

BIOTÉCNICAS NO MANEJO DE CURSOS DE ÁGUA

Miguel Antão Durlo
Delmar Antonio Bressan
Fabrcio Jaques Sutili

O manejo dos recursos hídricos é reconhecidamente um problema complexo. A complexidade tem início na irregularidade espacial e temporal das precipitações, permeia as diferentes condições de armazenamento e escoamento da água, passa por problemas decorrentes de sua captação, tratamento, distribuição e uso, e alcança questões relativas aos efluentes. Os numerosos processos envolvidos e suas correlações variam ainda com o tempo, englobando, de forma dinâmica, aspectos ecológicos, econômicos e sociais. A compreensão de tal complexidade pressupõe a abordagem dos problemas sob o prisma de diversas áreas de conhecimento. As considerações que se seguem, entretanto, restringem-se a aspectos do armazenamento da água no solo e do escoamento por cursos naturais. A prevenção e a correção dos problemas ligados a esses aspectos dependem de ações nos próprios locais de ocorrência e, por vezes, em toda a bacia hidrográfica, podendo compreender ações educativas, medidas vegetativas e obras de engenharia. A combinação das duas últimas ferramentas constitui um campo de trabalho em franco desenvolvimento, conhecido como Bioengenharia ou Engenharia Natural, cuja característica básica reside no uso de vegetais vivos com finalidade estrutural, por vezes combinados com material inerte, com vistas ao manejo de cursos de água.

O problema

O armazenamento de água no solo e o seu escoamento por meio de ravinas, córregos e rios podem representar um grave problema para o ambiente e para a sociedade, em muitos locais. Em regiões de baixa pluviosidade, o armazenamento hídrico torna-se um fator limitante à ocupação humana. Por outro lado, regiões com pluviosidade alta, mesmo que restrita a determinadas estações do ano, vivenciam problemas decorrentes do escoamento das águas: as erosões laminar e em sulcos, os deslizamentos, as corrosões de barrancas (figura 1), por um lado, e as deposições dos materiais erodidos em locais indesejados, por outro. Tais fenômenos, de origem natural, induzidos ou favorecidos pelas ações ou omissões do homem, causam, com frequência, a destruição de bens e propriedades e, não raro, a perda de vidas humanas.



Figura 1: Margem do Rio Soturno (Faxinal do Soturno, Rio Grande do Sul, RS) após enchente. Observação: a margem original correspondia à posição da touceira de taquara, agora no centro do curso. Essa situação causa turbilhonamento e desvios do fluxo, nos períodos mais chuvosos, destruindo a margem esquerda e depositando materiais na margem direita. Fotografia: Miguel Durlo

A água encontra-se mais facilmente disponível para o homem em sua forma líquida, quando estocada em reservatórios naturais ou escoando por córregos e rios. É destes locais que é captada, armazenada em reservatórios naturais ou artificiais e conduzida para irrigação, uso em diversos processos industriais, geração de energia e abastecimento

humano e animal. A qualidade e quantidade de água consumida dependem do uso previsto, ficando, portanto, sob influência de diversos fatores. Na agricultura, por exemplo, a necessidade de água para irrigação de lavouras restringe-se a certos períodos do ano e são relativamente baixas as exigências de qualidade. Em contraposição, para o abastecimento humano, em uma cidade, por exemplo, a quantidade consumida é quase constante ao longo do ano, sendo grande a exigência de qualidade. Independente do uso, entretanto, a água precisa estar disponível quando dela se necessita. Embora os reservatórios naturais ou artificiais na superfície sejam os mais evidentes, o principal responsável pelo fluxo constante nos cursos de água é o solo. Assim, a manutenção da produção de água pressupõe que a mesma esteja armazenada temporariamente no solo, de onde escoar para os aquíferos.

O armazenamento e o escoamento, mesmo que a água seja proveniente de uma ou de poucas vertentes subterrâneas, não são fenômenos constantes e estáticos, mas processos dinâmicos. Tal dinamismo é dependente do comportamento da precipitação, das propriedades superficiais da área (comprimento da encosta, declividade, rugosidade e cobertura vegetal) e das características intrínsecas do terreno. Como não existe tecnologia suficiente para modificar as características da precipitação sobre grandes áreas a custos aceitáveis, resta para o manejo dos cursos de água modificar as propriedades da superfície terrestre e do solo, ou seja, modificar o armazenamento, velocidade e forma do escoamento. Contudo, algumas características superficiais, como altitude, inclinação geral e exposição, não podem ser facilmente modificadas, ao passo que outras, como o micro relevo e a cobertura vegetal, podem ser alteradas com relativa facilidade.

A utilização que se dá a determinada superfície, considerando especialmente a cobertura vegetal usada e seu respectivo manejo, além de objetivar a obtenção de produtos rurais específicos, pode ser encarada como técnica biológica de armazenamento e controle do comportamento da água. Cada tipo de trabalho desenvolvido em determinada área e sua cobertura vegetal proporciona um comportamento hídrico particular, tanto na superfície quanto nas partes mais profundas do solo, diferente daquele que poderia ser observado na mesma área sob outra forma de uso. Neste sentido, é reconhecido o papel desempenhado pelas florestas, responsáveis pelo efeito da interceptação temporária da chuva nas copas, pelo aumento da evapotranspiração, pela

capacidade de armazenamento de umidade na serapilheira e melhora significativa da capacidade de infiltração da água.

