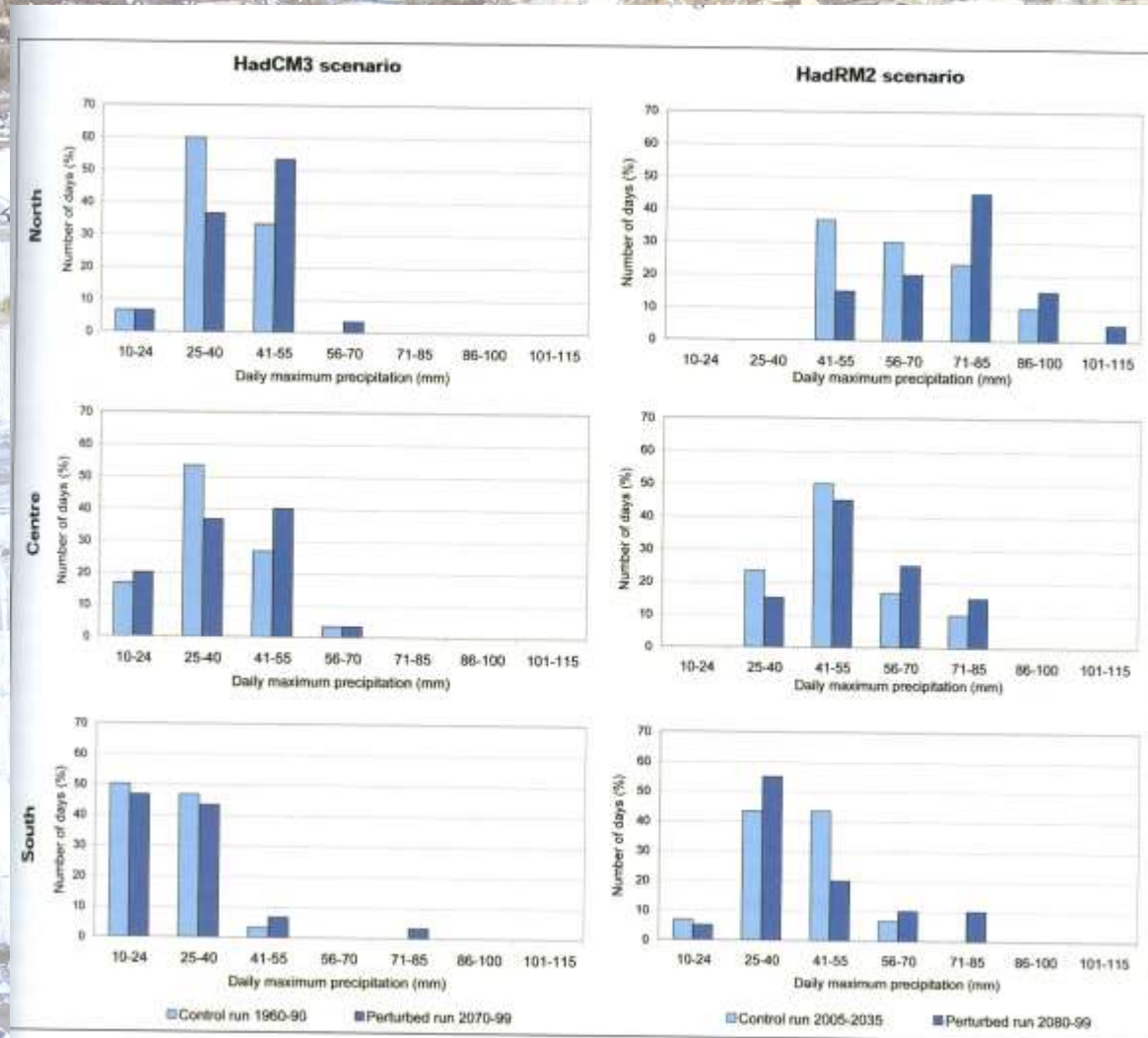


Figure 5.34 – Daily maximum precipitation values computed in the control run (2005-2035) and perturbed run (2080-2099) of HadCM3 and HadRM2

Isto implica, para o cenário hidrológico e pluviométrico nacional actual:

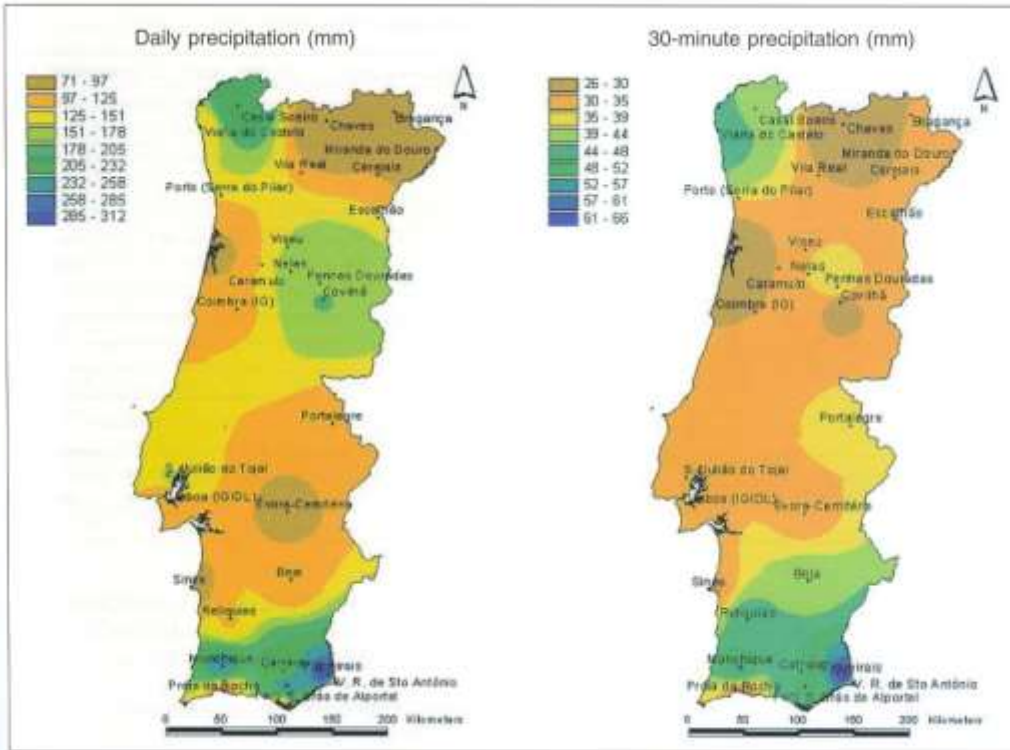
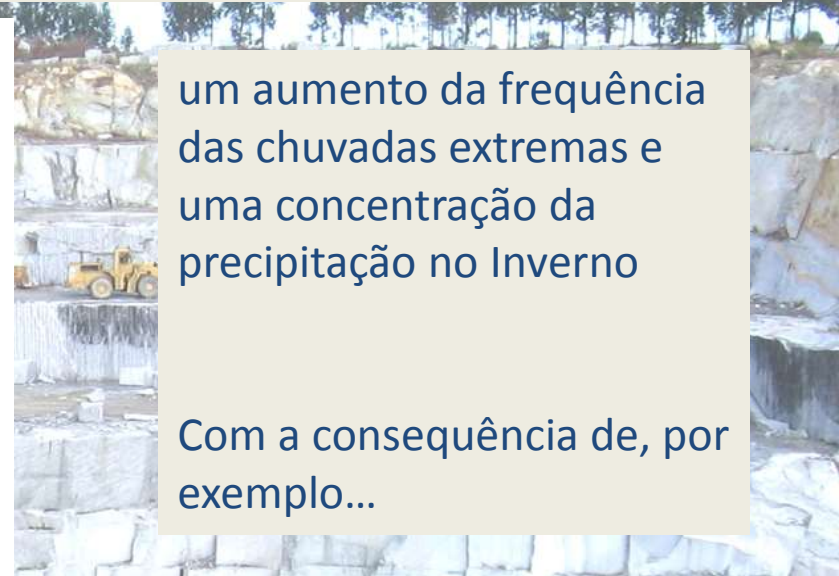


