

Protecção e Reabilitação Ambiental de Cursos de Água Naturais

Pedro Vieira *

1. Introdução

Até há duas ou três décadas, as técnicas de engenharia fluvial consistiam, quase exclusivamente, em alterações mais ou menos drásticas do perfil transversal e/ou longitudinal dos cursos de água (rectificações ou linearizações), com ou sem eliminação de vegetação ou remoção de outros obstáculos, construção de aterros ou diques longitudinais, de esporões, de açudes e soleiras de enrocamento e protecção rígida das margens.

O objectivo fundamental destas obras, designadas por obras tradicionais de engenharia fluvial, era, essencialmente, aumentar a capacidade de vazão para o controlo de cheias, melhoria da drenagem, manutenção ou promoção da navegabilidade, redução da erosão das margens, construção de redes viárias, etc.

Julga-se, contudo, essencial reflectir sobre dois aspectos importantes que lhes estão associados:

- a) muitas vezes, as obras tradicionais de engenharia fluvial são necessárias pelo facto de o sistema fluvial ter sido alterado a montante, com consequentes repercussões a jusante, pelo que se torna imprescindível proceder a intervenções de carácter técnico.
- b) além disso, se bem que as alternativas adoptadas em obras tradicionais possam ser hidraulicamente eficientes, não consideram geralmente os efeitos directos e indirectos a nível morfológico e ambiental.

Desta análise depreende-se que, geralmente as obras tradicionais procuram minimizar os efeitos de determinados fenómenos, não através da resolução das causas, mas sim através de obras cujos resultados só localmente se revelam satisfatórios, não evitando, por isso, a contínua degradação das zonas a montante e a jusante.

Nas últimas décadas têm-se efectuado, nos países mais desenvolvidos, muitos estudos de investigação sobre os efeitos ecológicos e morfológicos das obras tradicionais de engenharia fluvial, tendo-se verificado que podem ser nefastas para o ambiente e mesmo contraproducentes do ponto de vista hidráulico. Compreendeu-se, ainda, que os cursos de água constituem sistemas dinâmicos e ecologicamente ricos, sendo necessário fazer uma gestão cuidada em que as técnicas de engenharia integrem aspectos ambientais.

Desse modo, em países como o Reino Unido, os Estados Unidos ou a Alemanha, onde o grau de artificialização dos rios ainda é, apesar disso, extremamente elevado, iniciaram-se acções concretas de reabilitação e protecção de cursos de água.

Assim, começou-se a recorrer à construção e promoção de configurações ambientalmente aceitáveis, implementando e protegendo traçados curvos (meandros e curvas), empoçamentos laterais, rápidos e fundões, mouchões e pequenas ilhas, esporões, travessões, etc., associados à promoção e manutenção de vegetação do leito menor e/ou do leito de cheia.

Verifica-se que estas técnicas são ecológica e hidraulicamente funcionais, permitindo, desse modo, conjugar os objectivos de defesa das actividades humanas e de preservação ambiental. Os resultados destas acções são muito positivos, podendo ocorrer recolonizações por fauna e flora autóctones, que entretanto tenham regredido ou desaparecido devido às obras tradicionais.

Em Portugal, infelizmente, ainda existe um relativo desconhecimento das técnicas de engenharia fluvial ambientalmente aceitáveis, não se verificando cumulativamente uma significativa sensibilidade dos agentes de decisão e dos diferentes técnicos em relação à preservação do ambiente fluvial.

Neste artigo procurar-se-á, referir os principais tipos de obras tradicionais, apontando as principais vantagens e desvantagens, bem como abordar algumas medidas de minimização de impactes e descrever algumas das principais, e mais bem sucedidas, configurações e obras fluviais ambientalmente aceitáveis.

2. Obras tradicionais de engenharia fluvial

As obras de engenharia fluvial de maior expressão e que envolvem mais modificações directas nos cursos de água são as denominadas regularizações, que incluem obras de alargamento, linearização, construção de aterros e de diques, protecção de margens e construção de canais. Para além das regularizações, são adoptadas outras medidas, nomeadamente de drenagem, de limpeza de vegetação e de remoção de obstáculos.

As regularizações são as obras de engenharia fluvial que maior implantação têm tido em todo o Mundo, desde os diques contra as cheias construídos no rio Amarelo, na China, por volta de 600 a.C., até aos recentes canais de derivação para irrigação ou para navegação, designadamente o polémico canal que liga os rios Reno e Danúbio, na Europa Central. Em Portugal, para além de obras de menor dimensão, destacam-se as obras de regularização do Baixo Mondego e em algumas zonas da bacia do Tejo.

Brookes (1988) analisou a evolução da regularização de cursos de água em vários países, constatando-se a sua intensificação no último século. Por exemplo, nos Estados Unidos, nos últimos 150 anos, foram modificados pelo menos 320000 km de rios, sendo os exemplos mais flagrantes os 1600 km do rio Missouri, 54% dos seus 2497 km de extensão, ou os 46530 km e 40000 km de cursos de água modificados ou a modificar, respectivamente, nos sete Estados do Midwest e nos 12 Estados do Sudeste. Os principais objectivos destas obras foram a drenagem de solos para a agricultura, o controlo de cheias e a promoção da navegação fluvial.

2.1 Impactes morfológicos

As obras de engenharia fluvial provocam, em geral, alterações mais ou menos drásticas da morfologia fluvial,

fundamentalmente do leito menor, onde se recorre, muitas vezes, à utilização de maquinaria e se procede a movimentações de solo e a modificações da secção. Por esse facto, é necessário analisar e avaliar as consequências dessas alterações, não só no local das obras, mas, reconhecendo que os cursos de água constituem sistemas dinâmicos, também a jusante, a montante e nos cursos de água afluentes, onde essas alterações locais se podem repercutir.

De facto, quando, por exemplo, se verificam alterações de declive do leito, da resistência ao escoamento e/ou da sua velocidade, os cursos de água naturais com fundo móvel tendem a reagir, procedendo a ajustamentos com maior ou menor amplitude até atingirem, de novo, um equilíbrio estável. Em certas situações, esses efeitos induzidos provocam prejuízos significativos, dado que, durante o ajustamento, se podem verificar rupturas do sistema.

No caso da linearização, este tipo de obras implica, geralmente, um aumento de declive do fundo devido ao encurtamento do troço. Por sua vez esse aumento, tem como consequência um incremento da capacidade de transporte local e do caudal sólido podendo, em situações mais graves, desenvolver-se uma frente de erosão que se desloca para montante fazendo regredir as linhas de água no sentido das cabeceiras.

Por outro lado, devido ao aumento do caudal sólido, as zonas de jusante, alimentadas por um excesso de sedimentos, podem não ter capacidade de transporte suficiente, verificando-se fenómenos de deposição generalizada com o consequente aumento das cotas do fundo e dos níveis de cheia. Por sua vez, a erosão geral que ocorre para montante provoca o rebaixamento dos níveis de base dos afluentes.

De referir que os efeitos nos afluentes são do mesmo tipo dos que ocorrem na linha de água principal a montante da zona linearizada. O mesmo se verifica a jusante da confluência relativamente aos que ocorrem a jusante da zona linearizada.

A estabilidade das margens, após a linearização, depende de diversos factores, fundamentalmente factores locais (caudal, área drenada, largura do canal, altura das margens, sinuosidade, relevo do vale, tipo de material das margens, cobertura vegetal, etc.), factores de alteração (comprimento do troço alterado, declive e secção transversal do canal, aspectos construtivos, medidas de controlo da erosão e de protecção ambiental, etc.) e factores de pós-alteração (comportamento do troço, eficácia das medidas de protecção, colonização das margens por vegetação, etc.).

Para além de tudo isto, pode-se esperar que os troços linearizados se reajustem a médio ou longo prazo, o que depende de factores de ordem geológica, geomorfológica e hidráulica.

Quanto ao alargamento e aprofundamento de cursos de água, as alterações induzidas pelo aumento da secção de vazão provocam uma redução significativa da velocidade do escoamento, a perda de carga unitária do curso de água e da capacidade de transporte. Consequentemente podem ocorrer deposições de sedimentos formando-

se estruturas morfológicas permanentes, nomeadamente ilhas e mouchões, ou padrões morfológicos do tipo entrelaçado, nos períodos de estiagem.

As dragagens e extracção de inertes, quando efectuadas repetidamente e sem precauções adequadas, podem provocar erosão do leito e das margens, dado que a capacidade de transporte do curso de água não é satisfeita pelos sedimentos disponíveis para serem transportados. Por outro lado, como o material dragado é geralmente grosseiro e sendo este responsável pelo equilíbrio dinâmico que se verifica na camada superficial do fundo, as operações de dragagem provocam, por si só, um aumento do arrastamento devido à ruptura desse equilíbrio. Essa erosão pode ser responsável pela destruição de pontes e de outras estruturas construídas pelo Homem, devido à escavação das fundações.