O escoamento das águas de uma determinada área ocorre inicialmente de forma laminar, depois em pequenas ravinas e córregos, para enfim ser levado adiante por meio dos rios. Nesse percurso, o fluxo pode ocasionar erosão e assoreamento tanto no próprio leito, como em áreas adjacentes de cultivo e de edificações. O comportamento de um córrego qualquer depende de *fatores físicos*, como tamanho, forma, declividade e cobertura vegetal de sua bacia de captação, fisiografia fluvial, incluindo a configuração da rede de drenagem, o tipo de canal e os perfis longitudinal e transversal. Depende também de *fatores meteorológicos* – como quantidade, intensidade, duração e direção das precipitações – e, ainda, de *fatores edáficos* – como tipo, profundidade e teor de umidade atual do solo. Interagindo com tais fatores, aparecem as várias interferências antrópicas executadas no passado e as ações praticadas no presente. Considerando esse grande número de variáveis e suas interações, os trabalhos para correção e estabilização de cursos de água geralmente são muito complexos. A solução definitiva de um problema comum, por exemplo, a erosão marginal em um pequeno trecho, além de medidas corretivas e estabilizadoras no local, muitas vezes requer intervenções em outros pontos do leito, em parte ou até mesmo em toda a bacia de recepção. A integração de conhecimentos de várias áreas específicas da ciência, requerida para a máxima efetividade do tratamento de cursos de água, por si só já representa uma dificuldade e pode resultar em custos elevados que inviabilizam a execução dos trabalhos necessários. Assim, quando existem problemas de manejo de cursos de água, a busca de soluções simples, mas baseadas em experiências e com expectativas de eficiência, mesmo que contando apenas com os meios de que se dispõem no momento, é, por certo, melhor do que nada fazer.

Princípios do manejo de cursos de água

A recuperação de cursos de água pelos métodos preconizados pela engenharia natural, também conhecida como bioengenharia ou bioengenharia de solos, tem como princípio básico o mínimo de intervenção no ambiente fluvial. Para isso, deve-se evitar a eliminação de curvas, de poços, de corredeiras e áreas com águas mais calmas ou com redemoinhos. Por conseguinte, no planejamento das ações, não se pode prever a retificação exagerada do canal e desaconsel-

lha-se a uniformização da velocidade da água, da largura do perfil transversal e da inclinação dos taludes marginais. De outra parte, a engenharia natural aconselha o uso de materiais inertes naturais oriundos, sempre que possível, das proximidades dos locais em tratamento, como blocos de pedra e madeira, além de recomendar fortemente o uso de vegetação viva diversificada, como elementos estruturais e de proteção marginal. O emprego de várias espécies vegetais decorre das características variadas da área de implantação: trata-se de realizar plantios em taludes fluviais, que sempre apresentam gradiente de umidade decrescente de baixo para cima, tornando-se um fator de seleção das espécies que podem viver nas diferentes faixas de umidade.

Para entender os princípios técnicos adotados no controle de cursos de água, é interessante conhecer os conceitos de *velocidade limite de transporte* e de *perfil de compensação*. Em consequência da desagregação das rochas da bacia de captação e da erosão do fundo e das margens do canal de condução de um córrego, por exemplo, acumulam-se no leito materiais de diversas dimensões. Quando sobrepõe uma cheia de grande proporções, muitos materiais podem entrar em movimento, dependendo de sua granulometria, forma e peso específico. Isto se deve ao fato de que a água em determinada velocidade, ao se chocar com um sólido apoiado no fundo do leito, exerce forças dinâmicas na face de montante, nas laterais e na face de jusante do mesmo. Tendo em vista que o corpo apoiado no fundo do leito possui peso e coeficiente de atrito que oferecem resistência à movimentação, para cada sólido existe certa velocidade da água, que o faz sair de seu estado de repouso e entrar em movimento. Esta é a *velocidade limite de transporte* para o sólido considerado. Devido a esse fato, sólidos de pequenas dimensões, de baixo peso específico e de forma arredondada entram em movimento mais facilmente, isto é, têm velocidade limite de transporte mais baixa do que os sólidos maiores, mais densos e angulosos.

A estabilidade dos materiais em um curso de água depende, por um lado, de um conjunto de características intrínsecas do material em questão – forma, dimensão, peso específico e coeficiente de atrito – variáveis que podem, dentro de determinados limites, ser utilizadas com vistas à estabilização. É possível modificar a forma, a dimensão e o coeficiente de atrito dos materiais que compõem as margens e leito dos cursos de água, pelo emprego de peças de dimensões específicas ou pela união de diversos materiais, de forma a obrigá-los ao trabalho solidário.

Por outro lado, a velocidade da água depende fundamentalmente da inclinação do perfil longitudinal do leito. Assim, quanto maior a inclinação do leito, tanto maior será a velocidade da água e materiais cada vez maiores terão alcançada sua velocidade limite de transporte. Dessa constatação surge o conceito de *perfil de compensação*, que significa a declividade do fundo do leito ao qual corresponde o estado de equilíbrio

Um curso de água com características torrenciais gera constante escavação do seu leito ou de suas margens. Para alcançar a estabilização, há necessidade de reduzir a velocidade atual até a velocidade limite de transporte (de materiais de determinada granulometria), o que pode ser conseguido pela diminuição da declividade, por meio de uma obra transversal, por exemplo. O menor poder de arraste da água proporciona, então, a deposição dos materiais mais pesados. Disso resulta a formação de um aterro a montante da obra, com um ângulo de inclinação menor do que aquele do leito original. A menor declividade favorece o escoamento mais lento da água, ou seja, diminui seu poder de erosão, formando o perfil de compensação, alcançando-se, desse modo, a estabilização.

