

*Gerardo Fracassi*

# Proteção de rios com soluções Maccaferri

*Gerardo Fracassi*

# Proteção de rios com soluções Maccaferri

© Copyright 2017 Oficina de Textos

Grafia atualizada conforme o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, em vigor no Brasil desde 2009.

CONSELHO EDITORIAL Arthur Pinto Chaves; Cylon Gonçalves da Silva; Doris C. C. K. Kowaltowski;  
José Galizia Tundisi; Luis Enrique Sánchez; Paulo Helene;  
Rosely Ferreira dos Santos; Teresa Gallotti Florenzano

CAPA E PROJETO GRÁFICO Malu Vallim

PREPARAÇÃO DE FIGURAS Vinicius Araujo da Silva

DIAGRAMAÇÃO Douglas da Rocha Yoshida

PREPARAÇÃO DE TEXTOS Hélio Hideki Iraha

REVISÃO DE TEXTOS Renata de Andrade Sangeon

IMPRESSÃO E ACABAMENTO Bartira gráfica e editora Eireli

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

---

Fracassi, Gerardo

Proteção de rios com soluções Maccaferri / Gerardo

Fracassi. -- São Paulo : Oficina de Textos, 2017.

Bibliografia.

ISBN: 978-85-7975-278-0

1. Engenharia hidráulica 2. Estabilização das  
margens 3. Gabião - Uso 4. Inundações 5. Maccaferri  
(Empresa) 6. Muros de contenção 7. Revestimentos  
8. Rios - Proteção I. Título.

17-08756

CDD-627

---

Índices para catálogo sistemático:

1. Proteção e estabilização das margens, controle do  
traçado do rio e proteção contra inundações :  
Engenharia hidráulica 627

Todos os direitos reservados à **Oficina de Textos**

Rua Cubatão, 798

CEP 04013-003 São Paulo Brasil

tel. (11) 3085-7933

www.ofitexto.com.br e-mail: atend@ofitexto.com.br

## PREFÁCIO

Quando criança, eu passava parte das minhas férias de verão nas montanhas. Do que mais gostava não era tanto da magnífica vista das montanhas, mas dos arroios que desciam delas borbulhando e do barulho que eles produziam. O mesmo efeito me provocavam os fluxos menores, os pequenos canais com alguns centímetros de profundidade que os agricultores cavavam para irrigar seus campos. Eu passava horas acompanhando o caminho da água, saltando de pedra em pedra no leito dos arroios, seguindo a sua tortuosidade, observando as pedras maiores que tinham sido transportadas na primavera, durante o degelo, e que mostravam a força da água, e me perguntava como a água que transportava pedras enormes podia levar os minúsculos grãos de areia das pequenas praias encontradas, por vezes, nas margens. Nada era mais divertido que colocar pequenos obstáculos e desviar a corrente para onde eu queria ou represá-la; controlar uma força tão grande me dava uma sensação de poder e, ao mesmo tempo, de paz.

Esse interesse me conduziu, anos mais tarde, para os estudos de Engenharia Hidráulica, e o destino me levou a trabalhar em uma empresa que me permitiu continuar a “brincar com água” em canais abertos, que possibilita olhar, tocar, pôr as mãos nela, ao contrário da hidráulica em tubos, que nunca me interessou por estar a água confinada, escondida e distante.

Não foi apenas o que estudei na faculdade e durante o meu trabalho que me permitiu entender como trabalhar em e com os rios, mas as experiências de dezenas de engenheiros que conheci em toda a América Latina. Desde a minha primeira viagem à América Central, no final dos anos 1970, consegui confrontar as minhas teorias com as experiências deles. Uma das primeiras perguntas que me foram feitas era relativa aos espigões e precisamente quando deveriam estar inclinados a montante ou a jusante. A minha resposta foi baseada no senso comum, mas coincidiu com a experiência de campo deles, o que me deu mais autoconfiança e me ensinou a me interrogar, questionar os meus conhecimentos, e comparar minhas convicções baseadas em meus estudos com as observações provenientes da prática minhas e dos outros. Algumas das informações valiosas que coletei ao longo dos anos fazem parte deste manual e me arrependo de não ter anotado todas elas, porque certamente devo ter me esquecido de muitas.

Gostaria então de agradecer a todos os engenheiros que me ajudaram a aumentar a minha experiência, o que foi de muita utilidade nas decisões que tive de tomar posteriormente e impediu muitos erros ao longo desses anos.

Da mesma forma, quero agradecer a colaboração do Eng. Javier Herrera Hernandez, da Maccaferri da Argentina, e do Eng. José Roberto Costa, da Maccaferri do Brasil, que me ajudaram na coleta das informações que usei para escrever este texto e na sua revisão.

A finalidade desta publicação é divulgar as aplicações mais comuns no setor de estabilização, regularização, proteção contra a erosão e controle de enchentes nos cursos de água naturais e a maneira de dimensioná-los.

Para esses fins, são geralmente usadas estruturas contínuas, tais como muros de canalização, diques longitudinais e revestimentos das margens, mas também podem ser utilizadas estruturas descontínuas, como espigões, soleiras e diques transversais.

Este livro é dedicado às obras entendidas como proteção direta das margens erodíveis cuja finalidade seja a proteção e a estabilização das margens, o controle do traçado do rio e a proteção contra as inundações.