Para diminuir as consequências das dragagens e da extracção de inertes pode ser necessário recorrer à construção de séries de travessões ou de soleiras de enrocamento, com o objectivo de absorver parte da energia do escoamento excedente. Por sua vez, a deposição de sedimentos a jusante diminui significativamente a secção de vazão dos cursos de água, provocando prejuízos directos e indirectos em estruturas fluviais ou adjacentes, nomeadamente inundações de áreas agrícolas, assoreamentos de albufeiras, etc..

As operações de limpeza de vegetação ripícola e de desobstrução dos cursos de água produzem, por sua vez, alguns efeitos contraproducentes quando efectuadas de forma radical. De facto, para além da função ecológica, a vegetação arbórea promove a estabilidade das margens, não só por agregar o material das margens mas também por induzir uma significativa resistência ao escoamento.

Verifica-se que a remoção deliberada de "barragens" formadas por árvores caídas sobre o leito dos cursos de água pode induzir velocidades médias que chegam a ser duas vezes superiores às existentes antes da remoção (Gregory, 1992). A vegetação influencia assim, a largura, a profundidade e o declive do leito. Por isso, o corte e/ou remoção de vegetação e de obstáculos aumentam a eficiência hidráulica e a velocidade do escoamento na área adjacente às margens, mas também a susceptibilidade à erosão.

Por esse facto, qualquer intervenção ao nível do troço deve considerar estes aspectos; a remoção de vegetação deve ser feita de modo selectivo, para que seja possível manter as condições físicas e dinâmicas do curso de água e a respectiva diversidade biológica. Não é fácil, contudo, prever e identificar os impactes da remoção de vegetação e de obstáculos do leito menor no fenómeno do transporte sólido; porém, tem-se verificado em alguns casos, o aumento do caudal sólido ao longo do curso de água, o decréscimo local do armazenamento de sedimentos, a redução da ocorrência de rápidos/fundões e o incremento de erosões localizadas das margens.

2.2 Impactes biológicos

Dado que os cursos de água constituem um contínuo lótico, os efeitos podem-se repercutir em cadeia pelo

facto de a redução ou eliminação de determinadas espécies poderem afectar outras espécies, fundamentalmente os seus potenciais predadores ou simbioses. Pode ainda acontecer que outras espécies - que numa determinada fase do seu ciclo de vida necessitem de determinadas condições, drasticamente alteradas por obras de engenharia fluvial - sejam afectadas, quer por impossibilidade de reprodução, quer por dificuldades de maturação.

As obras de engenharia fluvial podem afectar as comunidades vegetais de forma directa (p. ex., através do corte e remoção de vegetação aquática e ripícola como resultado directo de obras ou como forma de facilitar a introdução de maquinaria) e de forma indirecta (p. ex., através da submersão de macrófitos aquáticos - por deposição excessiva devida aos ajustamentos morfológicos verificados após obras fluviais a montante -, da alteração da humidade - devida a variações do nível da água e do nível-freático - e/ou de alterações nas características do solo).

As dragagens e o aprofundamento de leitos menores são das obras que mais afectam os macrófitos aquáticos (dado que para além da remoção de plantas, também podem alterar o substrato), particularmente quando o leito fica instável. Neste caso, a recolonização do local por macrófitos aquáticos pode-se tornar difícil.

Os estudos sobre a evolução e resiliência da vegetação ripícola sujeita a cortes e limpeza de margens são em número reduzido, apesar de este tipo de obras de engenharia fluvial constituir uma operação de rotina, designadamente em Portugal. Segundo alguns estudos, quando o leito permanece estável, as plantas recuperam ao fim de cerca de 2 anos e as condições originais retomam ao fim de 3 anos. Porém, estes valores não podem ser generalizados, como mostraram Ferreira e Moreira (1990) que estimaram, para o vale do Sorraia, que o ciclo corte-herbáceas-árvores era de 4 a 5 anos, no caso de limpeza radical, e de 2-3 anos, no caso de corte selectivo e extracção de areias.

Apesar da aparentemente elevada resistência da vegetação, a destruição temporária pode ter consequências importantes em inúmeras comunidades faunísticas que lhe estão associadas. De facto, a vegetação tem funções ecológicas importantes, ao criar condições propícias à diversidade de habitats, designadamente por constituírem locais de refúgio, repouso e alimentação de insectos, peixes, aves, mamíferos, anfíbios e répteis, locais de desova para peixes e locais de nidificação para aves. Assim sendo, quando se verificam operações de remoção drástica de vegetação ocorrem, invariavelmente, efeitos negativos cujo significado depende da natureza, extensão e intensidade das obras fluviais.

Ao nível dos macroinvertebrados, as obras de engenharia fluvial interferem fundamentalmente nas relações interespecíficas (cadeia trófica) do ecossistema aquático e ribeirinho. Os efeitos das obras sobre os macroinvertebrados devem-se, essencialmente, à sua remoção física, a alterações da profundidade e do regime de escoamento, à remoção de vegetação, à remoção de irregularidades morfológicas do leito e a fenómenos de deposição. As respostas

são, contudo, complexas, dado que dentro destas comunidades as exigências de habitat, a resistência, a resiliência e o ciclo de vida são muito distintas.

De qualquer forma, dada a elevada interdependência que os macroinvertebrados têm em relação às irregularidades morfológicas do leito e ao substrato, quando ocorre uma alteração morfológica significativa, as consequências dessa interação são sempre, numa primeira fase, negativas, dependendo a persistência dos impactes do grau e do tipo de ajustamentos morfológicos.

Relativamente aos peixes, os efeitos das obras de engenharia fluvial são praticamente imediatos. De facto, as linearizações, as obras de regularização para navegação e a construção de barragens ou açudes podem ter importantes impactes negativos nas populações adultas e de juvenis de peixes, dado que se verificam alterações profundas no leito e nas margens, com a consequente destruição de biótipos dependentes das irregularidades morfológicas (sequência de fundões e rápidos, "braços" mortos, paúis, etc.). Se a persistência ou a intensidade destes efeitos se mantiverem, os impactes poder-se-ão tornar de difícil reversibilidade.

Os diferentes estudos efectuados sobre impactes de obras fluviais na ictiofauna sugerem que são as alterações físicas as principais responsáveis pelos efeitos negativos nos peixes, já que os parâmetros químicos sofrem, nestes casos, pequenas variações. De facto, são as alterações ao nível do transporte sólido e a deposição de sedimentos, da temperatura e de outros elementos físicos dos habitats naturais que provocam a mortalidade ou afectação das comunidades piscícolas.

A remoção de vegetação marginal também produz severos prejuízos na ictiofauna, devido à destruição dos habitats, ao aumento e flutuações bruscas da temperatura da água e à diminuição do ensombramento. Por outro lado, as comunidades piscícolas são também indirectamente afectadas por obras fluviais sempre que estas afectam os macroinvertebrados, que são, em muitos casos, a sua principal fonte de alimentação.

A recolonização após obras de engenharia fluvial por peixes depende de diversos aspectos, fundamentalmente da natureza da modificação, da sua intensidade e extensão. Assim, a recolonização será lenta ou mesmo inexistente se ocorrerem modificações drásticas no perfil transversal e/ou longitudinal do leito, incluindo linearizações com eliminação de meandros ou artificialização do leito, uma vez que, nestes casos as condições hidrológicas e morfológicas originais serão colocadas definitivamente em causa ou demorarão muito tempo a recuperar.

Por outro lado, em obras fluviais que sejam implantadas com cuidados ambientais (mesmo que incluam dragagens ou rectificação de perfis) e que, fundamentalmente, mantenham a sinuosidade original do curso de água e as irregularidades do leito (sequência de rápidos e fundões), a recolonização será muito mais rápida, porque o substrato pode retomar as características anteriores, se bem que possam provocar um impacte inicial sobre a ictiofauna e outras comunidades. Relativamente à extensão das obras, obviamente que o impacte será maior e a recuperação mais lenta se se verificarem

alterações em troços muito extensos, particularmente se atingirem todo o perfil transversal do leito.

O período de tempo que decorre desde a realização da obra até à recolonização dos cursos de água sujeitos a obras de engenharia fluvial - a resiliência - é, sem dúvida, um aspecto importante a considerar e que tem sido pouco estudado. De facto, só através de uma análise temporal e comparativa das comunidades biológicas existentes antes e após as obras se poderá efectivamente avaliar o seu impacte ambiental. Por outro lado, só dessa forma será possível prever se, em situações análogas, determinado projecto de engenharia fluvial terá ou não impactes perniciosos nos ecossistemas aquático e ribeirinho, podendo assim influenciar decisões futuras.