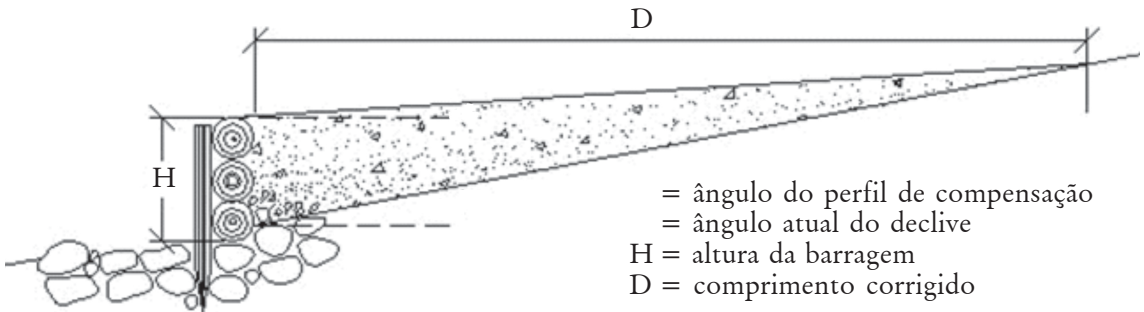


Figura 2: Desenho esquemático do perfil de compensação, em corte longitudinal

Considere-se um trecho de curso de água visto em seu perfil longitudinal com seu leito apresentando uma inclinação α' . Se em algum ponto desse trecho for construído um barramento transversal com troncos, por exemplo, a água ainda pode passar pelos vãos ou sobre o último tronco, mas os materiais sólidos, especialmente os maiores, ficarão retidos a montante do barramento. Com o passar do tempo, forma-se um aterro a montante, que apresenta inclinação (α) menor do que o perfil longitudinal inicial. A diminuição da inclinação do perfil longitudinal significa menor velocidade da água, o que, por sua vez, favorece ainda mais a

deposição de materiais que propiciará a estabilidade a montante da intervenção. Com os dados de v e θ , pode-se calcular a altura do barramento para se obter a estabilização de um trecho desejado (D) ou, se a altura (H) da construção é predeterminada, pode-se calcular o comprimento D que será por ela corrigido. Uma série de tais obras simples, quando corretamente dimensionadas e posicionadas, pode corrigir trechos de qualquer comprimento. Cabe ressaltar que esses barramentos são para pequenos cursos de água e devem ser de pequena monta, para não significar impedimento à movimentação dos seres aquáticos. Em períodos de maior vazão, formam-se poços de água a jusante das intervenções; esses locais, em períodos de vazante, são por vezes os únicos que ainda contêm água, servindo para a sobrevivência da fauna aquática, especialmente nos cursos de água de menor expressão.

Com base nos conceitos velocidade limite de transporte e perfil de compensação, e fidelidade aos princípios de intervenção mínima e emprego de vegetação viva como elemento estrutural, foram desenvolvidas várias técnicas biológicas de manejo de cursos de água.

A engenharia natural e o manejo de cursos de água

A engenharia natural, também dita por alguns “construção verde” ou “construção viva”, engloba um conjunto de técnicas de construção e se serve de características biológicas das plantas para a estabilização de encostas naturais ou artificiais de terrenos e margens de cursos de água. Essas técnicas caracterizam-se pelo uso de plantas ou partes destas, como material vivo de construção, desempenhando função estrutural. Sozinhas ou em combinação com materiais inertes, as plantas devem proporcionar estabilidade às áreas em tratamento, ao longo de sua vida.¹

Mesmo com planejamento e trabalho cuidadoso no cultivo da natureza, é impossível evitar que algumas áreas sejam modificadas negativamente, que partes de encostas percam estabilidade e que ocorram erosões, deslizamentos e assoreamentos. Quando isso acontece, podem ser necessárias a recomposição e a estabilização das áreas atingidas. Para tanto, a engenharia natural constitui-se em ferramenta importante, pois, além da solução técnica, normalmente apresenta vantagens econômicas, ecológicas e estéticas quando comparada às construções tradicionais. Dependendo dos objetivos e do tipo de construção, pode-se dar mais ênfase a um ou a outro dos fatores anteriormente citados, o que confere à engenharia natural grande flexibilidade.

¹ SCHIECHTL, H. M. & STERN, R. *Handbuch für naturnahen Wasserbau. Eine Einleitung für ingenieurbiologische Bauweisen*. Österreichischer Agrarverlag, Druck- und Verlagsgesellschaft m. b. H., 1994.

Outro aspecto a ser evidenciado diz respeito ao emprego de técnicas apropriadas do ponto de vista ecológico, que reforçam a moderna visão de tratamento de cursos de água. Nessa nova forma de trabalho, tenta-se evitar construções grandes e pesadas e modificar ao mínimo as condições naturais preexistentes. Em outras palavras, procura-se manter a morfologia e a dinâmica típicas do curso de água. Ao mesmo tempo, buscam-se a implantação, o desenvolvimento, o tratamento e a exploração de vegetação adequada para o lugar, observando a multifuncionalidade do curso de água. No caso da exploração agrícola, florestal ou de qualquer atividade econômica em áreas contíguas aos cursos d'água, deve-se ter sempre em vista a proteção do rio. Ou seja, o cultivo de suas áreas adjacentes pode ser configurado como forma de proporcionar estabilidade aos cursos de água.

Enfim, conforme salientam Begemann & Schiechtel², as obras de bioengenharia não alcançam total efetividade logo após sua implantação. Há que se aguardar a sobrevivência e o desenvolvimento radicial e aéreo das plantas. Nesta fase podem ser necessárias intervenções de reposição vegetal e/ou tratos culturais. Somente após a fase de implantação, cuja duração depende de diversos fatores, é que as obras começam a desempenhar integralmente sua ação corretiva, benéfica e duradoura (porém não infalível ou eterna) sobre o problema que se pretende solucionar.