Geralmente são utilizados revestimentos, muros de contenção, diques longitudinais e espigões, cuja utilização se diferencia. Os revestimentos, para exercer a sua função protetora, são colocados diretamente sobre as margens, oportunamente perfiladas, desde que elas sejam geotecnicamente estáveis. Os muros de contenção cumprem a mesma função de proteção e, se as margens são instáveis geotecnicamente, somam a função de contenção. Os diques longitudinais criam uma nova margem separada da existente, estreitando o leito. E, por fim, os espigões protegem ou restauram as margens erodidas e, eventualmente, centralizam a correnteza, provocando o aprofundamento da parte central do curso de água.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>HISTÓRIA DOS GABIÕES</b> .....	7
1.1	Primeiros trabalhos fluviais significativos.....	10
<b>2</b>	<b>MORFOLOGIA DO RIO</b> .....	17
2.1	Classificação dos cursos de água.....	17
2.2	Equilíbrio.....	29
2.3	Gráus de liberdade.....	31
2.4	Erosão.....	38
2.5	Transporte sólido.....	47
2.6	Dados necessários para o projeto de obras fluviais.....	54
<b>3</b>	<b>INTERVENÇÕES EM UM CURSO DE ÁGUA</b> .....	61
3.1	Tipos e finalidades das soluções possíveis.....	62
3.2	Tipos de solução.....	63
<b>4</b>	<b>SOLUÇÕES USUAIS E SUAS APLICAÇÕES</b> .....	67
4.1	Tipos de solução.....	71
<b>5</b>	<b>ESPIGÕES</b> .....	97
5.1	Características dos espigões.....	98
5.2	Dimensionamento dos espigões.....	101
5.3	Espigões em gabiões.....	126
5.4	Espigões permeáveis construídos com troncos, malhas e cabos de aço.....	127
<b>6</b>	<b>BIOENGENHARIA</b> .....	129
6.1	Benefícios da Bioengenharia para o projeto.....	132
6.2	Considerações de projeto.....	134
6.3	Técnicas.....	135
6.4	Operações para a revegetação.....	156
6.5	Proteção das margens mediante técnicas de Engenharia Ambiental.....	162
6.6	Estruturas de consolidação da margem – proteções do pé.....	164
6.7	Infraestrutura verde.....	166
<b>7</b>	<b>INVESTIGAÇÕES</b> .....	187
7.1	Comportamento dos colchões Reno®.....	187
7.2	Desempenho ambiental das obras em gabiões e colchões Reno®.....	216

<b>8</b>	<b>MÉTODOS DE CÁLCULO</b> .....	221
8.1	Dimensionamento dos revestimentos.....	221
8.2	Dimensionamento do revestimento em relação ao movimento das ondas.....	252
8.3	Dimensionamento da seção transversal dos espigões.....	253
<b>9</b>	<b>SUGESTÕES PARA O PROJETO DE ALGUNS TIPOS DE ESTRUTURA EM GABIÕES</b> .....	255
9.1	Seção e relação altura/base .....	255
9.2	Estabilidade contra tombamento e contra deslizamento, pressão na base e pressão nos distintos níveis.....	256
9.3	Fundação .....	256
9.4	Uso de geotêxtil .....	263
9.5	Durabilidade.....	263
9.6	Engastamento .....	272
9.7	Contrafortes e caixas de travamento.....	273
9.8	Colocação em água.....	275
9.9	Adaptação dos gabiões caixa e dos colchões Reno® à seção da estrutura.....	279
9.10	Tipos de pedra para encher os gabiões .....	280
9.11	Social .....	284
<b>10</b>	<b>CASOS HISTÓRICOS</b> .....	287
10.1	Rio Los Antiguos (Argentina) .....	287
10.2	Rio Jolencia (Bolívia).....	289
10.3	Santa Cruz (Bolívia).....	291
10.4	Rio Pauto (Colômbia) .....	293
10.5	Rio Naranjal (Equador) .....	295
10.6	Rio Lempa (El Salvador).....	297
10.7	Rio Little Wekiva (Seminole, Flórida, Estados Unidos).....	300
10.8	Rio Cañete (Peru).....	300
10.9	Rio Haina (República Dominicana) .....	303
10.10	Rio Blanco (República Dominicana) .....	305
10.11	Rio Inkongweni (África do Sul).....	307
10.12	Rio Azul (Chubut, Argentina).....	308
10.13	Rio Pescado (Salta, Argentina).....	310
10.14	Rio Chimoré (Cochabamba, Bolívia).....	312
10.15	Rio Bermejo (Tarija, Bolívia).....	315
10.16	Rio Lempa (Usulután, El Salvador) .....	317
10.17	Rio Paz (Ahuachapán, El Salvador) .....	319
10.18	Rio Challuayacu (San Martín, Peru).....	320
10.19	Rio Huallabamba (San Martín, Peru).....	322
10.20	Rio Huallaga (San Martín, Peru) .....	324
10.21	Rio Huallaga (Picota, San Martín, Peru).....	326
	<b>LISTA DOS SÍMBOLOS USADOS</b> .....	327
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	333

## HISTÓRIA DOS GABIÕES

O personagem principal deste livro é o gabião, por ser uma das estruturas mais usadas nos cursos de água há milhares de anos.

A obra de gabião mais antiga de que se tem conhecimento foi encontrada na antiga cidade de Caral, no vale do rio Supe, ao norte de Lima, no Peru. Nas escavações para trazer à luz essa cidade antiga, foram localizados restos de manufaturados em malha trançada de fibra vegetal preenchidos com pedras, chamados de *shicras* (Fig. 1.1).

Essas ruínas são datadas de aproximadamente 2.627 a.C., época contemporânea à civilização egípcia (as pirâmides do Egito datam de 2.600-2.480 a.C.). Coincidentemente, encontram-se menções do uso de gabiões com manufaturados similares no alto rio Nilo, só que com a utilização de cestos de vime cheios de pedras pequenas em vez de malha trançada.