No que concerne às aves, as obras fluviais podem provocar impactes directos, afectando as suas áreas de nidificação e/ou de alimentação. Podem também provocar impactes indirectos quando restringem a disponibilidade de alimentos na zona.

A relação entre as aves e os ecossistemas aquático e ribeirinho é muito intensa, em especial no que diz respeito à vegetação ripícola. O grau de impacte das obras fluviais depende, por isso, em grande medida, da extensão e intensidade da manipulação do coberto vegetal. Além disso, muitas das aves aquáticas alimentam-se exclusivamente de peixes ou de insectos que se desenvolvem em águas paradas, pelo que, se existe alguma alteração radical que afecte essas comunidades, as aves são afectadas. No entanto, como a afectação de cada espécie depende, também, das suas exigências de habitat e do seu nicho ecológico, pode acontecer que a regularização de um curso de água promova o desenvolvimento de determinadas espécies e a redução de outras

Mas a afectação da vegetação fluvial nas galerias ripícolas e do leito de cheia por obras fluviais atinge também os mamíferos, anfíbios e répteis. De facto, como o leito de cheia sofre, em geral, inundações periódicas, existem habitats húmidos propícios a diversas espécies florísticas e faunísticas que são eliminadas quando a ligação entre o leito menor e o leito de cheia se perde ou quando se destrói o seu coberto vegetal. A drenagem intensiva de solos do leito de cheia, de diversos paúis e de outras zonas húmidas provoca impactes negativos na fauna, tanto nos anfíbios como nos répteis, cuja sobrevivência está dependente desse sensível equilíbrio.

Relativamente aos mamíferos que podem sofrer impactes mais negativos em obras de regularização, a lontra tem merecido especial atenção. Esta espécie encontra-se, presentemente, em regressão em toda a Europa, com excepção da Península Ibérica, devido à poluição e a obras fluviais, em especial as que implicam a remoção de vegetação e/ou as que provocam reduções drásticas das comunidades piscícolas. Quanto aos outros pequenos mamíferos, em especial roedores, e apesar do reduzido número de estudos conhecidos, tem-se verificado que as regularizações de cursos de água podem ter um impacte importante em várias espécies.

3. Configurações e obras fluviais ambientalmente aceitáveis

Nos últimos anos têm sido propostas, por vários autores, principalmente no Reino Unido, diversas configurações e obras fluviais que salvaguardam ou promovem a diversidade de habitats e as comunidades bióticas dos cursos de água. De entre elas, salientam-se as seguintes (Lewis e Williams, 1984; Brookes, 1988, 1992; Reeve e Bettess, 1990):

- canais de secção composta;
- bermas de águas baixas;
- mouchões e pequenas ilhas;
- empoçamentos laterais;
- rápidos e fundões;
- meandros e curvas do leito menor;
- pequenas soleiras de enrocamento;
- esporões;
- alguns sistemas de protecção das margens.

Apresentam-se, seguidamente, considerações pertinentes relativas a estas configurações e obras, seguindo a ordem por que foram enumeradas.

3.1 Canais de secção composta

A implantação de canais de secção composta (ou de leito múltiplo) tem como objectivo promover a manutenção dos caudais de cheia dentro de um leito maior com menor expressão em planta. Estes caudais, ao contrário do que acontece com os diques longitudinais, são obtidos exclusivamente por escavação do leito de cheia, pelo que se houver cuidado, a respectiva construção poderá não perturbar significativamente os habitats do leito menor. Para tal, o rebaixamento do leito de cheia natural deve-se efectuar, de preferência, apenas numa das margens ou alternadamente nas duas, garantindo assim, que a fauna e a flora do leito menor não sejam afectadas em mais de 30 a 50%.

As vantagens destes canais, do ponto de vista da preservação das comunidades bióticas, se bem que variem em função da configuração adoptada, resultam da manutenção e expansão dos habitats previamente existentes no leito menor, devido ao estabelecimento de margens mais baixas. Contudo, essas vantagens tendem a desaparecer se, na fase da construção as margens do leito menor forem significativamente danificadas.

Geralmente, o regime hidrológico dos rios não é alterado, conseguindo-se obter boas soluções de protecção contra cheias sem perturbação significativa dos ecossistemas. Por outro lado, estes canais diminuem a necessidade de operações de manutenção do leito menor e das respectivas margens. Estas tornam-se mais estáveis por serem mais baixas.

Do ponto de vista ambiental, esta configuração

permite a diversidade de habitats quer no período de estiagem quer no período invernal, devido à manutenção de uma altura de escoamento suficientemente elevada para o desenvolvimento das comunidades bióticas. Como uma parte significativa do leito de cheia não é afectada pelas obras, a colonização por espécies vegetais e animais é bastante fácil e rápida. O mesmo acontece relativamente às trocas de materiais e nutrientes entre o leito de cheia e o leito menor.

Do ponto de vista paisagístico, a principal vantagem sobre as outras obras de protecção contra cheias, principalmente os diques longitudinais, advém do facto de estas estruturas não constituírem obstáculos visuais.

Na figura 1 apresenta-se um esquema de utilização de canais de secção composta num troço fluvial. Como se observa, à excepção de alguns locais – nomeadamente naqueles em que a remoção de meandros era necessária a construção dos canais de secção composta consistiu, exclusivamente, na escavação de parte do leito de cheia, apenas numa das margens, preservando totalmente o leito menor e dando uma configuração natural ao leito maior.

Estes canais têm sido utilizados com sucesso no Reino Unido, tendo-se verificado em diversos casos perdas temporárias de habitats somente da ordem dos 5 a 10%.

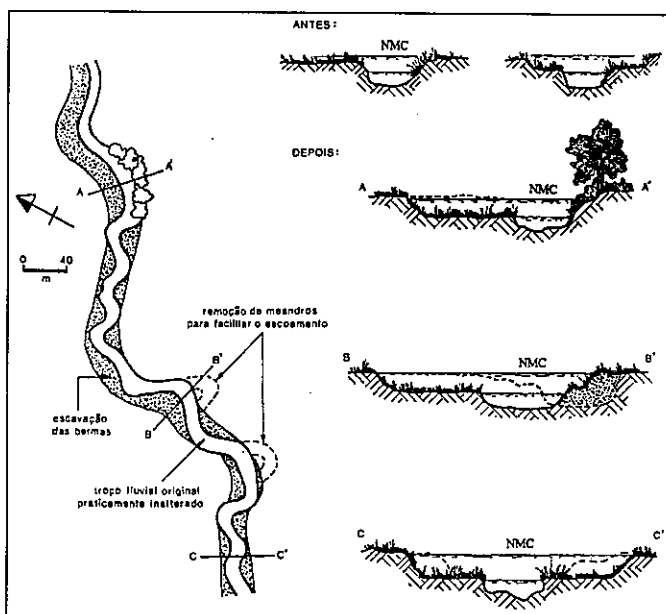


Figura 1 – Plano longitudinal e cortes transversais de canais de secção composta (adapt. Lewis e Williams, 1984).

3.2 Bermas de águas baixas

Conforme se pode observar na figura 2, as bermas de águas baixas devem possuir um declive suave e um comprimento até cerca de 2 m.

O objectivo inerente à manutenção e/ou criação deste tipo de configuração fluvial consiste em garantir a existência de zonas ligeiramente submersas, situadas no leito menor. Têm a vantagem de aumentar a capacidade