Ferramentas de bioengenharia

Para fins de simplificação, pode-se agrupar as ferramentas de engenharia natural em dois grupos distintos: o manejo passivo e o manejo ativo. O primeiro grupo compreende as ações que são feitas na bacia hidrográfica ou mesmo nas zonas marginais ou nos taludes fluviais, mas que não implicam modificações diretas na fisiografia e no comportamento hídrico do curso de água. Enquadram-se neste grupo as ações preventivas feitas na bacia hidrográfica, quando se tem conscientemente em vista a melhoria do comportamento hídrico de determinado curso de água. A escolha de culturas, formas de preparo do terreno, confecção de curvas de nível, formação de terraços, muros, manutenção da cobertura morta ou viva ou rotação de culturas, embora não se enquadrem como tratamento de cursos de água propriamente dito, têm grande influência sobre o comportamento dos mesmos.

Como tratamento passivo mais característico, cita-se o isolamento de uma faixa marginal (prevista na Lei 4.771 de 15.09.1965 – Art. 2º) para se obter o cessamento do seu

² BEGEMANN, W. & SCHIECHTL, H. M. *Ingenierbiologie*. Handbuch zum ökologischen Wasser- und Erdbau. 2. neubearbeitete Auflage. Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GMBH, 1994.

uso ao longo dos cursos de água. Nos casos em que a faixa de isolamento confrontar com áreas agrícolas, é interessante que esta seja demarcada com estacas ou, no caso de confrontar com áreas de pecuária, com cercas.

A proteção e o incentivo da regeneração natural correspondem a uma prática passiva de manejo, implicando, basicamente, compromisso de não se efetuar roçadas, capinas e queimadas, e também de não se usar herbicidas e similares na faixa protegida pelo isolamento. Exceção a este preceito pode ser concedida quando se quer incentivar maior abundância de espécies com melhores características biotécnicas; nesses casos, admite-se a eliminação de concorrentes, através de coroamento das plantas desejadas ou, quando estas forem suficientemente abundantes, por meio da capina das demais.

Em contraposição ao manejo passivo, o manejo ativo implica ações que modificam (ainda que minimamente) as características físicas e hidrológicas dos cursos de água. O manejo ativo engloba a limpeza dos leitos e a melhoria das características do canal e do leito, pela remodelagem das margens, pela construção de obras transversais e longitudinais e pelo recapeamento vegetal.

Como limpeza, entende-se não a retirada de lixo dos corpos de água – embora isto muitas vezes seja indispensável. Lixo em corpos de água, em princípio, não deveria existir... Limpeza, no sentido técnico do manejo ativo, significa retirada de troncos trazidos pela água, afastamento de grandes pedras que possam interferir no livre fluir das águas e corte (e uso) de árvores de grande porte, quando muito próximas à margem e inclinadas para o centro do leito (eliminação do efeito alavanca).

A melhoria das características do canal e do leito se dá pelas pequenas retificações, pela melhor conformação de curvas (ou mesmo pela eliminação de algumas delas), pela remodelagem (não necessariamente uniforme) do perfil longitudinal e transversal, através da modificação da inclinação do leito e dos taludes fluviais.

As ações antes previstas sempre são acompanhadas do recapeamento vegetal, que não corresponde apenas ao plantio puro e simples de árvores nas margens dos cursos de água, mas também ao emprego de várias técnicas de revegetação correspondentes a cada problema encontrado.³

A colocação adequada de materiais com alta velocidade de limite de transporte, a redução da velocidade da água nas posições onde já ocorreram ou onde existe maior probabilidade de ocorrência de problemas, como nos raios exter-

³ DURLO, M. A. & SUTILI, F. J. *Bioengenharia: Manejo biotécnico de cursos de água*. Porto Alegre: Editora EST, 2005. 189 p.

nos das curvas e nos trechos de maior declividade, bem como o tratamento vegetativo de margens e bacia de captação, compõem a essência da bioengenharia em âmbito fluvial.

O material vegetal empregado precisa preencher alguns requisitos, dependentes de cada situação particular de uso, considerando-se os aspectos ecológicos e fitossociológicos, de reprodução e, fundamentalmente, de aptidão biotécnica. Para a observação dos quesitos ecológicos e fitossociais, dá-se preferência às espécies das comunidades vegetais locais, já adaptadas ao clima e solo da região.

O manejo e a recuperação de cursos de água ganham relevância em sítios extremos, nos quais o tipo de reprodução do material vegetal desempenha papel significativo. Assim, para vegetar certos habitats, torna-se por vezes obrigatório o uso de espécies com reprodução vegetativa em lugar das que só se reproduzem por sementes. Os métodos de cobertura valem-se mais da reprodução generativa da vegetação, ao passo que, para os métodos que visam diretamente à estabilização, é mais interessante o aproveitamento da reprodução vegetativa.

As plantas selecionadas e utilizadas na recuperação e manejo dos cursos de água precisam não apenas sobreviver às condições adversas, mas ainda resolver o problema técnico existente, isto é, ter aptidão biotécnica. Para combater a erosão, por exemplo, a escolha deve recair sobre plantas que resistam à exposição das raízes e que exerçam a fixação do solo por meio de sistema radicial profundo, denso e resistente. Para reter o transporte e posterior deposição prejudicial de materiais erodidos, são melhores as plantas que resistam ao aterramento parcial, ao apedrejamento provindo de partes superiores das encostas, e que sejam capazes de rebrotar após danos mecânicos, conseguindo reter e fixar o solo que recebem. Para aumentar ou diminuir a água do solo, escolhem-se plantas que apresentam baixa ou alta taxa de evapotranspiração e que possuam crescimento lento ou rápido, segundo o objetivo previsto. Para proporcionar cobertura física dos taludes marginais durante as enchentes, são preferíveis as espécies que conseguem se flexionar sobre as margens.⁴

Sempre que possível, deve-se priorizar espécies que, juntamente com a proteção ou recuperação, proporcionem algum rendimento econômico pela produção de madeira, frutos ou outros produtos.

Na combinação de plantas com materiais inertes, dá-se preferência àqueles mais baratos e mais facilmente encontráveis nas proximidades, como madeira e pedras.