O uso de pedras como material de preenchimento se justifica pelo fato de o concreto do gabião ser a criação de uma estrutura de elevado peso que possa suportar a pressão da água. Naquela época, usavam-se pequenas pedras porque, com a tecnologia disponível então, mover pedras pesadas era extremamente complicado.

Há também menção do uso de gabiões em obras civis na Europa, durante a Idade Média e o Renascimento, na construção de fundações de edifícios. Sua utilização ainda é mencionada no século XIX, nesse caso para criar defensivos militares (Fig. 1.2).

Foi durante o inverno entre 1892 e 1893 que nasceu na Itália o gabião metálico, produzido por uma empresa local chamada Maccaferri Raffaele – Officina da Fabbro, quando foi usado na primeira obra de grande tamanho, a recuperação da margem esquerda do rio Reno em Casalecchio, perto da cidade de Bolonha, no norte da Itália. A partir desse trabalho começou a difusão do gabião até se chegar à sua primeira patente, que remonta a 1915 (Figs. 1.3A-C). Devido a suas

sempre descobrindo novas aplicações. Em paralelo, para verificar e poder garantir os benefícios dessas melhorias e desenvolvimentos, desde a segunda metade do século passado a empresa tem realizado pesquisas em laboratórios e universidades ao redor do mundo, como será mostrado no Cap. 7.

## 1.1 Primeiros trabalhos fluviais significativos

A seguir serão descritas duas das primeiras obras realizadas na Itália com gabiões metálicos produzidos pela empresa Maccaferri, inventora do gabião atual. A primeira, nos anos de 1893 a 1895, já mencionada, foi sem dúvida o primeiro trabalho; a segunda, em 1951, foi um trabalho de emergência que teve muito impacto na época em todo aquele país.

### 1.1.1 Fechamento da margem do rio Reno

Em 1º de outubro de 1893, durante uma cheia, graves danos foram causados pelas águas do rio Reno ao longo de suas margens entre Casalecchio e Bolonha.

A queda de uma ponte provocou a interrupção da linha ferroviária entre as cidades de Bolonha, Piacenza e San Felice (Fig. 1.4).

Nas imediações da Chiusa di Casalecchio, a força da água derrubou o dique na margem esquerda. O rio mudou seu curso, deixando em seco a entrada do Canale di Reno. Por longos meses, todas as fábricas que utilizavam a energia hidráulica produzida pelo canal de desvio tiveram que interromper a produção, deixando um grande número de trabalhadores sem emprego.

A grande obra de fechamento da ruptura foi realizada nos anos de 1894 e 1895 graças aos gabiões Maccaferri. A obra começou depois que o rio baixou, deixando em seco a soleira existente, e durou vários meses. A primeira intervenção consistiu na colocação de um espigão na margem esquerda e no fechamento do dique (Fig. 1.5). As seguintes cheias que se repetiram ao longo do ano destruíram várias



**Fig. 1.4** Ponte destruída, provocando a interrupção de uma linha ferroviária na Itália

vezes o que havia sido construído, deixando a entrada do canal novamente em seco.

Foram então reconstruídos, dessa vez com gabiões, um espigão, a extensão do dique existente que fechou a brecha e o muro de contenção destruído. As fotos da época mostram a construção e os trabalhadores festejando no final do trabalho (Fig. 1.6). O mesmo local em 2005 é apresentado na Fig. 1.7, com um detalhe dos gabiões que ainda existem e estão em boas condições. Como pode ser visto nas fotografias,



# MORFOLOGIA DO RIO

A morfologia do rio é abordada no ramo da Hidráulica Fluvial que estuda a formação, a evolução e a estabilização dos cursos de água naturais, considerando também sua configuração em planta, suas seções transversais, inclinação e recursos em geral.

Normalmente, as informações usadas para desenvolver teorias computacionais para o estudo desses aspectos referem-se essencialmente aos canais retos ideais, com seções transversais e vazão constante. Porém, a realidade apresenta rios cujas características são significativamente diferentes dessa situação; portanto, eles precisam ser interpretados com base nas diferenças entre a teoria e o caso examinado.

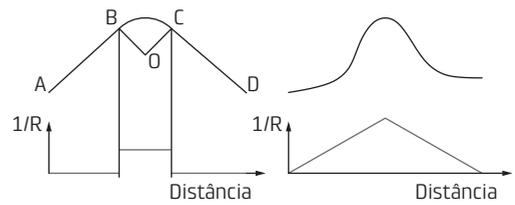
É, então, importante identificar a situação do rio em exame classificando-o por idade, desenvolvimento do leito, material que o compõe, constância do escoamento, conformação do leito, forma em planta e geometria.

## 2.1 Classificação dos cursos de água

### 2.1.1 Por idade

- *Rios jovens*: essa fase se concentra no topo a montante. Esses rios geralmente estão localizados em uma região montanhosa com declives longitudinais altos e cortes transversais encaixados em V, com um grande número de quedas e corredeiras (geralmente rios de montanha ou torrentes). O rio é muito irregular e em geral está na fase de erosão, especialmente no fundo. A granulometria do material que constitui o fundo normalmente varia de fina a grossa, com desvio padrão  $\sigma > 3$ .
- *Rios maduros*: essa segunda fase geralmente se verifica em sua parte central, em vales de largura e inclinação longitudinal relativamente baixas. A topografia é mais plana e os perfis longitudinais são graduais, sem quedas ou corredeiras, com equilíbrio dinâmico.

No Quadro 2.1 mostra-se um resumo das principais características dos rios para diferentes padrões de leito.