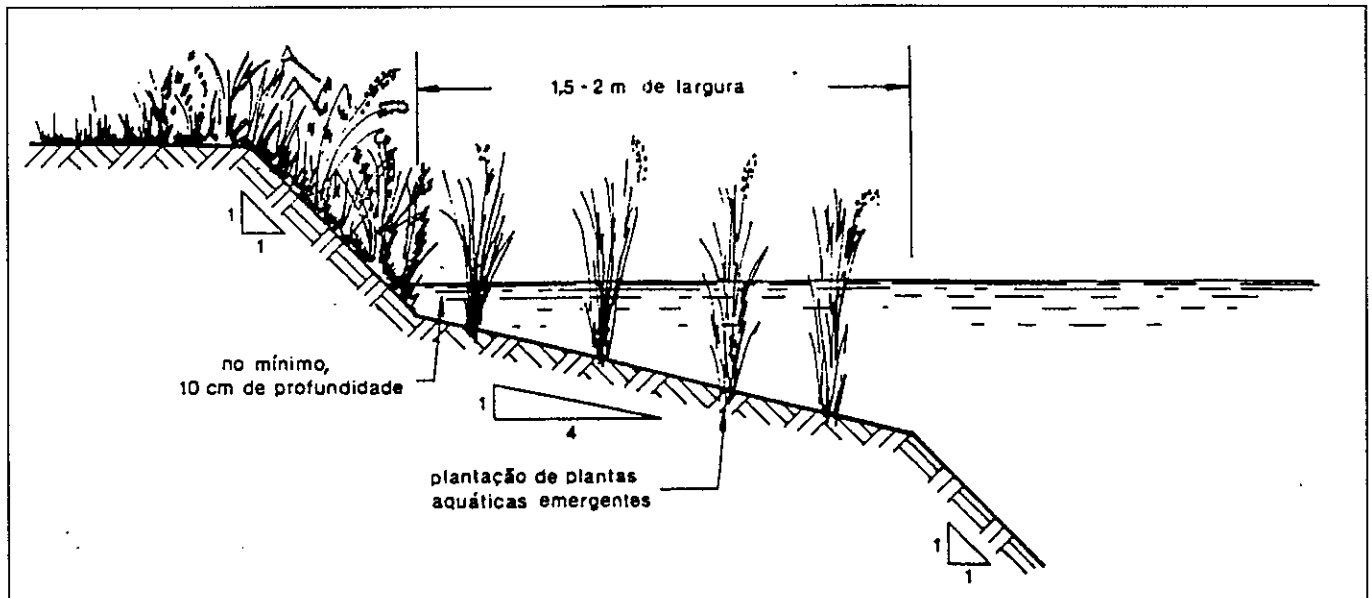


Figura 2 – Corte transversal de bermas de águas baixas (adapt. Lewis e Williams, 1984)

de vazão em períodos de cheia e manter zonas pouco profundas, propícias ao desenvolvimento de vegetação fixa nas margens do leito menor.

Do ponto de vista biológico, as bermas de águas baixas ao aumentarem a variedade de profundidades e de condições de escoamento ao longo do leito, formam habitats naturais de grande importância. As bermas de águas baixas, para constituírem, efectivamente, habitats funcionais, devem-se encontrar parcialmente submersas durante a maior parte do ano. As plantas que se instalam permitem a colonização destes locais por comunidades animais e possibilitam a protecção das margens contra a erosão.

Do ponto de vista da engenharia fluvial, as bermas de águas baixas apresentam o inconveniente de promoverem a deposição de materiais finos, diminuindo assim, progressivamente, a capacidade de vazão que de outro modo lhes estaria associada.

3.3 Mouchões e pequenas ilhas

Este tipo de macrorrugosidades das secções do escoamento (fig. 3) constitui um refúgio importante para animais e plantas. Sem qualquer tipo de perturbação humana e sem a presença da maioria dos predadores terrestres,

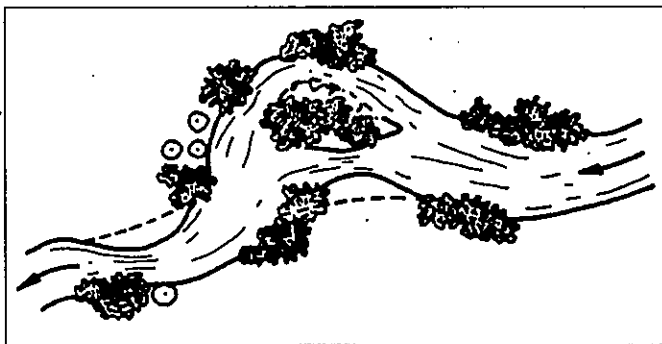


Figura 3 – Exemplo de uma ilha fluvial.

as ilhas e os mouchões podem servir de suporte e abrigo de comunidades vegetais (que podem mesmo ser diferentes das que ocupam as margens acessíveis), e de abrigo e área de nidificação para aves. A diversidade destas comunidades é tanto maior quanto mais extensas forem as margens das ilhas e mouchões.

3.4 Empoçamentos laterais

Abrigados dos efeitos do escoamento principal e não contribuindo para ele, os empoçamentos laterais aumentam a diversidade de habitats fluviais. Os peixes juvenis beneficiam de condições excelentes de alimentação e de protecção face aos predadores de maiores dimensões. Em rios não alterados, os empoçamentos podem ocorrer naturalmente, enquanto que em rios regularizados têm que ser construídos, quer através da escavação das margens, quer criando-os entre dois esporões.

Conforme se observa na figura 4, os empoçamentos laterais não interferem no escoamento principal (não interferindo, desse modo, negativamente na eficiência hidráulica do leito menor) e permitem a criação de condições hidrológicas e biológicas diferentes das existentes no curso de água.

3.5 Rápidos e fundões

Um leito uniforme e liso não permite uma significativa diversidade específica e de habitats. No caso de o leito menor de um curso necessitar de intervenção, devem-se fazer todos os esforços para manter inalterada a sequência de rápidos e fundões. Estas formas são compatíveis com regimes superiores de escoamento sobre fundos de seixo ou de outros sedimentos naturais grosseiros. Também podem ocorrer quando há afloramentos rochosos, alternando com zonas aluvionares. Estes habitats são propícios ao desenvolvimento de muitas

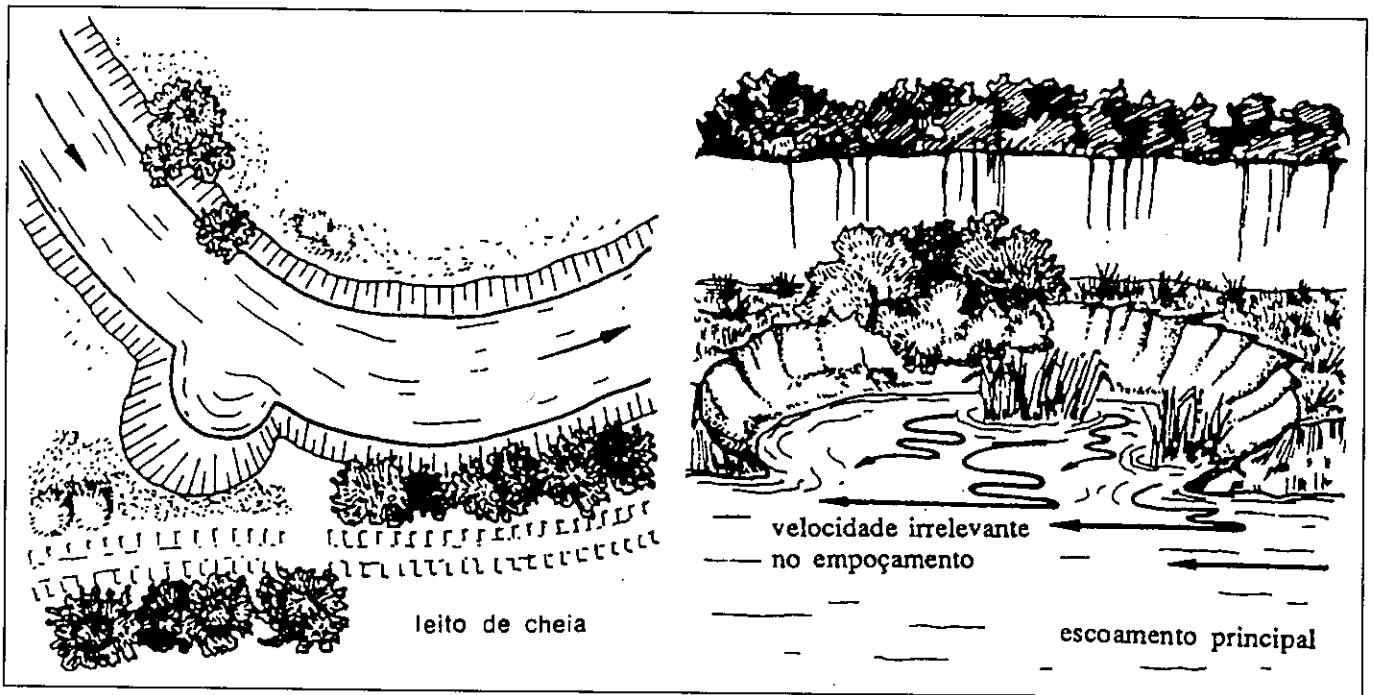


Figura 4 – Planta e perspectiva de um empoçamento lateral (adapt. Lewis e Williams, 1984).

espécies de peixes e de uma grande variedade de macroinvertebrados aquáticos que lhes servem de alimento.

Os escoamentos turbulentos e pouco profundos nos rápidos aumentam a oxigenação da água corrente. Nos fundões em que as velocidades do escoamento são mais suaves, a água é menos rica em oxigênio e mais rica em matéria orgânica e os peixes encontram aí abrigos naturais (ao contrário do que acontece sobre os rápidos). Por outro lado, os fundões também são ótimos locais para o desenvolvimento de determinados grupos de macroinvertebrados, muitas das vezes diferentes dos que ocorrem nos rápidos, aumentando dessa forma, a diversidade biológica do rio.