⁴ DENARDI, L. *Anatomia e flexibilidade do caule de quatro espécies lenhosas para o manejo biotécnico de cursos de água*. Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2007. 111 p.

Métodos de trabalho

Para os tratamentos de superfícies em terrenos à margem de cursos de água, empregam-se os métodos de cobertura e os construtivos. Entretanto, antes de se iniciar os trabalhos vegetativos, deve-se preparar convenientemente a área eliminando as causas diretas de eventuais desmoronamentos e erosões, isto é, fazendo-se a limpeza (figura 3, esquerda) do curso de água e a remodelagem dos taludes (figura 3, direita).



Figura 3: Touceiras de taquaras impedindo o livre fluxo da água no Arroio Guar-Mor, Faxinal do Soturno, RS (esquerda). Trecho de talude fluvial remodelado no Rio Mello, Faxinal do Soturno, RS (direita). Fotografias: Fabrício Sutili

Pode ainda ser adequado impedir a infiltração indesejável da água, ou o escoamento superficial, construindo-se canais, ou mesmo pequenas obras longitudinais e transversais. Também se podem fazer necessários pequenos cortes e aterros, construção de pequenos muros rudimentares e entupimento de valas.

Os métodos de cobertura objetivam, prioritariamente, a proteção do solo contra a erosão laminar. Seu emprego principal dá-se em encostas desnudadas artificialmente, como ocorre com frequência nas construções prediais e de estradas e nos trabalhos de remodelagem das barrancas. Neste grupo de métodos incluem-se a hidrossemeadura, a semeadura sob camada de palha e o revestimento total ou parcial com leivas.

Para o controle direto de cursos de água, as biotécnicas empregadas podem ser divididas em obras longitudinais, obras transversais e tratamentos de superfície. Enquanto as duas primeiras são empregadas nas margens e diretamente

dentro do leito, os tratamentos de superfície são usados também na bacia de captação, com vistas a aumentar a infiltração, o armazenamento e o escoamento mais lento e não danoso da água.

Exemplos de obras longitudinais são os revestimentos total e parcial das margens. O objetivo, neste caso, é eliminar a corrosão das barrancas pelo emprego de materiais com velocidade limite de transporte superior à velocidade máxima esperada para a água no local. Na ausência de materiais de grandes dimensões, pode ser necessário construir estruturas que abriguem os materiais menores, forçando-os ao trabalho solidário. É o caso das paredes vegetadas de madeira (“Paredes Krainer”), (figura 4) das trancas vivas (figura 8, superiores), dos cilindros inertes ou vivos (figura 8, inferiores) e dos gabiões (figura 9). Na escolha dos materiais, deve-se dar preferência àqueles oriundos do próprio leito, ou das proximidades do local de tratamento.



Figura 4: Revestimento da margem com material inerte (madeira) e vegetação: “Parede Krainer” simples. Esquerda: em construção. Direita: após 30 dias. Arroio Guarda-Mor, Faxinal do Soturno, RS. Fotografia: Fabrício Sutili

Obras transversais são, em termos gerais, obstáculos colocados em posição perpendicular ao fluxo da água, com o objetivo de impedir a escavação do fundo e das laterais do leito, através da redução da declividade e, consequentemente, da velocidade da água, mediante a formação do perfil de compensação. Na dependência dos objetivos mais específicos, empregam-se as râmprolas (figura 5), os cintos basais simples (figura 6, esquerda), os cintos basais com desnível, as soleiras e as barragens de consolidação e/ou retenção (figura 6, direita).



Figura 5: Râmprolas de pedras (vegetadas com sementes e estacas) para direcionar o fluxo de água para o centro e evitar a corrosão marginal. Esquerda: logo após construção. Direita: após dois meses. Fotografia: R. Sotir Marietta, Georgia U.S.A.