**Fig. 2.11** Relação entre curvatura e declividade longitudinal

**Quadro 2.1** Principais características dos rios para diferentes padrões de leito

	Largura uniforme – canal sinuoso	Barras de ponta – canal sinuoso	Canais trançados com barras de ponta	Canais trançados com barras de ponta e ilhas – canais de drenagem
Forma do hidrograma	As declividades das curvas ascendentes e descendentes do hidrograma são mais acentuadas do que para os canais sinuosos com barras e mais planas do que para os canais trançados. Os canais que são alimentados por águas subterrâneas têm curvas planas	A taxa de câmbio da declividade ascendente e descendente do hidrograma é menor do que para os canais sinuosos de largura uniforme e os canais trançados com barras de ponta	As curvas ascendentes e descendentes do hidrograma são muito acentuadas devido à baixa sinuosidade. Declividade acentuada e planície de inundação estreita	A duração do pico do hidrograma é grande. Se o trançado está associado com declividades pronunciadas, a taxa de subida e descida do hidrograma pode ser acentuada
Planície de inundação	O canal pode se formar numa planície de inundação estreita ou larga	A esse tipo de canal é sempre associada uma planície de inundação larga	Geralmente a planície de inundação é estreita	A planície de inundação pode ser estreita se a declividade do canal é acentuada e pode ser larga se a declividade é baixa
Sinuosidade	Baixa ( $S < 1,5$ ), moderada ( $1,5 < S < 2,0$ ) ou alta ( $S > 2$ )	Moderada ( $1,5 < S < 2,0$ ) ou alta ( $S > 2$ )	Baixa ( $S < 1,5$ ) ou moderada ( $1,5 < S < 2,0$ )	Baixa ( $S < 1,5$ )
Forma da vegetação	Ocorre uma estreita faixa de vegetação densa ao longo das duas margens do canal. O crescimento da vegetação, principalmente no lado interior das curvas do canal, está associado com a alta sinuosidade	Na várzea, pode crescer vegetação que varia de insignificante a muito densa	Quando os canais têm declividade acentuada, o crescimento da vegetação é geralmente insignificante ao longo das duas margens	A forma de vegetação encontrada é ou tipicamente densa perto das áreas de fluxo, ou inexistente em zonas áridas

do fundo ou alteração na inclinação do canal, por isso um leito couraçado é considerado estável.

A blindagem aparece, por exemplo, na seção a jusante de uma barragem, que, por um lado, regula o escoamento e, por outro, reduz o transporte de sedimentos rio abaixo.

### 2.5.1 Equilíbrio do fundo

O leito de um curso de água está em equilíbrio quando o nível do fundo se mantém inalterado. O equilíbrio pode ser medido com a balança de Lane (Fig. 2.16), que leva em conta os quatro fatores mais importantes: a vazão líquida específica  $q$ , a vazão específica dos sedimentos transportados  $q_s$ , a declividade  $i$  e o tamanho das partículas do sedimento  $d_m$ .

A balança de Lane é uma analogia que explica o conceito de equilíbrio no fundo de um rio; o fundo está em equilíbrio na presença de transporte de sedimentos, em suspensão e no fundo, quando permanece inalterada sua cota. Na balança, são tomadas em consideração quatro variáveis: a vazão líquida (a vazão unitária  $q$ ), a vazão de sólidos no fundo (vazão sólida unitária  $q_s$ ), a declividade do leito do rio ( $i$ ) e o tamanho dos sedimentos ( $d_m$ ). O deslocamento do fiel (medidor) da balança pode ser causado por acréscimo de peso (aumento das vazões) ou diminuição de peso (redução das vazões), por um acréscimo no braço (aumento da declividade e/ou do tamanho dos sedimentos) ou diminuição no braço (redução da declividade e/ou do tamanho dos sedimentos), e indica que ocorre a erosão ou a sedimentação, respectivamente.

Para cada problema específico, devem ser avaliados quais parâmetros da balança têm causado o desequilíbrio e quais podem ser redefinidos para o fiel voltar à posição vertical de equilíbrio. Quando as vazões líquidas e sólidas de um rio não estiverem equilibradas, haverá um excesso ou um defeito de transporte do fundo, respectivamente, e, em consequência, ocorrerá sedimentação ou erosão. Quando existe desequilíbrio da vazão, o fundo evolui para uma nova situação de equilíbrio mudando sua inclinação. Um exemplo disso seria um desequilíbrio em que se tem muita água e poucos sólidos, onde se daria então uma erosão do fundo que mudaria a inclinação até chegar a um declive inferior. Finalmente, note-se que o equilíbrio depende também do tamanho do sedimento, porque, para a mesma vazão líquida e sólida, a inclinação de equilíbrio será maior quanto mais grosso for o sedimento.

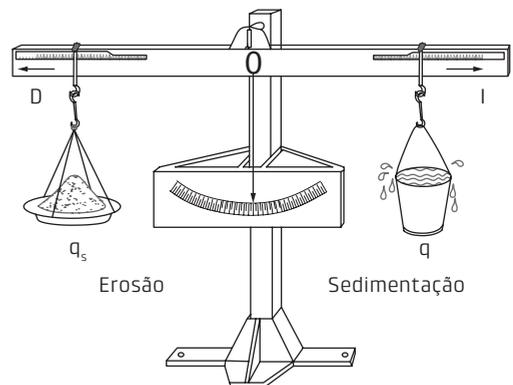


Fig. 2.16 Balança de Lane (1955)

## INTERVENÇÕES EM UM CURSO DE ÁGUA

A meta a ser alcançada define o tipo de estrutura que deve ser feita. Naturalmente, na definição do tipo de obra, vários fatores devem ser levados em conta: as características morfológicas do curso de água e, para cada alternativa, o custo, o prazo e a época de construção, a disponibilidade de materiais necessários, o impacto ambiental e o impacto paisagístico.