Estes dois extremos de configurações fluviais (rápidos e fundões), que ocorrem naturalmente em sequência alternada, albergam comunidades diferentes e proporcionam em parte, os requisitos em termos de habitat para as diferentes fases da vida de diversos peixes e outros organismos. Caso estas configurações sejam destruídas pela intervenção humana, isso implica sempre a perda total, momentânea ou não, das comunidades, se bem que possa ocorrer reconstituição natural. Nessas circunstâncias, a remoção de rápidos e fundões constitui uma perda de tempo e de recursos, para além de perturbar os ecossistemas aquático e ribeirinho.

A criação de rápidos e fundões em cursos de água pode constituir uma solução interessante com custos económicos reduzidos face à sua importância ambiental, e, de certa forma, pela intrusão paisagística positiva que constituem. Existem alguns métodos simples de promover a existência das referidas configurações, nomeadamente, segundo Lewis e Williams (1984, p. 111-112):

- a) modelando os fundos durante operações de dragagem;
- b) importando rochas, cascalho e seixos para formar zonas de rápidos;

- c) escavando secções transversais de áreas significativamente diferentes de modo a provocar erosões e deposições alternadas associadas a contracções e expansões da área do escoamento;
- d) construindo travessões para promover a criação de fundões a jusante em rápidos sobre a crista.

No entanto, esta recriação deve ser realizada com alguns cuidados. O seu grau de sucesso depende, em grande medida, da experiência dos operadores das máquinas e dos supervisores. De facto, numa primeira fase deve-se efectuar a avaliação das características do escoamento e da morfologia do leito para se determinar se os rápidos e os fundões constituem configurações fluviais susceptíveis de se manterem estáveis. Em caso afirmativo, deve-se determinar o espaçamento e tamanho

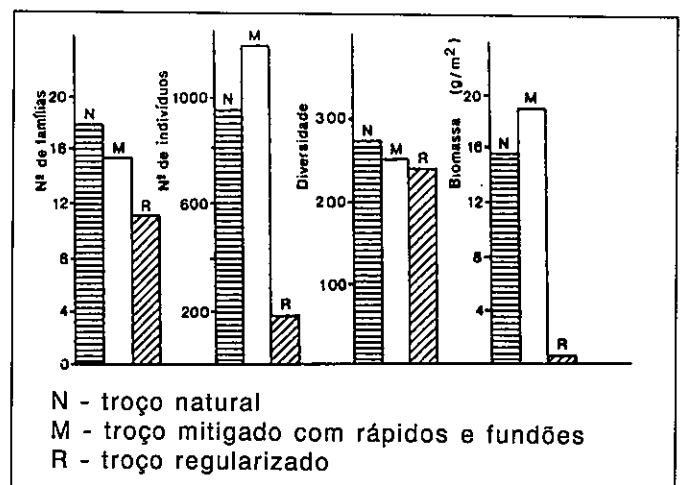


Figura 5 – Número de famílias, diversidade e biomassa de macroinvertebrados medidos em troços naturais, troços mitigados e troços regularizados (adapt. Brokes, 1988).

dos rápidos e dos fundões para as características particulares do leito, com o conseqüente cálculo do material a usar nos rápidos.

A implantação de rápidos e fundões, como medidas mitigadoras, em obras de engenharia fluvial tem conduzido a excelentes resultados, como o demonstram os estudos efectuados em 1984 por Edwards *et al.* (in Brookes, 1988, p. 219), no rio Olentangy, em Ohio, onde os troços que foram intervencionados com estas estruturas apresentam valores de parâmetros biológicos muito semelhantes aos verificados em troços naturais, conforme se apresenta na figura 5.

3.6 Meandros e curvas do leito menor

Os meandros revestem-se de importância fulcral para a conservação das comunidades bióticas ao proporcionarem um largo espectro de habitats inseridos no leito menor dos cursos de água, designadamente cavidades de erosão, rápidos e fundões, áreas de sol e de sombra, zonas expostas, zonas de abrigo, etc. A remoção de meandros pode reduzir drasticamente a diversidade estrutural e funcional dos cursos de água e conseqüentemente a sua riqueza biológica. Mesmo as intervenções menos drásticas podem ser muito prejudiciais face ao equilíbrio sensível em que coexistem os declives das margens, as profundidades do escoamento e a distribuição de sedimentos no fundo.

Os engenheiros hidráulicos, pelo menos em alguns países, têm compreendido a importância dos meandros para a conservação das comunidades bióticas, tendo proposto algumas opções que tentam conciliar as componentes ambientais e económicas. Das opções mais utilizadas no ordenamento de rios meandrizados são de referir as representadas na figura 6, nomeadamente:

- criação de um canal em "by-pass" que só funciona em períodos de cheia. O leito menor continua meandrizado, desempenhando todas as funções biológicas, não se verificando perturbações dos habitats fluviais e não ocorrendo inundações das áreas adjacentes (fig. 6A).
- criação de um leito menor rectilíneo que corta o meandro; mantém-se, pelo menos, 50% do caudal do troço meandrizado pré-existente, recorrendo à construção de uma soleira no novo leito. Dessa forma mantém-se um caudal ecológico que permite a manutenção das comunidades bióticas do meandro, aumentando simultaneamente a eficiência hidráulica do curso de água (fig. 6B).
- escavação de um novo leito menor e recorrendo a uma soleira instalada na extremidade de jusante do meandro para controlar parte do escoamento e o nível da água no seu interior (fig. 6C).
- escavação de um novo leito menor e fecho da extremidade de montante do meandro; este contacta com o novo leito na sua extremidade de jusante enchendo e vazando em função da evolução dos caudais (fig. 6D). O meandro, à medida que vai sedimentando tende a formar uma zona húmida paludícola.

- escavação de um novo leito completamente desligado do meandro que se transforma numa zona húmida (fig. 6E).

De todas as opções, as duas últimas devem ser evitadas, a menos que haja garantia que são mantidas pelos proprietários dos terrenos.

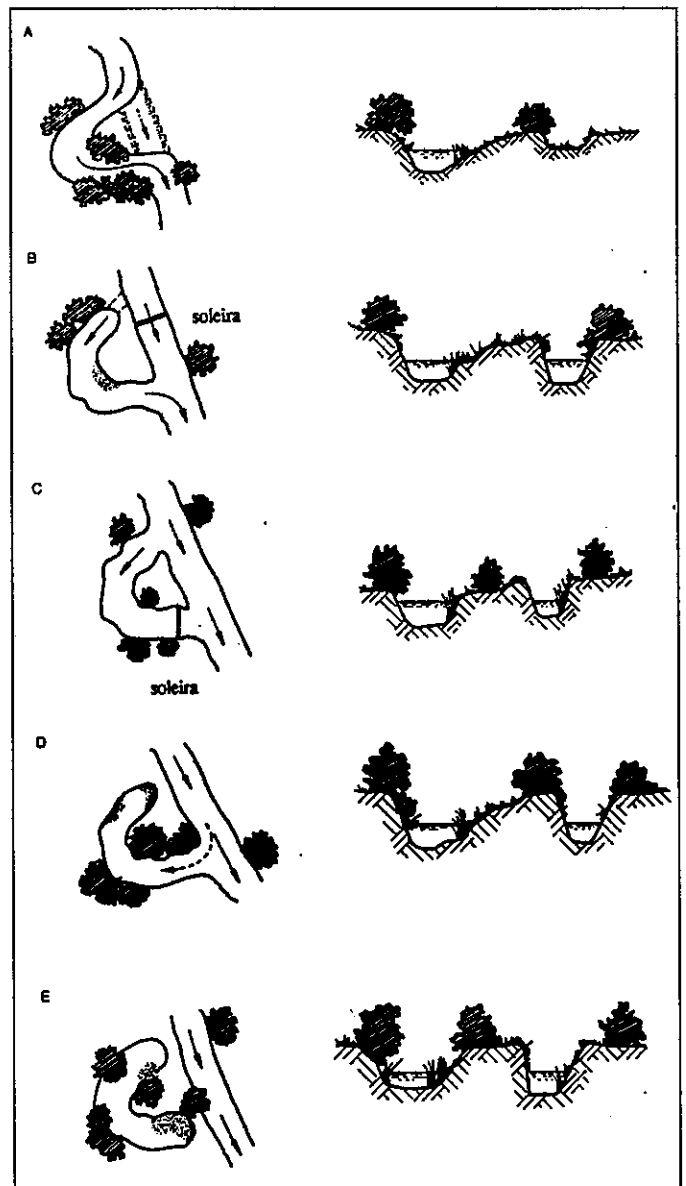


Figura 6 – Alternativas mais utilizadas na conservação de meandros (adapt. Lewis e Williams, 1984).