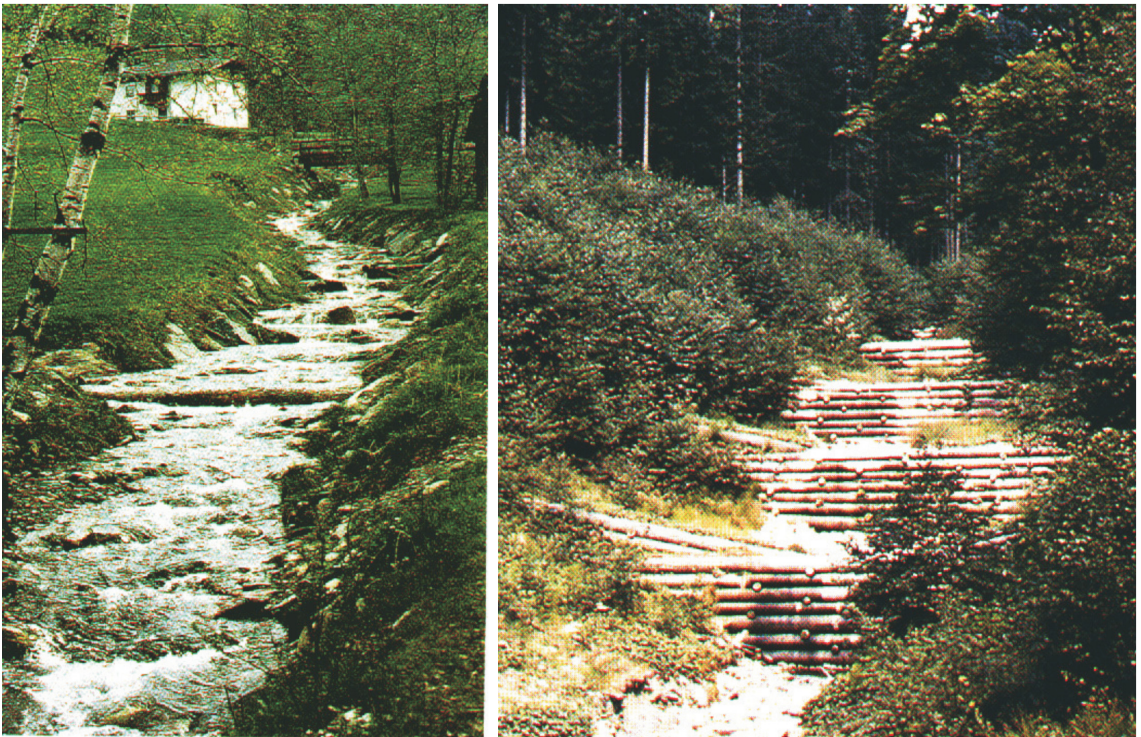


Figura 6: Cinto basal simples e margens reforçadas com pedras de grande velocidade limite de transporte (esquerda). Fotografia: Hansjörg Hufnagl; barragens de consolidação e taludes revegetados com arbustos densos e flexíveis (direita). Fotografia: Hubert Flachberger

Os métodos que visam diretamente a estabilização tendem a ser mais caros que os métodos de cobertura, o que restringe o seu emprego aos casos em que os primeiros não são suficientes. Não visam a cobertura imediata de todo o terreno, restringindo-se a linhas ou pequenas áreas. Neste grupo se enquadram as cercas de arbustos e a esteira viva (figura 7), a trança viva (figura 8, superior) e o cilindro vivo (figura 8, inferior).



Figura 7: Esteira viva em construção e após dois meses. Rio Mello, Faxinal do Soturno, RS. Fotografia: Fabrício Sutili

Encostas muito declivosas e/ou instáveis podem requerer a confecção de muros de madeira, de pedra, de restos vegetais ou de gabiões (figura 9). Em qualquer das situações, os muros são providos de terra fértil e sementes ou varas com poder vegetativo. Conseguem-se assim, com o passar do tempo, a formação de pequenos patamares que, com a germinação ou brotação do material vegetal, produzirão, em conjunto, a proteção da encosta ou talude fluvial.

É importante ressaltar, como pode ser verificado nas figuras anteriores, que os métodos de trabalho em bioengenharia não se restringem apenas ao plantio de árvores ou de outro tipo de vegetação qualquer nas margens dos cursos de água. Não se trata, pois, da simples recuperação das matas ciliares. Mais do que isso, a engenharia natural está preocupada em dar estabilidade às áreas marginais e taludes fluviais. Embora tenha na vegetação sua maior aliada, as ações de limpeza, remodelagem e reforço físico dos taludes com materiais inertes são tidas como igualmente importantes. Somente a boa combinação entre os materiais inertes e a vegetação viva poderá assegurar a estabilidade e longevidade das intervenções.



Figura 8: Acima: Trança viva após construção (esquerda) e após 4 meses (direita). Abaixo: Cilindros vivos após construção (esquerda) e após 4 meses (direita). Fonte: Florineth, F.⁵



Figura 9: Gabiões sendo recobertos pela vegetação no arroio Cadena, Santa Maria, RS. Fotografia: Alexandre Dal Forno Mastella

Potencial biotécnico de plantas nativas da região central do Rio Grande do Sul

⁵ FLORINETH, F. *Pflanzen satatt Beton*. Handbuch zur Ingenieurbiologie und Vegetationstechnik. Berlin-Hannover: Patzer Verlag, 2004. 272 p.

⁶ DURLO, M. A. Biotécnicas no Manejo de Cursos de Água. *Ciência & Ambiente*, 21, p. 81-90, julho-dezembro 2000.

⁷ DURLO, M. A. *Op. cit.*

⁸ DURLO, M. A. & SUTILI, F. J. *Op. cit.*

Há dez anos, em artigo semelhante a este, intitulado “Biotécnicas no Manejo de Cursos de Água”⁶, discorreu-se sobre as “perspectivas da Engenharia Natural”, salientando-se que a área estava despertando o interesse de diversos acadêmicos. Passados dez anos é, pois, conveniente que se mostrem os resultados até o presente momento.

Em primeiro lugar, deve-se afirmar que o assunto passou a ser o foco principal das aulas de manejo de bacias hidrográficas na Universidade Federal de Santa Maria. Saiu-se da explanação genérica e do discurso quase inócuo sobre a necessidade de coordenação e integração de ações em uma bacia hidrográfica, para uma visão menos holística, mas muito mais concreta e de aplicação prática. Identificou-se e passou-se a abordar o principal problema da maioria de nossas bacias hidrográficas: justamente as margens dos cursos de água. A questão básica tornou-se a seguinte: posto que o modelo apregoado de “recomposição das matas ciliares” não apresentava resultados práticos, o que poderia fazer a Academia para reverter este quadro? Como salientado no artigo de 2000⁷, apenas os slogans bem intencionados não bastam. Há que se fornecer aos interessados informações técnicas aplicáveis. Nesse intuito, partiu-se para a pesquisa do ponto mais básico da Engenharia Natural: conhecer as características biotécnicas de nossas espécies nativas. As exigências que se fazem para que uma espécie possa ser classificada como valiosa para a Engenharia Natural são muitas, porém variadas em função das condições locais de emprego, do objetivo da intervenção e dos métodos utilizados. A espécie precisa, em certos casos, suportar longos tempos de submersão, resistir à exposição das raízes, ser muito flexível, ter sistema radicial denso, longo e resistente, ou ainda deve apresentar simultaneamente várias destas características desejáveis, e assim por diante.