As obras construídas no leito do rio podem ser destinadas a resolver problemas que exigem:

- Proteção das margens contra a erosão.
- Proteção contra as inundações.
- Fixação do traçado do leito.
- Melhoramento das condições hidráulicas.
- Formação de um canal navegável.
- Recuperação de áreas erodidas.
- Recuperação natural/paisagística do entorno.

Essas obras têm em comum, em sua maior parte, a propriedade de aumentar a resistência das margens contra a erosão causada pela correnteza ou pelas ondas e, como todas as obras de engenharia, devem assegurar uma vida útil compatível com as necessidades do projeto. Portanto, é preciso assegurar que os materiais utilizados tenham a durabilidade e a resistência adequadas.

Os efeitos das intervenções precisam ser analisados com cuidado, pois podem afetar o comportamento do rio. Pelo mesmo motivo, as intervenções devem ser minimizadas e limitadas ao cumprimento de sua finalidade. É preciso lembrar que o rio é um organismo em contínuo desenvolvimento, e, portanto, isso deve ser considerado no desenho, sendo previstas as possíveis modificações, especialmente aquelas antrópicas.

## SOLUÇÕES USUAIS E SUAS APLICAÇÕES

As alternativas que serão examinadas são:

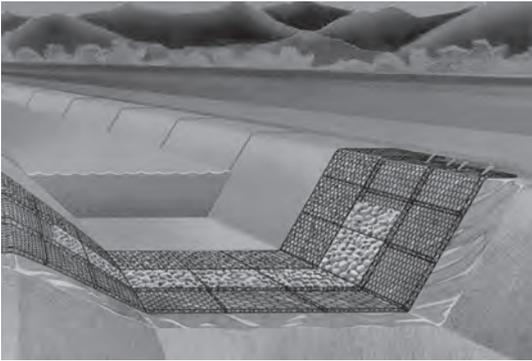
- Os colchões Reno® e as geomantas reforçadas para o revestimento das margens dos rios e canais.
- Os gabiões caixa e os geotubos para as proteções longitudinais pesadas, os diques longitudinais e os espigões.

Nas proteções longitudinais e nos diques em gabiões caixa, se a fundação tiver que ser executada em uma área alagada, podem ser usados os gabiões saco (cilíndricos). Se for necessário protegê-la contra a erosão, podem ser empregados os colchões tipo RenoMac®. Para as proteções longitudinais, também são adotadas soluções mistas com gabiões caixa na parte inferior e colchões Reno® e geomantas reforçadas no topo.

Antes de aprofundar essa questão, considera-se oportuno lembrar alguns dados sobre a distribuição da velocidade do fluxo em um curso de água e comparar o comportamento de diversos materiais, naturais e artificiais, que podem constituir ou revestir o leito de um curso de água (Tabs. 4.1 a 4.3).

**Tab. 4.1** Velocidades médias máximas admissíveis em cursos de água

Tipos de solo natural	Velocidade média máxima admissível da água (m/s)
Argila mole ou muito fina	0,2
Areia pura muito fina ou muito solta	0,3
Areia solta ou lama	0,4
Areia grossa ou solo arenoso	0,5
Solo arenoso médio e lama de boa qualidade	0,7
Lama arenosa, cascalho pequeno	0,8



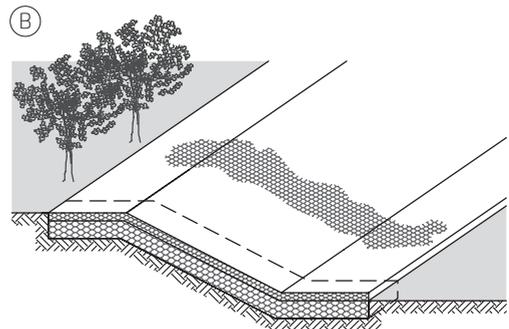
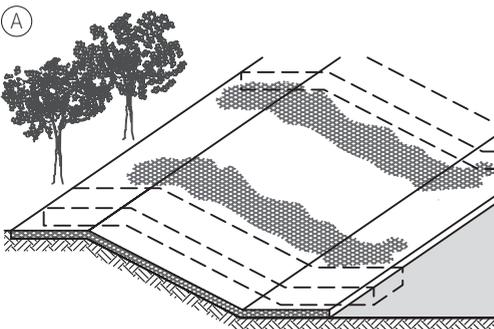
**Fig. 4.10** Seção transversal de um revestimento em colchões Reno® protegido por placas de concreto

Como alternativa, é possível moldar diretamente lajes de concreto por cima dos colchões Reno®. Nesse caso, é necessário prever juntas, constituídas por ripas de madeira, para gerar juntas de dilatação no concreto a fim de absorver os esforços de contração e expansão gerados pelos gradientes térmicos e, ao mesmo tempo, permitir pequenos movimentos relativos entre os colchões Reno® (Figs. 4.10 e 4.11).

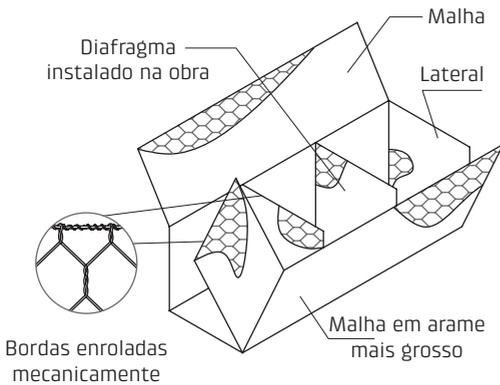


**Fig. 4.11** (A) Proteção de margem em construção e (B) seu detalhe

No caso de fortes correntezas ou leito composto de material muito fino, é necessário prever contrafortes embaixo do revestimento para interceptar o fluxo da água que corre entre as pedras da base do colchão Reno® e o solo (Fig. 4.12A). Também é preciso proporcionar um contraforte a montante, no início da proteção, para evitar que a força da corrente possa levantar o colchão Reno® e desestabilizá-lo (Fig. 4.12B).