3.7 Pequenas soleiras de enrocamento

As soleiras de enrocamento são, conforme se observa na figura 7, estruturas transversais que ocupam, geralmente, toda a largura do leito menor, encontrando-se totalmente submersas (travessões) durante todo o ano ou somente em períodos de escoamento elevado. Estas estruturas criam uma irregularidade no escoamento com alteração da sua velocidade, criando uma fácies léntica a montante e uma fácies lótica, de escoamento turbulento, sobre a obra.

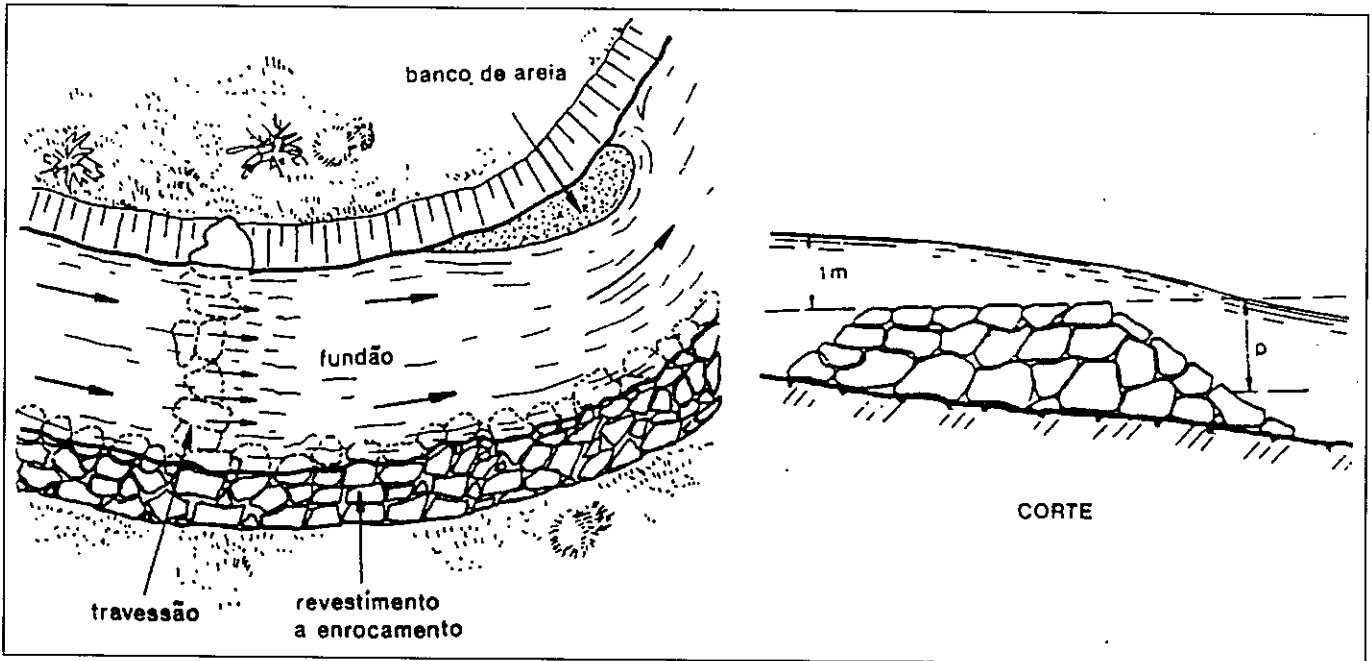


Figura 7 – Travessão de enrocamento.

As soleiras de enrocamento são geralmente benéficas do ponto de vista ambiental, já que:

- devido às alterações hidrológicas induzidas, promovem a criação de habitats;
- possibilitam a oxigenação da água, como resultado do turbilhonamento provocado no escoamento, melhorando a qualidade da água;
- são estruturas construídas, regra geral, com materiais naturais, agradáveis esteticamente e que criam condições de diversificação da paisagem.

3.8 Esporões

Os esporões são usados geralmente para deflectir o escoamento da margem côncava das curvas, evitando

assim, o efeito erosivo que lhe está associado. Tal como os travessões, os esporões produzem efeitos de importância relativa decrescente à medida que o caudal aumenta.

Do ponto de vista biológico, contribuem para o estabelecimento de habitats propícios para os peixes e outros organismos, originando abrigos com escoamentos muito lentos, compensados por escoamentos mais rápidos noutras zonas da secção transversal do curso de água. A possibilidade de, em certas situações, se construírem esporões vivos, mostra bem as potencialidades deste tipo de estrutura fluvial.

Por último, com a construção de esporões, ao aumentar o comprimento das fronteiras do escoamento, que são zonas propícias à actividade biológica, potencia--se ainda mais essa actividade.

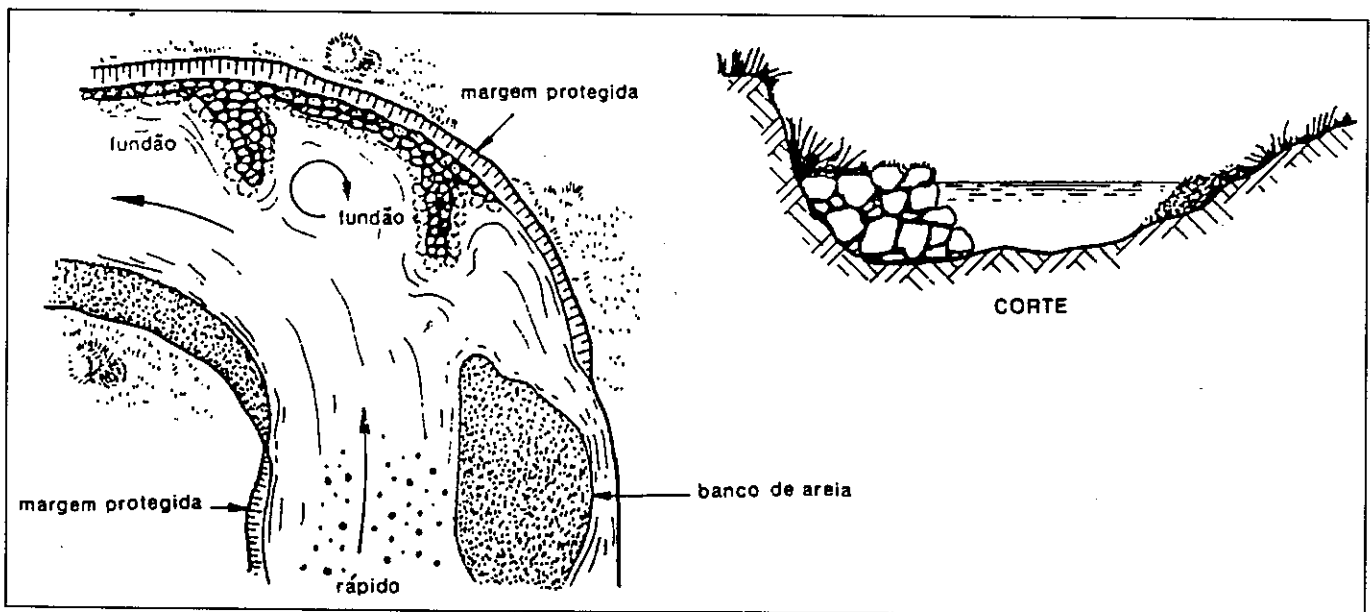


Figura 8 – Esporões de enrocamento.

3.9 Protecção das margens

As margens constituem zonas de produtividade biológica elevada e, como tal, é importante preservá-las, mantendo e/ou viabilizando o restabelecimento de comunidades bióticas. Sempre que possível, a protecção das margens deve ser feita recorrendo a materiais naturais, evitando os materiais artificiais (p. ex., betão), o que se torna vantajoso do ponto de vista estético e de conservação.

Os materiais naturais proporcionam, geralmente, uma grande variedade de soluções que facilitam o desenvolvimento de comunidades vegetais e animais e, em termos de degradação, não causam poluição, ao contrário de alguns materiais artificiais.

Das estruturas de protecção de margens em que se recorre a material vegetal, destacam-se as seguintes (Schiechtl, 1980; Gray e Leiser, 1982; Fernandes, 1987):

Fachinas – Trata-se de um tipo de construção linear que permite uma armação da camada superficial do terreno, podendo-se aplicá-las numa vasta gama de situações, quer sob a forma de fachinas vivas, quer de fachinas de ramos mortos, quer ainda de fachinas gabionadas.