Figure 5.7 – Daily and 30-minute maximum precipitation for a hundred year event, (Brandão and Rodrigues, 1998).



um aumento da frequência das chuvadas extremas e uma concentração da precipitação no Inverno

Com a consequência de, por exemplo...

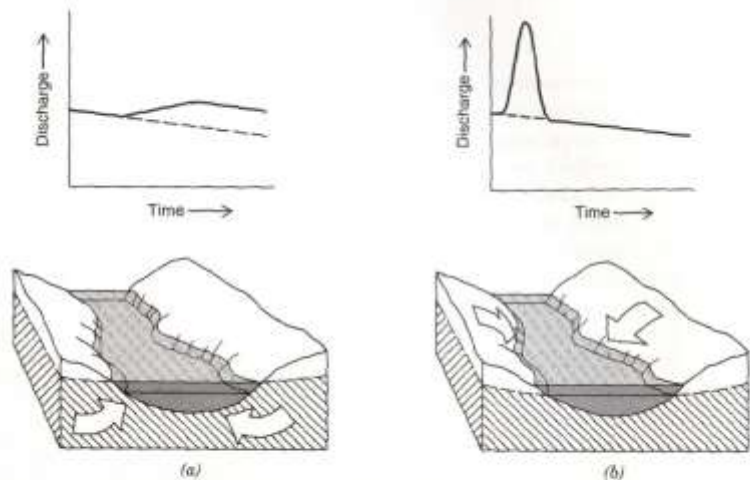
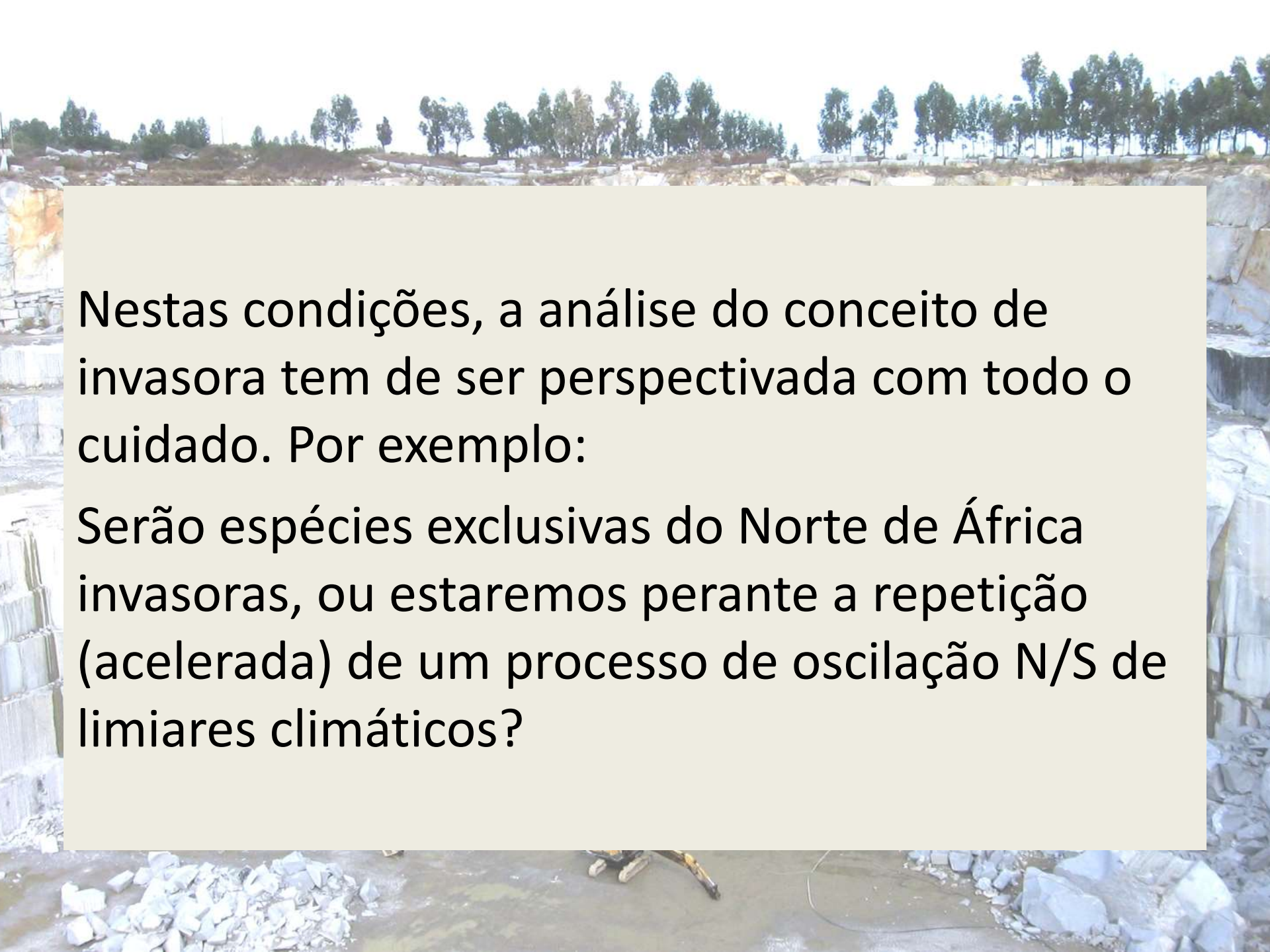


Fig. 10.2 (a) Stream response to a long steady rainfall that produces groundwater recharge and a rise in baseflow. (b) Stream response to an intensive rainstorm that produces only overland flow.