**Fig. 4.12** Seção longitudinal de um revestimento em colchões Reno® com contrafortes de ancoragem



**Fig. 4.28** Gabião caixa forte®



**Fig. 4.29** Proteção de margem com gabiões caixa forte® na Bolívia



**Fig. 4.30** Muro em gabiões caixa fundado sobre uma base de gabiões saco colocados em água

### Colchões Reno®

Os colchões Reno®, como mencionado anteriormente, são usados como plataformas contra o rebaixamento do fundo.

### Gabiões saco

Quando é necessário construir obras na presença de água e quando o nível de água é superior a 1,0 m, pode-se recorrer aos gabiões saco (Fig. 4.30). Eles são também utilizados como base de encontro para as estruturas de contenção em solos de baixa capacidade de suporte.

Os gabiões saco são estruturas feitas de uma única peça de malha metálica de dupla torção, formando hexágonos, produzida com arame metálico revestido a quente com uma liga de zinco-alumínio e uma camada de material plástico extrudido, cuja função é prevenir a corrosão do arame causada pela agressividade da água (mais informações sobre os revestimentos metálicos e plásticos dos arames serão oferecidas na seção 9.5). Nas extremidades da tela, entre as malhas, é introduzido um arame mais grosso de forma alternada para permitir a montagem do elemento (Fig. 4.31). A tela é enrolada em forma de cilindro e fechada em suas extremidades, com o arame mais grosso formando uma estrutura semelhante a uma embalagem de bala aberta longitudinalmente.

Assim como os gabiões caixa, devem ser enchidos com pedras bem graduadas, cujo diâmetro médio nunca seja inferior à menor dimensão da malha hexagonal. A colocação

das pedras nos gabiões saco não é tão cuidadosa como no caso dos gabiões caixa devido às características e às funções que eles desempenham.

## ESPIGÕES

Antes de entrar no tema deste capítulo, é importante relembrar alguns conceitos relativos à erosão e à sedimentação em cursos de água naturais.

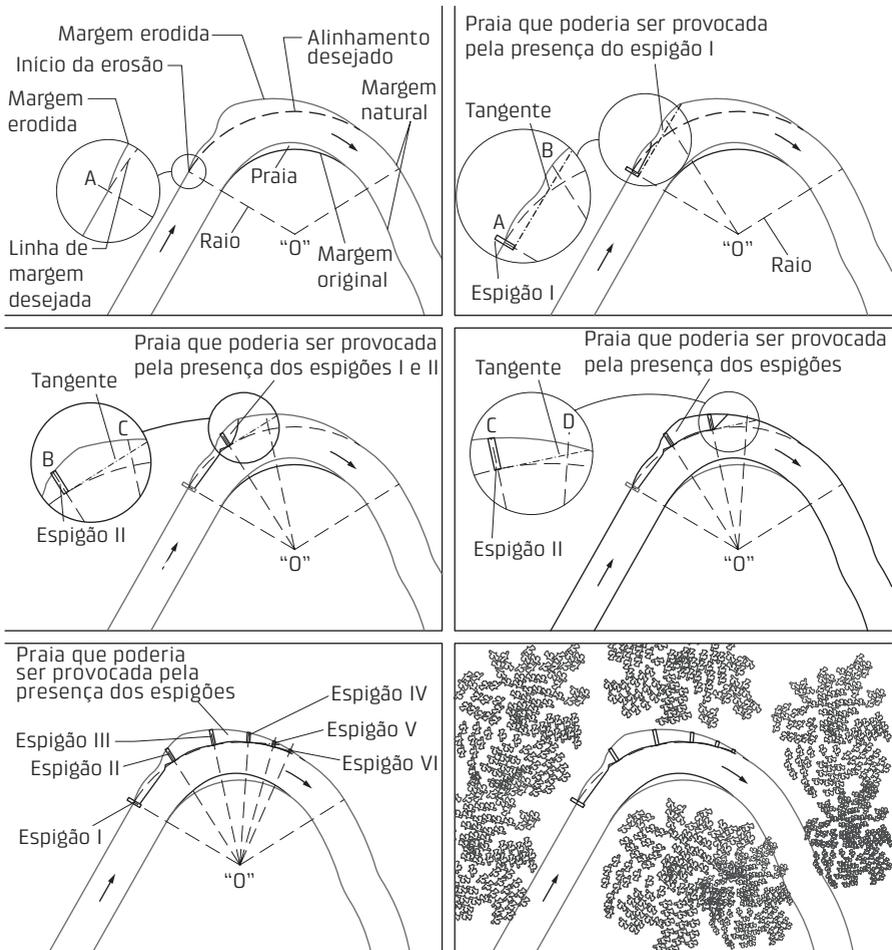
A erosão do fundo é verificada quando a força de tração da água supera a força resistente do material que constitui o fundo. A distribuição de velocidades em uma mesma seção, sua direção e a baixa homogeneidade do material de fundo podem provocar a instabilidade desse material e seu posterior deslocamento para jusante. E, ao mudar as condições das correntes de jusante, pode-se criar condições para que o material transportado seja depositado.