Na consolidação de sopés de margens utiliza-se uma de duas estruturas: a fachina de sopé de margem (fig. 9) e a fachina viva de sopé em combinação com fachinas mortas (fig. 10).

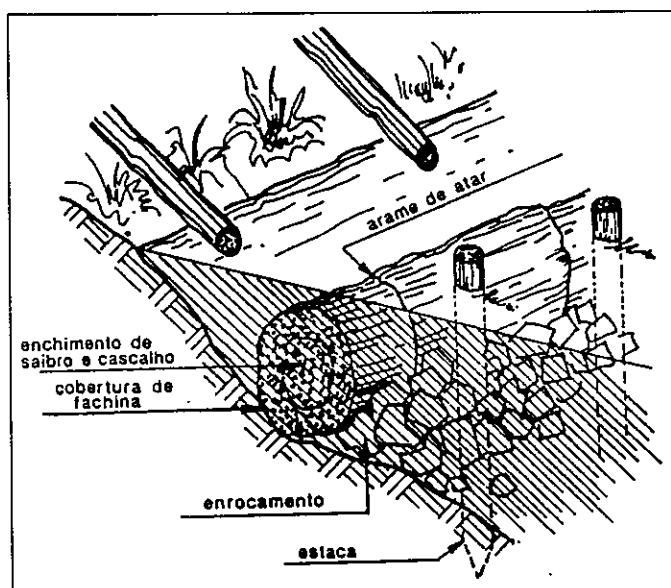


Figura 9 - Fachinas de sopé de margem.

Degraus e barreiras vivas – Estas obras, que utilizam material vegetal para criar ressaltos no escoamento, controlando a sua velocidade e o transporte sólido, são implantadas transversalmente ao sentido do escoamento. Consistem em barreiras vegetais com ancoramentos de pedras, gabiões, fachinas vivas ou estacas, conforme se apresenta na figura 11. São de fácil construção e ideais para leitos menos declivosos, de largura inferior a 15 metros (Schiechtl, 1980, p. 140).

Empacotamentos de arbustos – Conforme se apresenta nas figuras 12 e 13, estas estruturas constituem sistemas

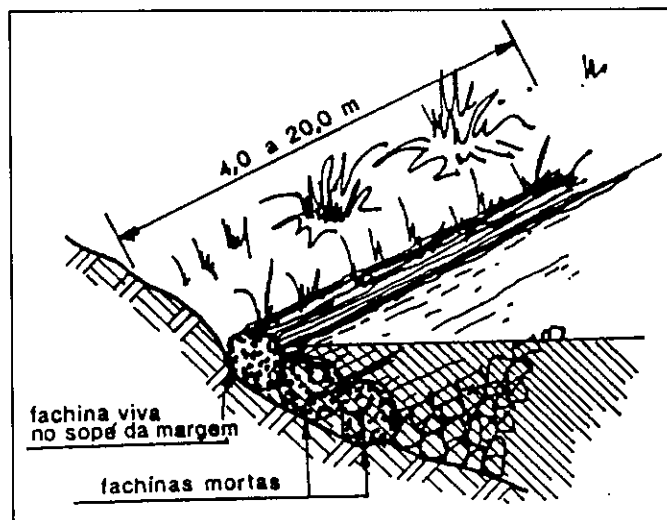


Figura 10 - Uso de fachinas vivas de sopé de margem em combinação com fachinas mortas.

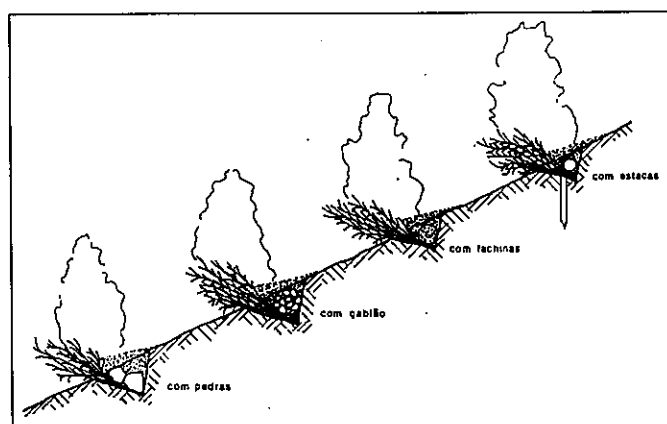


Figura 11 - Degraus vivos (adapt. Scheichl, 1980).

longitudinais de material vegetal ou misto, sendo aplicadas em margens erodidas de grandes linhas de água. Para margens pouco altas, podem-se usar ramos vivos; devem-se utilizar ramos mortos em cursos de água pouco variáveis, dado que nesta situação, nunca será possível ocorrer o enraizamento de estacas.

Na construção destas estruturas colocam-se sucessivas camadas de arbustos com 0,20 m a 0,30 m de espessura, cobertos com cascalho ou pedras. Os arbustos podem ser intercalados com fachinas, enquanto que as zonas mais instáveis devem ser protegidas com pedras. É frequente recorrer à utilização de estacas previamente espetadas para fixar os arbustos. A manutenção destas estruturas resume-se a inspeções periódicas e a substituições de material danificado.

Gabiões e rolos de caniço – São estruturas constituídas por gabiões combinados com terra e rizomas de caniço, formando rolos dispostos ao longo do sopé da margem e fixos por estacas, conforme se observa na figura 14. Têm particular interesse na protecção de margens de linhas de água sujeitas a pequenas variações de caudal e como base de sistemas combinados de protecção do conjunto da margem.

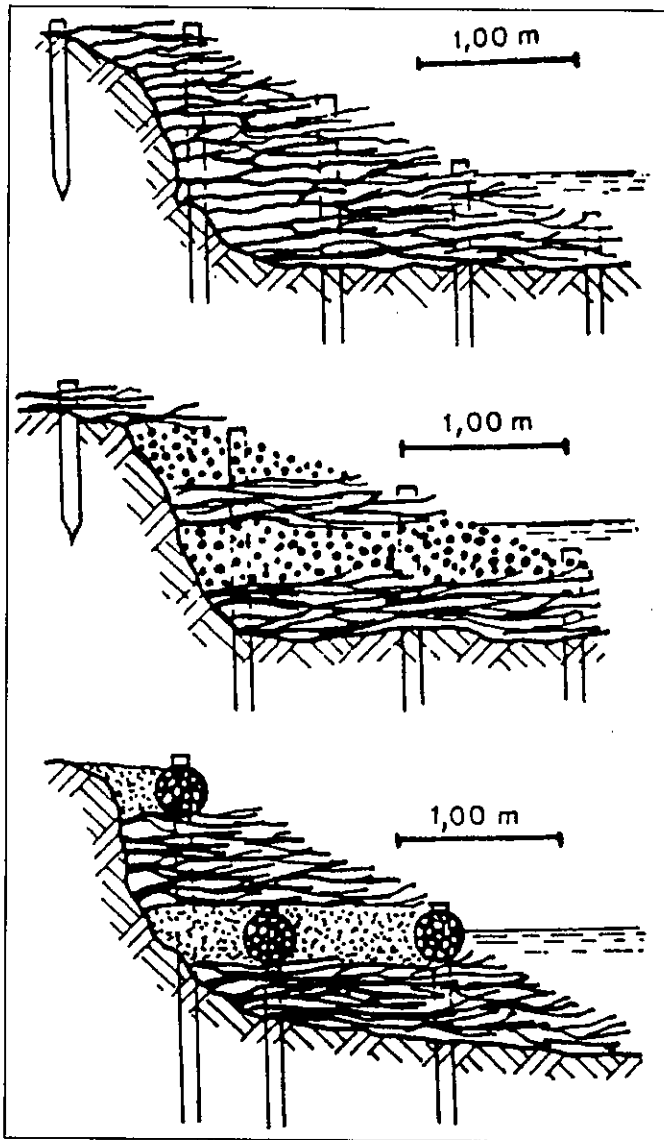


Figura 12 - Empacotamentos vivos.

Rede viva – Esta estrutura, conforme se apresenta na figura 15, funciona normalmente em combinação com esporões, com o objectivo de reduzir a velocidade do escoamento de margens erosionadas (Fernandes, 1987, p. 125). É construída com ramos viáveis (os ramos do nível inferior podem ser, no entanto, de material morto) de até 0,20 m de diâmetro, constituindo uma malha, que é bem reforçada e ancorada com rochas ou betão, fundamentalmente na face voltada para a corrente (Scheichtl, 1980).

Na sua construção, delimita-se a área a proteger com pilotos, colocando hastes à altura média das águas, saindo as pontas até 0,60 m das margens. Após a plantação de estacas vivas de salgueiro, procede-se ao entrançamento das hastes e das estacas e ao seu ancoramento com pedras.