The background image shows a quarry or construction site. In the foreground, there are large, rectangular stone blocks stacked in neat rows. The ground is a mix of dirt and gravel. In the middle ground, there are more stone blocks and some construction equipment, including what looks like a yellow excavator. The background features a line of trees under a clear sky.

Nestas condições, a análise do conceito de invasora tem de ser perspectivada com todo o cuidado. Por exemplo:

Serão espécies exclusivas do Norte de África invasoras, ou estaremos perante a repetição (acelerada) de um processo de oscilação N/S de limiares climáticos?

Tudo isto no quadro da garantia dos seguintes objectivos:

- *Prevenção de degradações da paisagem* causadas por superfícies estéreis e contornos artificiais e *reposição de um sistema natural equilibrado e funcional*, através de plantações de protecção, para melhoria climática e prevenção de danos decorrentes da erosão.
- Recuperação das superfícies decorrentes da exploração no sentido do *estabelecimento de um novo uso*.
- *Criação de células de regeneração ecológica*.
- *Prevenção de riscos para os utilizadores do espaço*, através da reintrodução funcional e morfológica do espaço de exploração na natureza das formas e funções do espaço envolvente.
- *Prevenção da poluição do solo, das águas superficiais e subterrâneas e da utilização abusiva do espaço explorado* para a deposição incontrolada de resíduos de qualquer natureza.

E dentro do seguinte quadro de contingências:

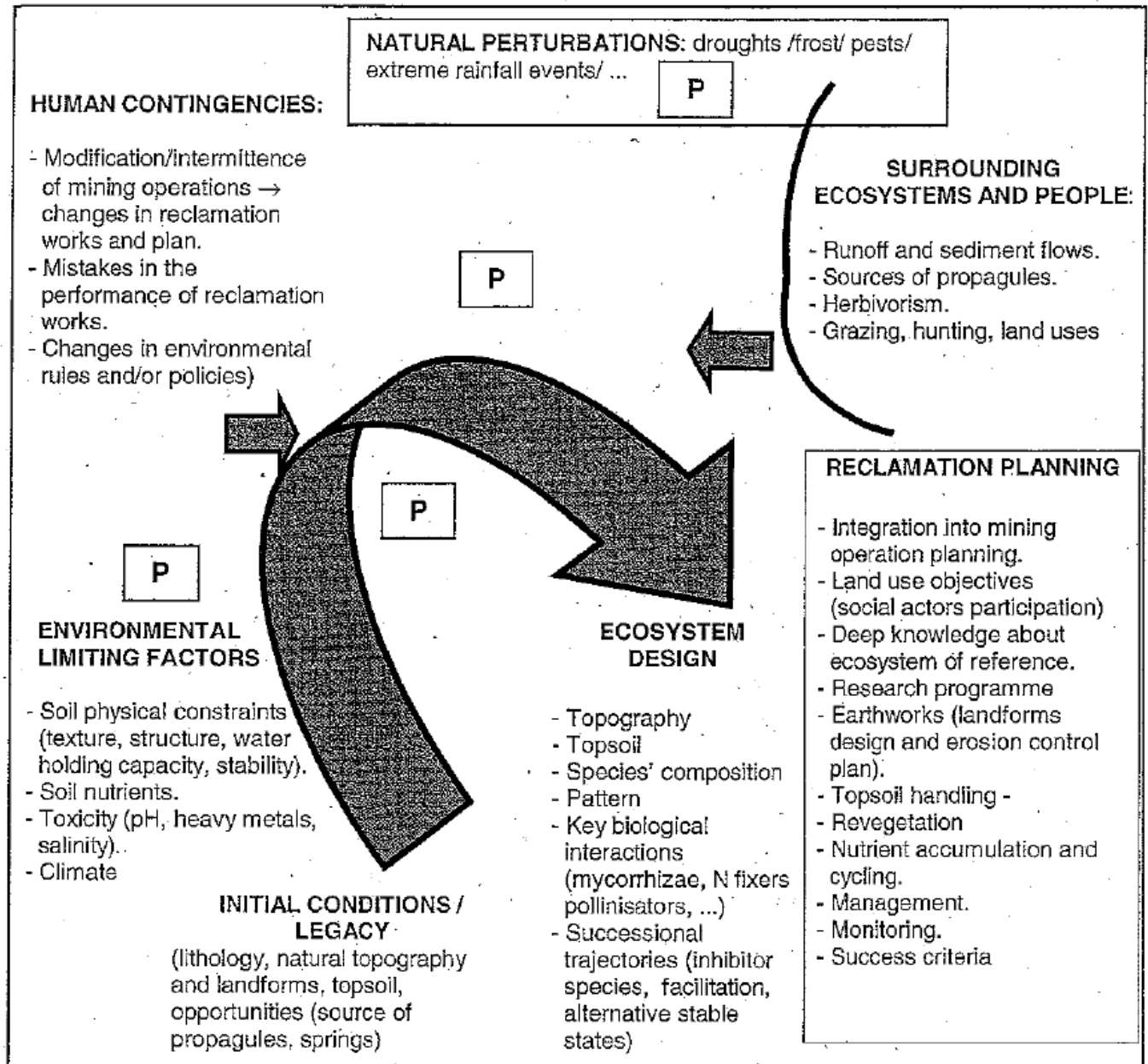


FIGURE 53.1. Conceptual framework for open-cast mining reclamation.