As erosões nas margens provocam deslocamentos laterais dessas margens e podem originar-se por diferentes fatores. Nas curvas, são geralmente provocadas pela aparição de uma força centrífuga nesse local que provoca a sobre-elevação do nível de água na margem externa. Isso, por sua vez, causa uma corrente próxima ao fundo, da margem côncava para a margem convexa da curva. O encontro dessa corrente com a do escoamento longitudinal do rio cria um movimento helicoidal na água. Como mencionado, se a força resultante das correntes superar a força resistente (força mínima com a qual se produz o movimento do material de fundo), existirão as condições para que se produza o deslocamento do material de fundo para a margem convexa da curva, e conseqüentemente, para jusante. Esse mecanismo é facilmente perceptível nas curvas, nas quais é possível observar que a margem externa (côncava) está exposta a processos erosivos, enquanto na margem oposta se formam depósitos. O eixo da corrente principal se desloca ao mesmo tempo para a margem côncava, aumentando a profundidade nas proximidades da margem. Por consequência desse aumento, a inclinação da margem se acentua, facilitando assim sua desestabilização e acelerando o deslocamento do material de fundo para o centro do rio e seu arraste para jusante.

*Primeiro método*

Esse método, ilustrado na Fig. 5.4, é empregado desde a década de 1980. A seguir, é apresentado o processo passo a passo.

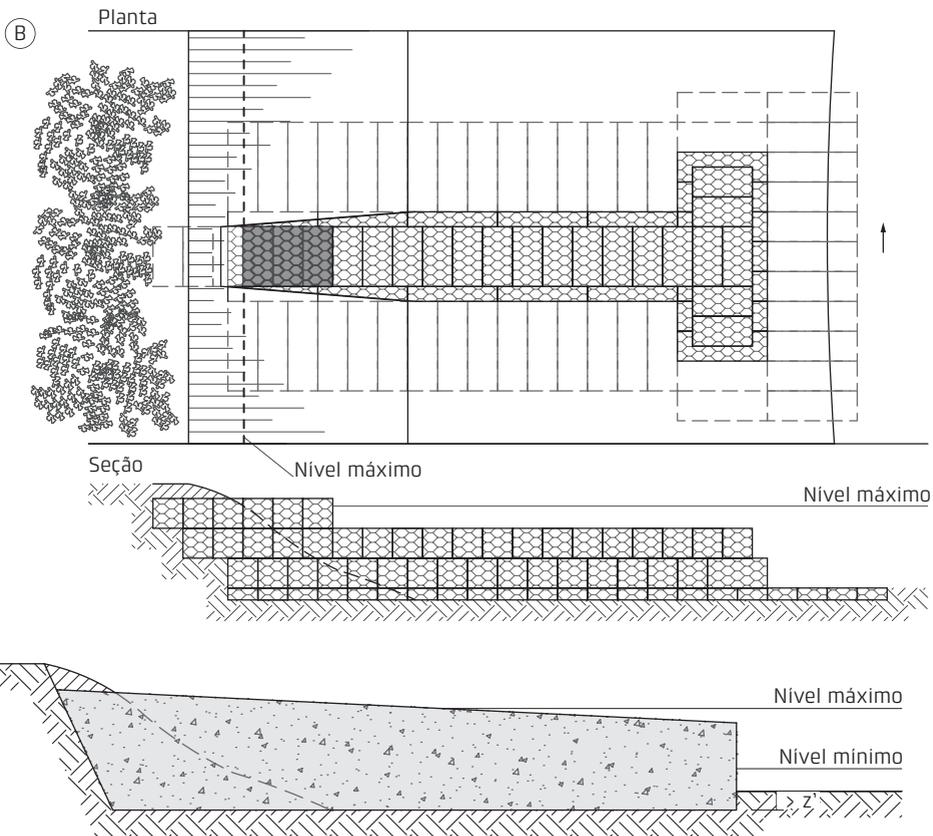
- **Passo 1.** Identificada a zona onde se inicia a erosão, o primeiro espigão, que será chamado de I, é posicionado imediatamente a montante, em geral perpendicularmente à margem e com um comprimento de ordem de 10% da largura do rio.
- **Passo 2.** Do ponto de arranque do espigão I, é desenhada no sentido de jusante uma reta perpendicular ao raio da curva. No ponto em que a reta corta em duas partes iguais o segmento de raio compreendido entre as linhas da margem atual (erodida) e da margem desejada, identifica-se o ponto de posicionamento do espigão II. Seu comprimento deve ser entre 25% e 30% da largura do rio.



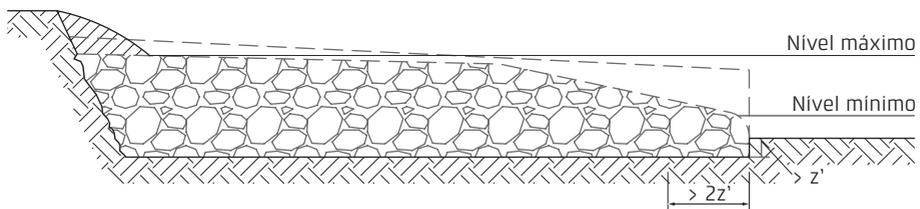
**Fig. 5.4** Primeiro método gráfico para definir a separação entre espigões



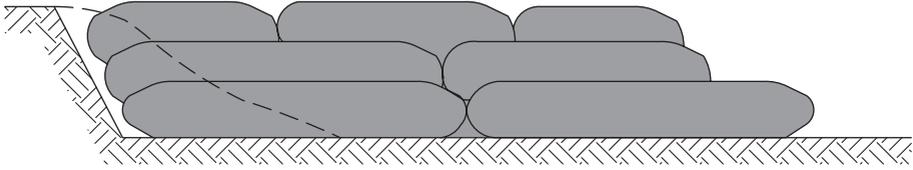
**Fig. 5.10** (A) Espigão em martelo e (B) sua representação gráfica