Dessa percepção surgiram diversos estudos, desenvolvidos por acadêmicos de graduação, mestrado e doutorado do curso de Engenharia Florestal, dos quais já se pode depreender uma série de conhecimentos básicos antes inexistentes. Tem-se agora um cadastro⁸ de espécies que, por uma ou mais características, podem ser empregadas em trabalhos de bioengenharia, dentre elas: *Calliandra brevipes* Benth., *Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg. *Pouteria salicifolia* (Spreng.) Radlk., *Salix humboldtiana* Willd.,

Sebastiania schottiana (Müll. Arg.) Müll. Arg., *Terminalia australis* Camb., *Salix x rubens*.

As plantas selecionadas e testadas são de ocorrência conspícua na maioria dos cursos de água do Rio Grande do Sul e, por uma ou mais razões, mostraram-se aptas ao uso em Engenharia Natural.

Características biotécnicas como a capacidade de brotação e enraizamento foram pesquisadas pelos estudantes austríacos Plunger & Altreiter⁹, em canteiro experimental padrão¹⁰ e posteriormente confirmadas e complementadas por Vargas¹¹, Monteiro¹² e pelas também acadêmicas austríacas Aschbacher & Müller¹³. Versaram ainda sobre o tema bioengenharia, a dissertação de Sutili¹⁴ e as teses de Sutili¹⁵ e Denardi¹⁶.

A partir desses trabalhos surgiram publicações que introduzem novos conhecimentos e popularizam a Engenharia Natural. Dentre as espécies citadas anteriormente, cabe destacar *Phyllanthus sellowianus*. Embora não tão frequente quanto *Sebastiania schottiana*, *P. sellowianus* mostra-se extremamente valiosa para a bioengenharia. Sua capacidade de brotação e enraizamento foi evidenciada por todos os autores. Além disto, Denardi¹⁷ observou que, dentre as quatro espécies por ele estudadas, *P. sellowianus* foi a que apresentou maior flexibilidade do caule, predicado de muito valor para emprego em cursos de água com grande velocidade de fluxo. Outras propriedades importantes da espécie são seu porte arbustivo, seu hábito de crescer inclinado (deitado) sobre as margens, a não procura por formigas e sua capacidade de brotar com facilidade, após a quebra de seus ramos ou decepa rente ao solo.

Como segunda espécie em ordem de importância, pode-se colocar *Salix humboldtiana*. Frequente nas margens dos rios, tem capacidade de enraizamento e brotação superior a *P. sellowianus*. Sua fragilidade reside no fato de alcançar grande porte, não sendo, portanto, indicada sem restrições para os taludes fluviais propriamente ditos. Seu emprego deve ficar, de preferência, afastado das margens, na região do leito maior ou maior excepcional¹⁸.

Para seu plantio nos taludes marginais é necessário que as plantas sejam mantidas com porte arbustivo através de decepas frequentes, rente ao solo. *S. humboldtiana* suporta bem as podas drásticas e, enquanto as brotações são relativamente finas (menor que 7-8cm), apresenta boa flexibilidade. Como diâmetros ao redor de 8cm são rapidamente alcançados pelo excepcional crescimento da brotação, os trabalhos de decepa podem tornar-se frequentes e caros.

⁹ PLUNGER, K. & ALTREITER, W. *Ingenieurbioologische Maßnahmen am Rio Guarda-Mor in Südbrasilien* – Untersuchung der biologisch-technischen Eigenschaften von Ufergehölzen. Diplomarbeit. Universität für Bodenkultur Wien. Viena, Áustria, 2004. 164 p.

¹⁰ DURLO, M. A. & SUTILI, F. J. *Op. cit.*

¹¹ VARGAS, C. O. *Características biotécnicas de Phyllanthus sellowianus Müll. Arg., Salix x rubens Schrank e Sebastiania schottiana (Müll. Arg.) Müll. Arg.*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2007. 84 p.

¹² MONTEIRO, J. S. *Influência do ângulo de plantio na propagação vegetativa de espécies utilizadas em Engenharia Natural*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2009. 109 p.

¹³ ASCHBACHER, M. & MÜLLER, B. *Optimierung des Steckholzwachstums am Beispiel von Salix humboldtiana und Phyllanthus sellowianus in Südbrasilien*. Diplomarbeit. Universität für Bodenkultur Wien. Viena, Áustria. 2009. 171 p.

¹⁴ SUTILI, F. J. *Manejo biotécnico do arroio Guarda-Mor: Princípios, processos e práticas*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria 2004. 115 p.

¹⁵ SUTILI, F. J. *Ingenieurbioologie an Fließgewässern in Südbrasilien: Geeignete Pflanzen, ihre biologisch-technischen Eigenschaften und Anwendung in der Praxis*. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades an der Universität für Bodenkultur Wien. Viena, Áustria. 2007. 94 p.

¹⁶ DENARDI, L. *Op. cit.*

¹⁷ DENARDI, L. *Op. cit.*

¹⁸ DURLO, M. A. & SUTILI, F. J. *Op. cit.*

Sebastiania schottiana é a espécie mais frequente nos cursos de água do Rio Grande do Sul. Não chega a apresentar brotação e enraizamento tão abundantes quanto as anteriores, porém sua presença numerosa nas margens de cursos de água, açudes e banhados compensa esta fragilidade. De fácil colheita, pode-se usar um grande número de estacas e ramos, obtendo-se, a despeito de sua baixa brotação e enraizamento, a cobertura viva necessária.

Das demais espécies citadas pode-se esperar boa, porém não excepcional, ação biotécnica. Talvez mereça destaque *Calliandra brevipes*, que, no entanto, só pode ser considerada como alternativa viável se for utilizada a partir de mudas produzidas em viveiro. Dada sua abundante frutificação durante o ano, além da facilidade de coleta das sementes, o uso de numerosas plântulas advindas de viveiros parece não constituir problema.