Enquadrado e sistematizado o contexto,, vejamos agora as questões a abordar pela Engenharia propriamente dita

1. A envolvente da pedreira – a gestão dos sistemas que afectam a área da pedreira e a gestão dos processos modificados pela sua existência e actividade (por ex. hidrologia, erosão e sedimentação, etc.).
2. A morfologia – estabilidade imediata e a prazo do maciço, das escombreyras, dos taludes. Dinâmica de sólidos.
3. Os substratos: toxicidade, fertilidade potencial e potencializável (gestão da química, física e do biota).
4. A vegetação
 - a) Pioneiras
 - b) Facilitadoras (da flora e fauna)
 - c) Comunidades alvo (de flora e fauna)
 - d) Técnicas de instalação
 - e) Intervenções complementares

5. Manutenção: conduzir a sucessão:

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

6. A fauna

- a) Facilitadores
- b) Continuidade e conectividade (atenção quando os ecossistemas equivalentes não têm acessibilidade)
- c) Populações mínimas viáveis (isolamento)

7. A imagem

O processo de recuperação tem de ser considerado de forma integrada, não só em termos dos objetivos a atingir, como essencialmente das condicionantes e limitações ambientais

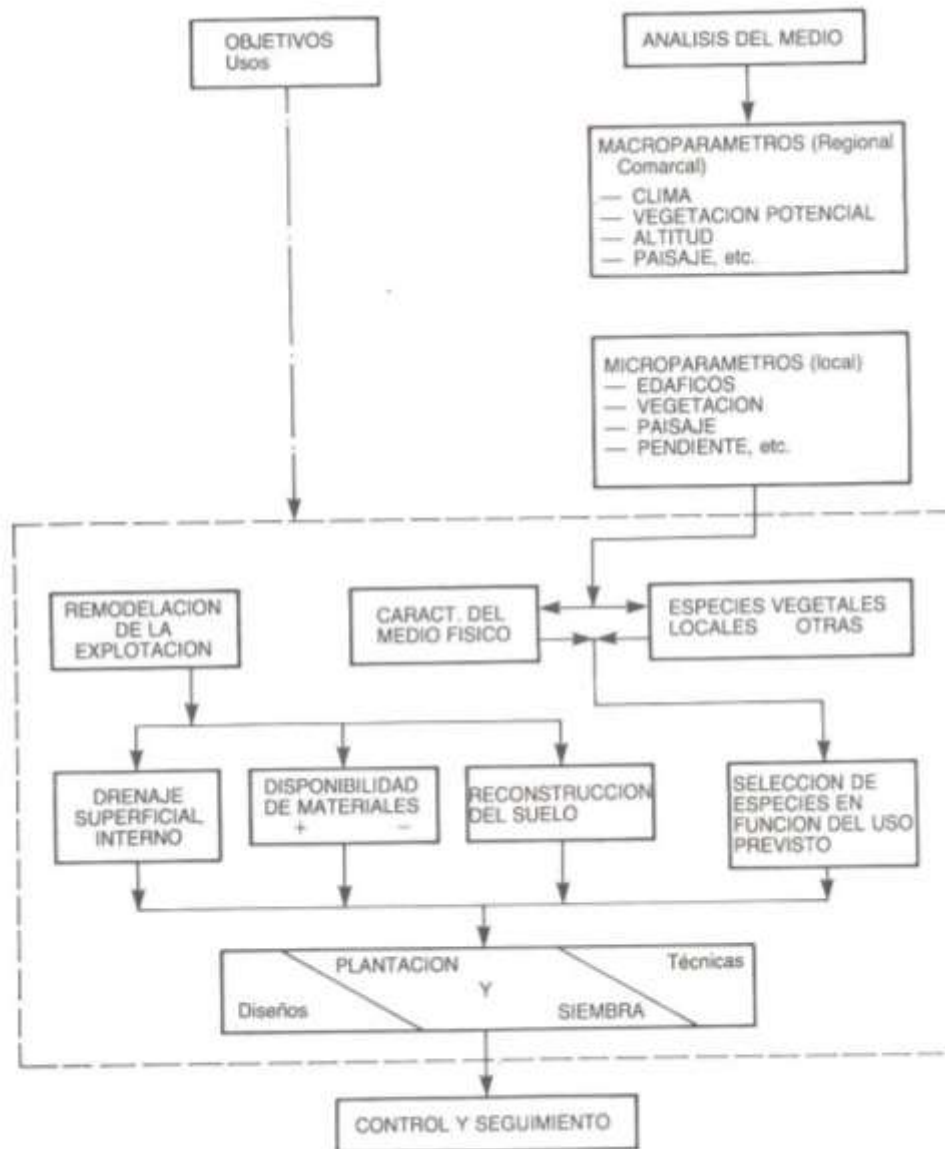


Figura 13.1. Factores del medio a tener en cuenta y acondicionamiento del terreno para instaurar un uso determinado.

TABLA 11

TIPOS DE RESTAURACIÓN

	TIPO DE USO	CARACTERÍSTICAS	ASPECTOS NECESARIOS
 <p>AGRÍCOLA</p>		<ul style="list-style-type: none"> · Plantación de frutales (almendros, olivos...) · Cereales · Vides · Pastizales · Forrajes 	<ul style="list-style-type: none"> · Pendientes suaves · Sistema de drenaje · Suelo fértil bien reconstituido · Tipo de cultivo adaptado a la disponibilidad de agua y a las características del suelo
		<ul style="list-style-type: none"> · Plantación de árboles para la explotación de madera, incremento de la biodiversidad, lucha contra la erosión, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> · Pendientes moderadas · Suelo fértil bien reconstituido · Sistema de drenaje · Selección de especies
<p>HÁBITAT NATURAL</p>		<ul style="list-style-type: none"> · Recuperación del entorno natural o creación de nuevo hábitat · Reserva (flora y fauna) 	<ul style="list-style-type: none"> · Suelo fértil bien reconstituido · Selección de especies · Modelado de orillas y hueco
		<ul style="list-style-type: none"> · Senderismo · Contacto con la naturaleza · Observatorio de especies o área de interés geológico · Escalada · Caza · Pesca · Deportes náuticos · Campos para la práctica deportiva (atletismo, tenis, fútbol, golf, motocross, ciclocross, etc.) · Aeródromos · Parque zoológico · Jardín botánico · Museo de la explotación 	<ul style="list-style-type: none"> · Estabilidad de los taludes · Buenas propiedades geotécnicas del suelo restaurado · Accesos · Proximidad a núcleos urbanos · Medidas de seguridad para los usuarios · Buen acondicionamiento del hueco (deportes náuticos)
<p>URBANISMO</p>		<ul style="list-style-type: none"> · Urbanizaciones · Parques y zonas verdes · Auditorios · Iglesias · Bodegas 	<ul style="list-style-type: none"> · Pendientes suaves · Buenas propiedades geotécnicas del suelo restaurado (cimentaciones) · Accesos · Proximidad a núcleos urbanos · Medidas de seguridad para los usuarios
		<ul style="list-style-type: none"> · Suelo para establecimiento de polígonos industriales · Aparcamientos · Depósito de agua para consumo humano o riego · Piscifactoría 	<ul style="list-style-type: none"> · Infraestructuras (líneas eléctricas, alcantarillado, agua potable, carreteras de acceso, etc.) · Buen acondicionamiento y sellado del hueco (vertederos, depósitos, piscifactoría)
<p>VERTEDERO DE RESIDUOS</p>		<ul style="list-style-type: none"> · Vertedero de residuos 	