Combinações de sistemas construtivos – As diversas estruturas atrás referidas podem ser combinadas sob diversas formas, constituindo sistemas de protecção de margens eficazes e, simultaneamente, ambientalmente aceitáveis.

Na figura 16 apresentam-se várias das combinações

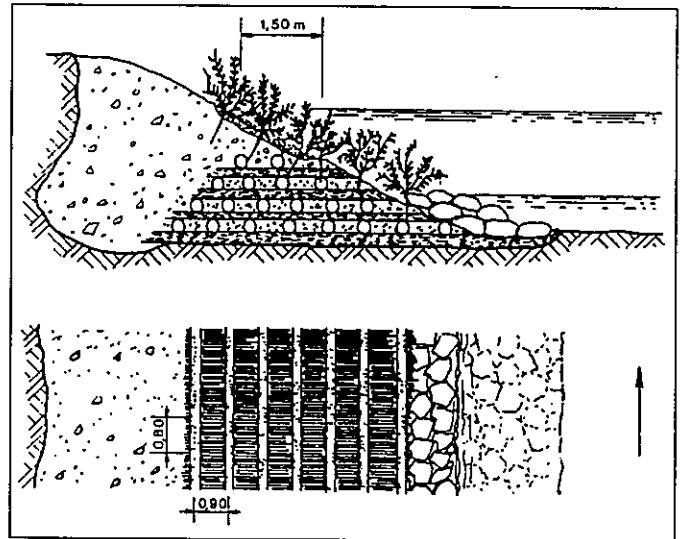


Figura 13 - Esquema de um empacotamento vivo na protecção de uma margem.

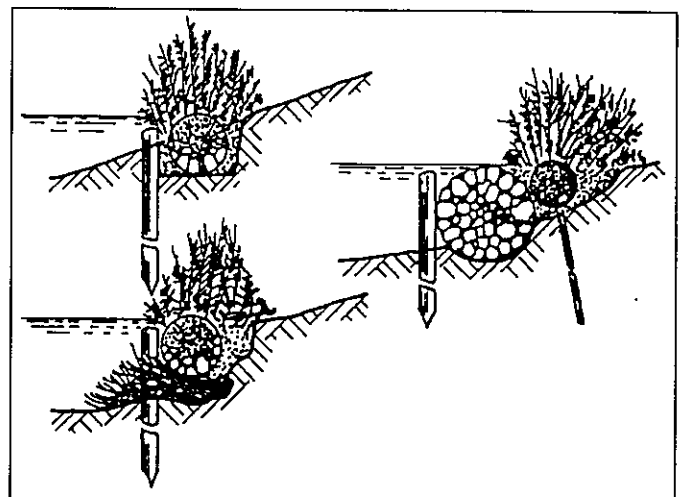


Figura 14 - Combinação de gabiões e instalação de torrões de caniço (adapt. Scheichtl, 1980).

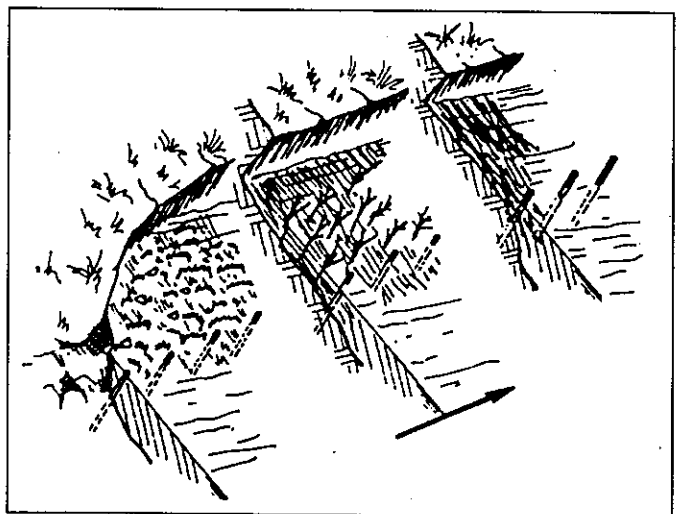
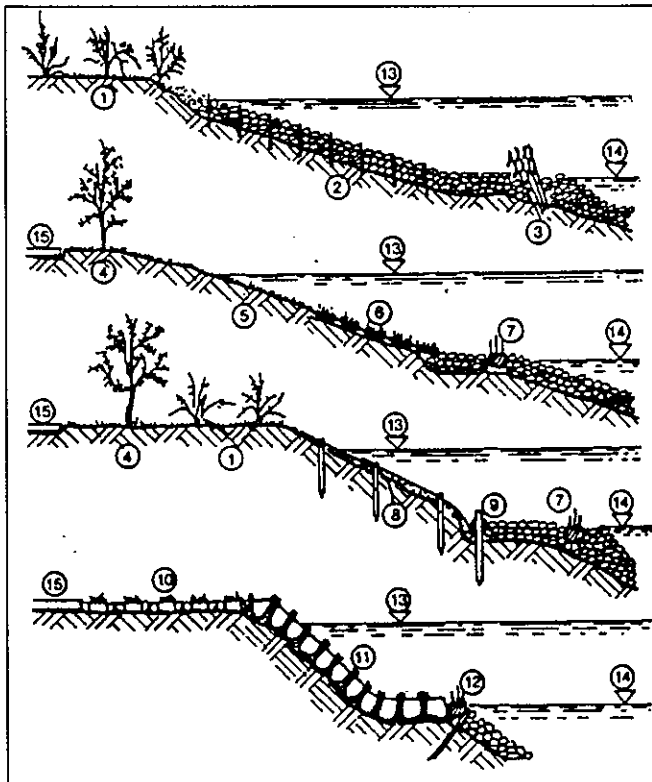


Figura 15 - Esquema de uma rede viva (adapt. Fernandes, 1987).



- 1 - plantação de arbustos
- 2 - enrocamento com estacas
- 3 - plantação de colmos de *Phragmites*
- 4 - plantação de árvores
- 5 - sementeira de herbáceas
- 6 - leivas ou placas de relva
- 7 - plantação de torrões
- 8 - plantação em cobertura
- 9 - fascinas
- 10 - sementeiras em grades de betão
- 11 - sementeira em calcetado de pedra
- 12 - plantação de torrões com gabião
- 13 - nível máximo das águas
- 14 - nível médio das águas
- 15 - caminho

Figura 16 - Combinação de técnicas para a consolidação de margens (adapt. Fernandes, 1987).

possíveis (Fernandes, 1987, p. 121), sendo de salientar a utilização de material vegetal vivo, nomeadamente árvores, arbustos, relva, estacas e diversas herbáceas, associada a materiais inertes de consolidação (p. ex., enrocamento, grades de betão, calcetado de pedra, etc.).

4. Referências bibliográficas

- BROOKES, A.** (1988) - Channelized Rivers. Perspectives for Environmental Management. John Wiley & Sons., Chichester.
- BROOKES, A.** (1992) - Geomorphology/Geology. In River Projects and Conservation (ed. John Gardiner), John Wiley & Sons., Chichester, pp. 57-66.
- FERNANDES, J. P.** (1987) - O Projecto Construtivo em Engenharia Biofísica. Universidade de Évora.
- FERREIRA, M. T. e MOREIRA, I.** (1990) - Weed Evolution and Ecology in Drainage Canals of Central Portugal. Proc. 8th International Symposium of Aquatic Weeds, European Weed Research Society, Uppsala, pp. 97-102.
- GRAY, D. H. e LEISER, A. T.** (1982) - Biotechnical Slope Protection and Erosion Control. Von Nostrand Reinhold Company, New York.

GREGORY, K. J. (1992) - Vegetation and River Channel Process Interactions. In River Conservation and Management (ed. Boon, Calow e Petts), John Wiley & Sons., Chichester, pp. 255-269.

LEWIS, G. e WILLIAMS, G. (1984) - Rivers and Wildlife Handbook: A Guide to Practices Which Further the Conservation of Wildlife on Rivers. Royal Society for Protection of Birds, London.

REEVE, C. E. e BETTESS, R. (1990) - Hydraulic Performance of Environmentally Acceptable Channels. In International Conference on River Flood Hydraulics (ed. W. R. White), John Wiley & Sons., Chichester, pp. 279-288.

SCHIECHTL, H. M. (1980) - Bioengineering for Land Reclamation and Conservation. The University of Alberta Press, Alberta.

VIEIRA, P. e CARDOSO, A. H. (1993) - Análise Ambiental de Obras de Engenharia Fluvial. CEHIDRO, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

* Departamento de Engenharia Florestal. Instituto Superior de Agronomia. Tapada da Ajuda - 1399 Lisboa