As plantas utilizadas nas margens dos cursos de água muitas vezes precisam resistir a fortes correntezas. Para conhecer a capacidade das plantas de se manterem enraizadas no talude nessas condições, Sutili¹⁹ mediu a resistência ao arranquio de estacas de *Phyllanthus sellowianus*, *Salix humboldtiana*, *Salix x rubens* e *Sebastiania schottiana*, em diferentes datas após seu plantio. Deste trabalho pode-se deprender que, com o tempo, todas as quatro espécies aumentam consideravelmente a resistência ao arranquio, passando de valores inferiores a 0,5kN dois meses após o plantio, para valores superiores a 3,0kN após nove meses. Neste quesito destaca-se nitidamente *Salix x rubens* sobre as demais, que apresentam valores similares.

As técnicas preconizadas pela Engenharia Natural requerem, por vezes, que o material vegetativo seja utilizado na posição horizontal, em outras na vertical ou ainda formando diversos ângulos com o terreno. Monteiro²⁰ concluiu que existe pouca diferença entre a brotação, o enraizamento e a distribuição das raízes em função do ângulo de plantio das três primeiras espécies citadas. Para *P. sellowianus*, *Salix x rubens* e *S. schottiana*, Vargas²¹, por seu turno, não detectou comportamento diferente em função do diâmetro das estacas. Tais constatações são muito interessantes, pois indicam que podem ser usadas as três espécies em diversos métodos de plantio e que não há necessidade de seleção de determinado diâmetro das varas para se ter sucesso na sua implantação.

Evidentemente, são necessários mais estudos para formar um banco de informações suficientemente grande

¹⁹ SUTILI, F. J. *Ingenieurbiologie an Fließgewässern in Südbrasilien...* Op. cit.

²⁰ MONTEIRO, J. S. Op. cit.

²¹ VARGAS, C. O. Op. cit.

para uso seguro de nossas plantas no campo da bioengenharia. Ainda se encontram abertas as questões relativas ao comportamento de gramíneas e herbáceas. Igualmente é necessário que se estude a eficácia dos diferentes métodos de trabalho em nosso ambiente concreto: taludes frequentemente verticais, altos e com material muito friável; precipitações intensas e repentinas causando cheias súbitas e violentas. Essa tarefa parece um pouco mais difícil visto que implica uso de máquinas e equipamentos, além de diversas horas de mão de obra. No entanto, existem métodos práticos comprovados (em outros países) que, talvez com pequenas adaptações, possam ser transferidos para o nosso meio, pois os aspectos físicos e mecânicos do controle de cursos de água são imutáveis.

A observação do estado da maioria de nossos cursos de água mostra que, até o momento, eles não têm sido adequadamente tratados. O motivo para tanto pode ser encontrado, pelo menos em parte, no desconhecimento generalizado das técnicas de manejo e recuperação. As tentativas de melhoria não têm atingido nível concreto, ficando restritas a frases de ordem como “salve o rio tal”, “ajude a preservar o rio, ele também é seu”, e similares, numa tentativa de educar a população. A despeito de demonstrarem boa intenção, os slogans não são eficazes, embora não haja dúvidas de que o manejo correto do solo e dos cursos de água não pode prescindir da educação. Mas que seja uma educação técnica e praticável, não apenas romântica.

Por outro lado, a legislação, embora orientada de modo correto, não consegue transferir seus preceitos para a prática. Em certos aspectos será difícil obter sucesso nessa transferência, pois algumas determinações encontram-se dissociadas da realidade e carecem de embasamento lógico. Cita-se, como exemplo, a obrigatoriedade de manutenção de largas faixas de proteção intocáveis às margens dos cursos de água. A largura exigida é exagerada e não fundamentada em termos técnicos. A intocabilidade, por sua vez, é um problema a mais, ao invés de uma solução. Esta opção é equivocada, pois a manutenção de algumas espécies pode até favorecer desmoronamentos, deslizamentos e interrupção de fluxo, enquanto outras maximizam a proteção somente quando sua parte aérea recebe podas frequentes e poucas têm seu efeito protetivo máximo, quando sem nenhuma intervenção. Árvores altas muito próximas às margens exercem um efeito de alavanca que só favorece o desbarrancamento e, ao caírem, impedem o fluxo livre das

Miguel Antão Durlo e Delmar Antonio Bressan são engenheiros florestais, doutores em Ciências Florestais e professores do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

migueldurlo@gmail.com
bressan@smail.ufsm.br

Fabrcio Jaques Sutili é engenheiro florestal, doutor em Bioengenharia e professor do Departamento de Ciências Florestais do Centro de Educação Superior Norte-RS (CESNORS) Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul.

fjsutili@gmail.com

águas, desviando-as para as margens e favorecendo ainda mais a erosão. Assim, o corte de árvores das margens dos rios e arroios, em certas situações, pode ser necessário para o bom funcionamento dos mesmos.

Cabe lembrar que o Estado e a população em geral sempre dependerão do empenho dos proprietários rurais para ter os cursos de água bem cuidados. Para isso há que se oferecer algo em troca. Quando assegurada a continuidade da proteção para o futuro, quem durante anos proporcionou estabilidade às margens de rios ou riachos ou beneficiou a bacia hidrográfica com a manutenção da cobertura vegetal (florestal), deve ter adquirido o direito de usar o “subproduto” (madeira, ramos, frutos etc...) desta proteção. O uso da vegetação e a proteção dos cursos de água não são mutuamente excludentes. Podem ser, sim, complementares.



Sequência de recuperação
do Arroio Divisa
em Vale Vêneto
(São João do Polêsine, RS),
usando esteira viva.
Fotografias:
Fabrício Sutili e Miguel Durlo



Sequência de
recuperação de um trecho
da margem do Rio Soturno
(Faxinal do Soturno, RS),
usando esteira viva
e parede Krainer.
Fotografias:
Fabrício Sutili e Miguel Durlo