Cada alternativa de uso coloca condicionantes diferentes

RECUPERACION PARA UN USO NUEVO

RESTAURACION DEL ECOSISTEMA SUELO/VEGETACION

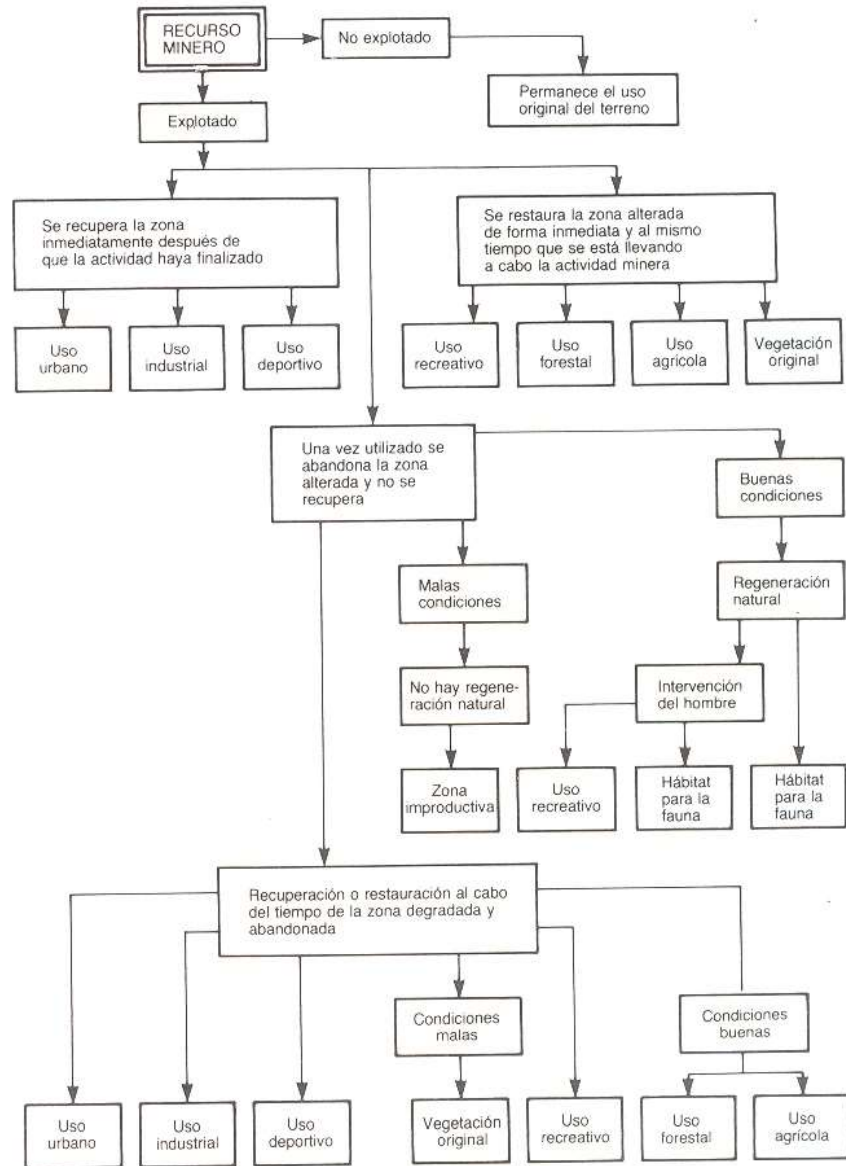


Figura 13.3. Esquema de la estrategia a seguir en la recuperación de una zona afectada por actividades mineras.

TABLA 13

RELACIÓN ENTRE LOS TIPOS DE EXPLOTACIONES Y USOS

TIPOS DE EXPLOTACIONES	USOS					
	AGRÍCOLA	FORESTAL	RESERVA NATURAL	RESERVA NATURAL (húmedal)	RECREATIVO	INDUSTRIAL
CANTERAS A MEDIA LADERA	Si	Si	En zonas llanas o de poca pendiente	En zonas llanas o de poca pendiente	En zonas llanas o de poca pendiente	En zonas llanas o de poca pendiente
CANTERAS EN HUECO DESCENDENTE	Si	Si	En zonas llanas o de poca pendiente	Con relleno	En zonas llanas o de poca pendiente	En zonas llanas o de poca pendiente
GRAVERAS EN SECO	Si	Si	En zonas llanas o de poca pendiente	En zonas llanas o de poca pendiente	En zonas llanas o de poca pendiente	En zonas llanas o de poca pendiente
GRAVERAS EN HÚMEDO²	Si	Si	En zonas llanas o de poca pendiente	En zonas llanas o de poca pendiente	En zonas llanas o de poca pendiente	En zonas llanas o de poca pendiente

- Si
- No
- En zonas llanas o de poca pendiente
- Con relleno
- En ocasiones

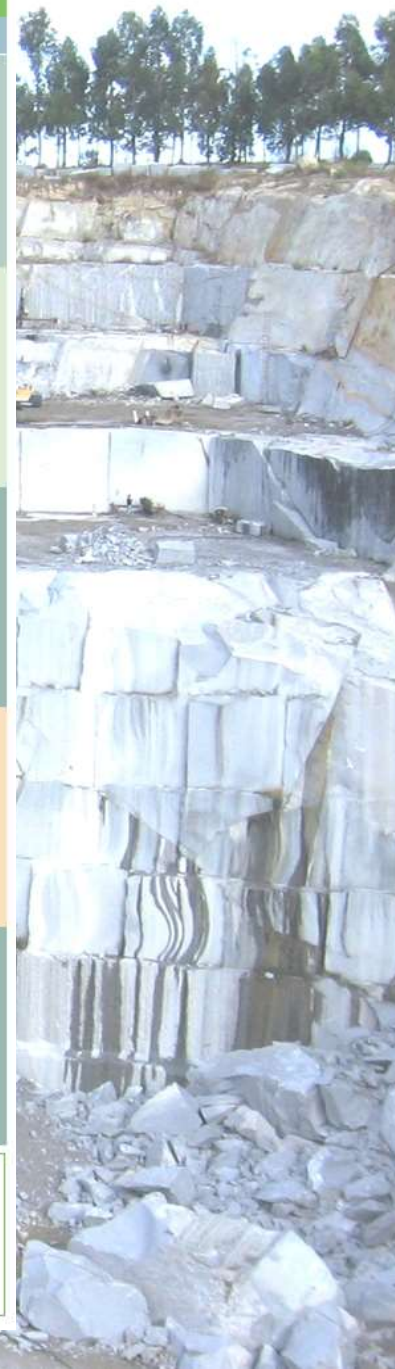


TABLA 13.XII. ALGUNOS REQUERIMIENTOS Y POSIBLES SOLUCIONES NECESARIAS PARA IMPLANTAR UN DETERMINADO USO

TIPO DE USO	REQUERIMIENTOS	SOLUCIONES
Urbanístico e industrial.	<ul style="list-style-type: none"> — Estabilidad de los taludes y control de la erosión. — Estudio de propiedades geotécnicas de los terrenos para las cimentaciones. — Localización cerca de núcleos urbanos y rurales. 	<ul style="list-style-type: none"> — Remodelado para reducir pendientes. — Obras de drenaje. — Medidas estructurales, cuando sea necesario.
Recreativo y deportivo.	<ul style="list-style-type: none"> — Estabilidad de los taludes. — Retirada de elementos que puedan dar lugar a accidentes. — El uso recreativo no intensivo y educacional requiere grandes superficies, que pueden sobrepasar las 10 ha en muchos casos. — Localización: cerca de núcleos urbanos y rurales. 	<ul style="list-style-type: none"> — Remodelado del terreno. — Corrección de pendientes. — Medidas estructurales si son necesarias. — Establecimiento de una cubierta vegetal.
Vertedero de basuras y estériles.	<ul style="list-style-type: none"> — Estudio de la permeabilidad de los materiales rocosos. — Estudio de las características de los vertidos. — Ubicación en lugares poco visibles. Localización: cerca de núcleos urbanos e industriales. 	<ul style="list-style-type: none"> — Impermeabilización, cuando sea necesario. — Mejora del drenaje interno y superficial.
Agrícola.	<ul style="list-style-type: none"> — Huecos de excavación grandes y poco profundos. — Limitaciones: Químicas: acidez/alcalinidad, nutrientes y toxicidad. Físicas: <ul style="list-style-type: none"> • Pedregosidad > 15 %, imposible el uso agrícola. • Pendiente: < 15° pastizal. < 5° cultivos arables. • Disponibilidad de agua. • Riesgo de erosión. 	<ul style="list-style-type: none"> — Añadir materia orgánica. — Enmienda caliza para corrección de acidez. — Aporte de elementos finos. — Abonado. — Mejora del drenaje. — Disminución de pendientes. — Establecimiento de la vegetación.
Forestal	<ul style="list-style-type: none"> — No se precisan suelos de gran fertilidad. — Limitación en taludes con pendientes > 70 % (35°). — Superficies de cierta extensión (> 0,25 ha). — Espesor del suelo y subsuelo para su instauración, diferente según la especie. 	<ul style="list-style-type: none"> — Añadir materia orgánica. — Añadir elementos finos. — Posible aportación de nutrientes. — Buen drenaje. — Modificar pendiente si se necesita. — Establecimiento de la cubierta vegetal.
Conservación de la naturaleza.	<ul style="list-style-type: none"> — Requerimientos mínimos, aunque es necesario un sustrato adecuado capaz de facilitar el crecimiento de la vegetación natural. 	<ul style="list-style-type: none"> — Establecimiento de la cubierta vegetal.

...existiendo medidas directas que permiten corregir factores limitantes primarios a cada tipo de uso - objetivo

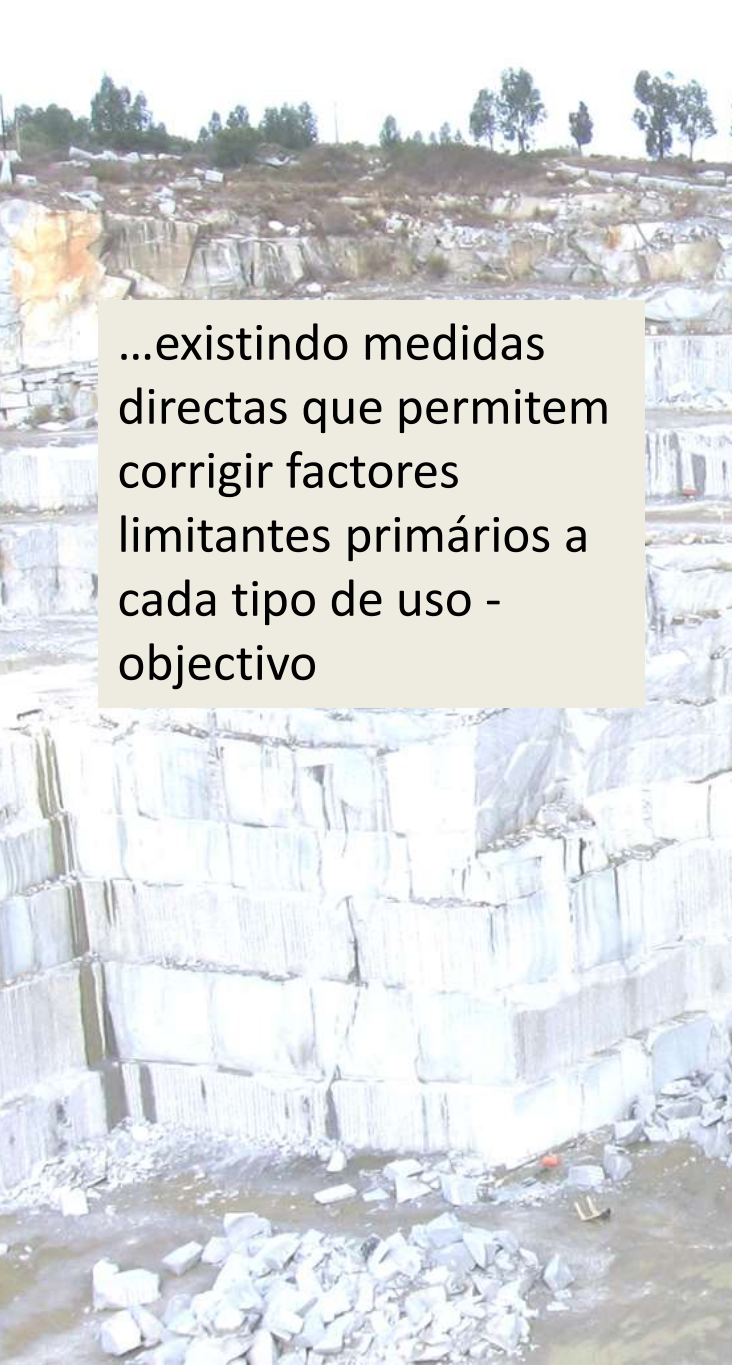
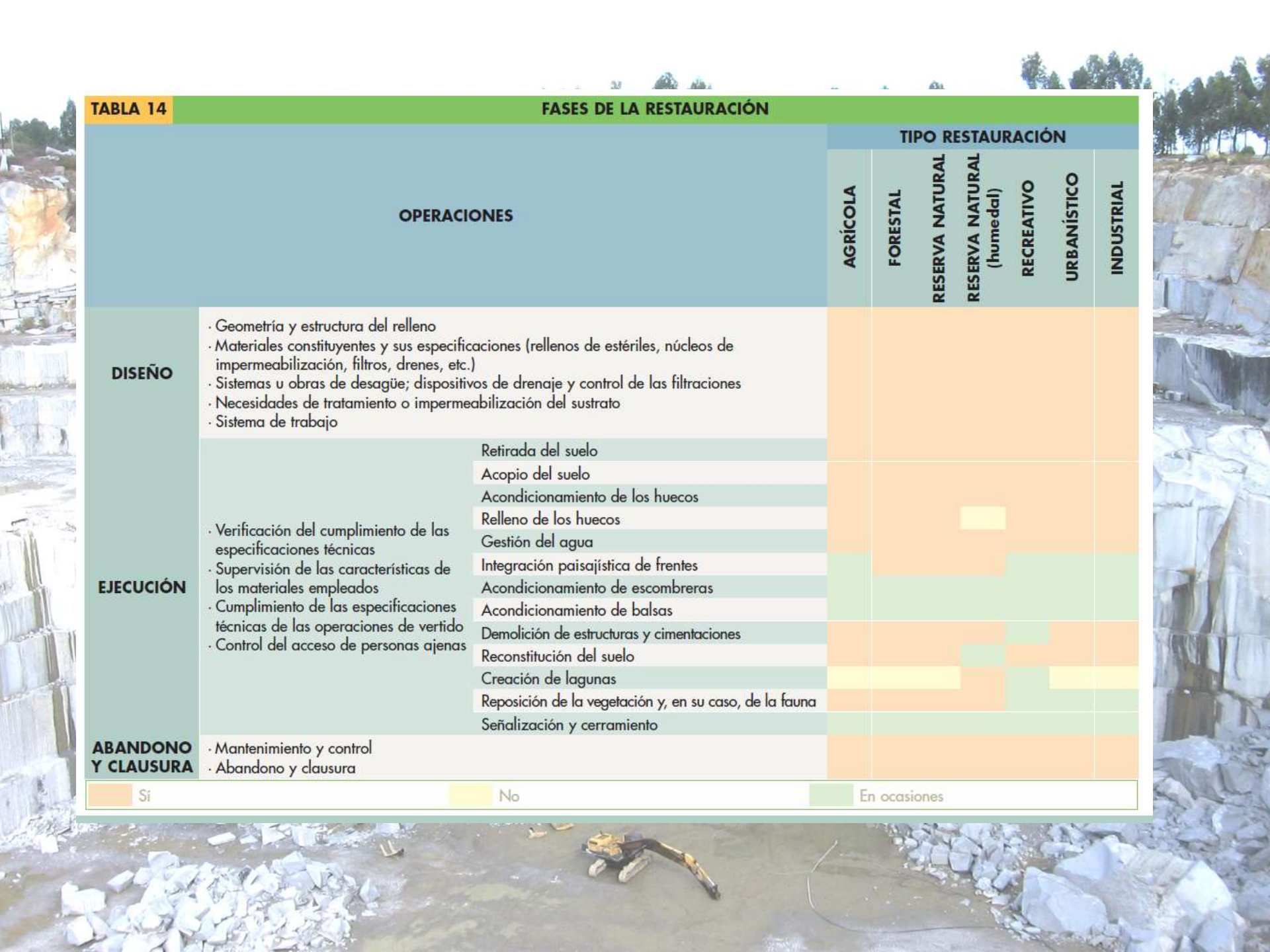


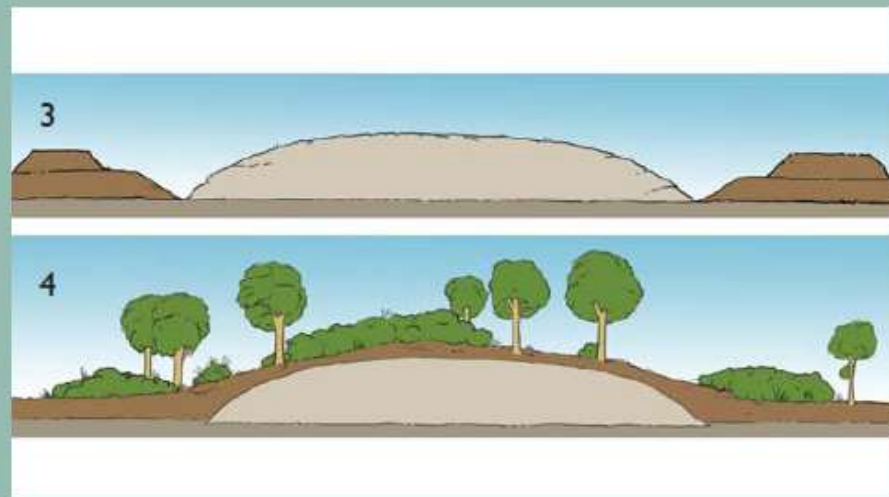
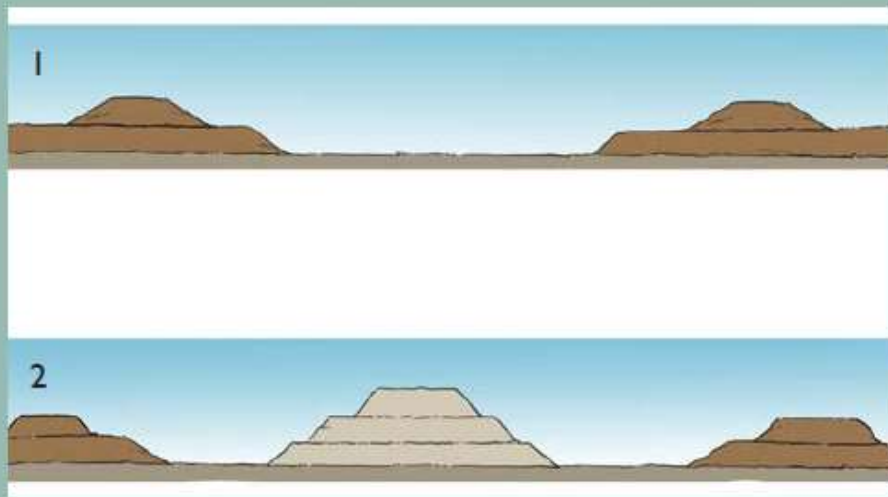
TABLA 14

FASES DE LA RESTAURACIÓN

OPERACIONES		TIPO RESTAURACIÓN						
		AGRÍCOLA	FORESTAL	RESERVA NATURAL	RESERVA NATURAL (humedal)	RECREATIVO	URBANÍSTICO	INDUSTRIAL
DISEÑO	<ul style="list-style-type: none"> · Geometría y estructura del relleno · Materiales constituyentes y sus especificaciones (rellenos de estériles, núcleos de impermeabilización, filtros, drenes, etc.) · Sistemas u obras de desagüe; dispositivos de drenaje y control de las filtraciones · Necesidades de tratamiento o impermeabilización del sustrato · Sistema de trabajo 							
	<ul style="list-style-type: none"> Retirada del suelo Acopio del suelo Acondicionamiento de los huecos Relleno de los huecos Gestión del agua Integración paisajística de frentes Acondicionamiento de escombreras Acondicionamiento de balsas Demolición de estructuras y cimentaciones Reconstitución del suelo Creación de lagunas Reposición de la vegetación y, en su caso, de la fauna Señalización y cerramiento 							
EJECUCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> · Verificación del cumplimiento de las especificaciones técnicas · Supervisión de las características de los materiales empleados · Cumplimiento de las especificaciones técnicas de las operaciones de vertido · Control del acceso de personas ajenas 							
	<ul style="list-style-type: none"> · Mantenimiento y control · Abandono y clausura 							
ABANDONO Y CLAUSURA								

Sí
 No
 En ocasiones





Restauración de una escombrera: 1: Retirada de la tierra vegetal; 2: Creación de la escombrera; 3: Remodelado de la escombrera; 4: Reconstitución del suelo a partir de la tierra vegetal y plantación y/o siembra





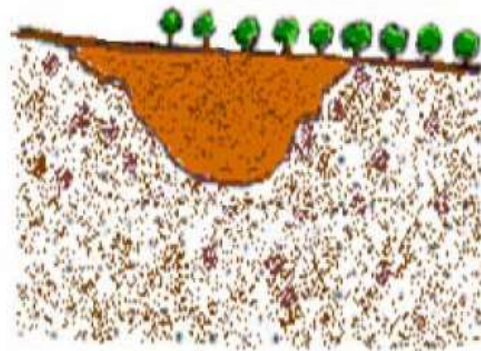
© Jordi Cortina

Photo

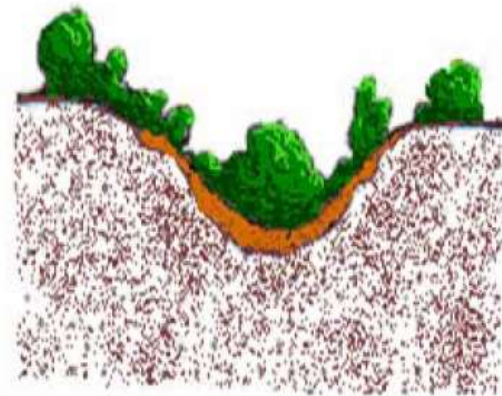


© Teresa Mexía

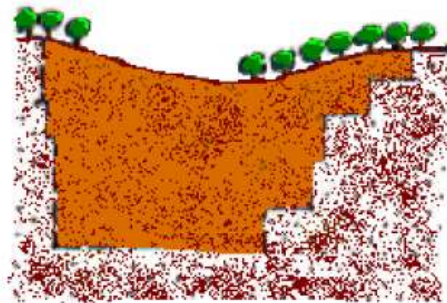




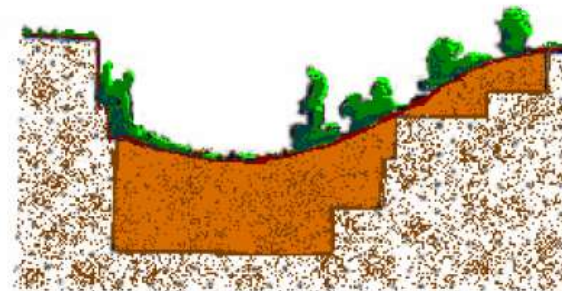
A - Enchimento completo



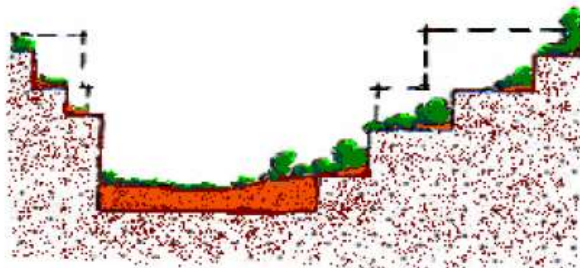
B - Enchimento reduzido



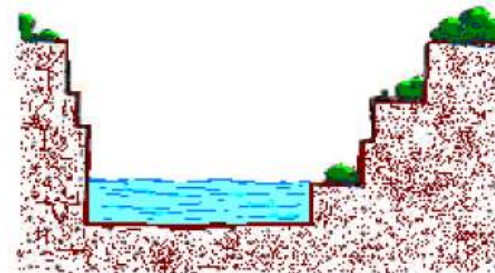
C - Enchimento quase completo



D - Enchimento parcial



E - Enchimento mínimo



F - Ausência de enchimento

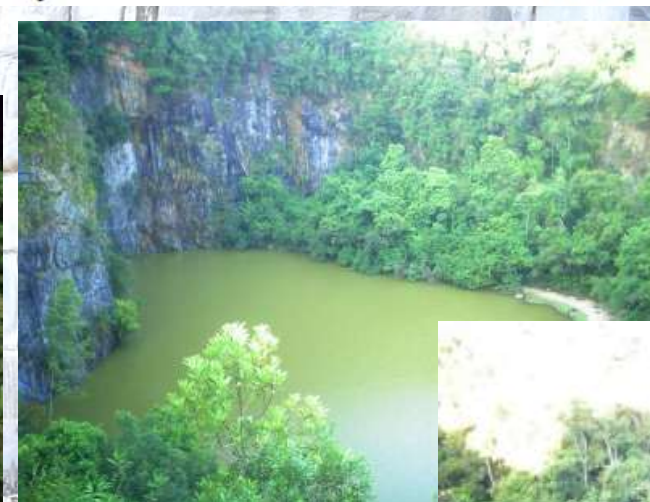
Adaptado de Sousa, 1993

Figura 1 - Esquema dos tipos de intervenção na recuperação de minas e pedreiras a céu aberto.





Figura 2- Praça do Areeiro actualmente (à esquerda) e Praça Marquês de Pombal em 1930 (à direita).



Curitiba: Ópera de arame e Univ. Livre do Meio Ambiente



Muito obrigado