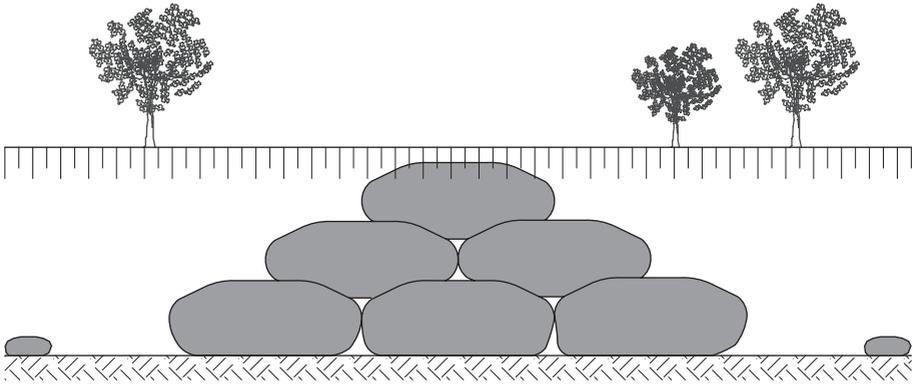
**Fig. 5.11** Seção longitudinal de espigão em concreto



**Fig. 5.12** Seção longitudinal de espigão em pedra solta



**Fig. 5.29** Seção longitudinal esquemática do espigão em geotubos



**Fig. 5.30** Seção transversal esquemática do espigão em geotubos e da proteção contra a erosão

Para terminar esta breve resenha, cabe mencionar as modalidades de construção dos espigões, que são influenciadas pelo tipo de solo e pela eventual presença de água, já que os espigões estão localizados dentro do leito do rio.

Caso seja possível trabalhar a seco, para o corpo do espigão é preferível recorrer ao uso de gabiões caixa, por serem flexíveis e monolíticos e permitirem seções definidas geometricamente conforme as necessidades. Para as proteções no embasamento, recorre-se ao emprego de colchões Reno®, que, por sua flexibilidade e continuidade, estão em condição de acompanhar as erosões de fundo, evitando que estas possam alcançar o corpo do espigão. O uso de gabiões permitirá adicionalmente realizar eventuais modificações posteriores da seção, se forem necessárias.

Se for preciso construir o espigão em presença de água, especialmente em águas profundas, é possível recorrer a material solto de dimensões adequadas ou a gabiões saco. O material solto é utilizado quando se dispõe de uma jazida nas cercanias em condição de fornecer as pedras nas dimensões e quantidades necessárias. Com a necessidade de manter declividades suaves nos taludes laterais, é preciso o uso de um volume importante de pedras. Os gabiões saco, ao contrário, permitem utilizar pedras ou seixos de pequenas dimensões, realizar seções mais regulares com taludes mais inclinados e controlar o volume de material lançado.

### 5.3 Espigões em gabiões

Os gabiões se adaptam particularmente à construção de espigões por suas características de: facilidade e rapidez de construção, possibilidade de construção a

## BIOENGENHARIA

Os cursos de água, devido à grande variedade de espécies de flora e fauna que abrigam, formam um dos ecossistemas mais valiosos para a vida humana.

Nas últimas décadas, em muitas regiões e casos, a importância dos rios como fonte de recursos, de aproximação e de desfrute do ambiente foi menosprezada, e o desenvolvimento econômico submeteu os ecossistemas fluviais a pressões que vêm gerando grande deterioração ecológica e ambiental.

Por essa razão, para melhorar as condições hidromorfológicas dos leitos dos cursos de água, especialmente os de pequenas dimensões, começaram a ser introduzidas novas tecnologias, a fim de recuperar a dinâmica do rio e do biotipo e incentivar a resiliência dos sistemas fluviais, especialmente para a proteção e a preservação das margens.

A vegetação nas margens pode aumentar a quantidade e a qualidade da água que chega ao curso de água, desempenhando um papel fundamental, daí a necessidade de ser mantida e, se necessário, reconstituída (Fig. 6.1).

Como resultado, especialmente nos países do hemisfério Norte, nos últimos anos começou a ser introduzido o conceito de Ecoengenharia ou Bioengenharia, ou ainda Engenharia Naturalista.

A Bioengenharia, em Hidráulica Fluvial, é a disciplina que usa essas metodologias e tecnologias para resolver os problemas ambientais utilizando soluções “naturais”, que adotam materiais e produtos de origem vegetal e que interferem o mínimo possível no meio ambiente.

Em geral, não há muita informação disponível sobre a monitorização, o comportamento ao longo do tempo e a avaliação dos resultados em médio prazo dessas soluções. Por esse motivo, em alguns países europeus estão sendo realizados estudos para determinar a eficácia das diferentes técnicas usadas para que possam ser empregadas no futuro com mais segurança e confiança.

as arbustivas ou lenhosas geralmente têm melhor desempenho na parte superior. A Fig. 6.3 mostra a posição adequada para os tipos específicos de vegetação. É sempre aconselhável consultar um especialista, de preferência um local, que possa indicar as espécies vegetais locais mais adequadas.

É importante ter sempre em conta as limitações de tais soluções em relação às condições locais, por exemplo, altas velocidades da água, transporte sólido ou custo ambiental de algumas delas. Por exemplo, é discutível o revestimento completo do leito de um córrego com toras, que, apesar de ser ecologicamente correto, não leva em consideração o *deficit* ambiental causado pelo corte das dezenas de árvores necessárias.

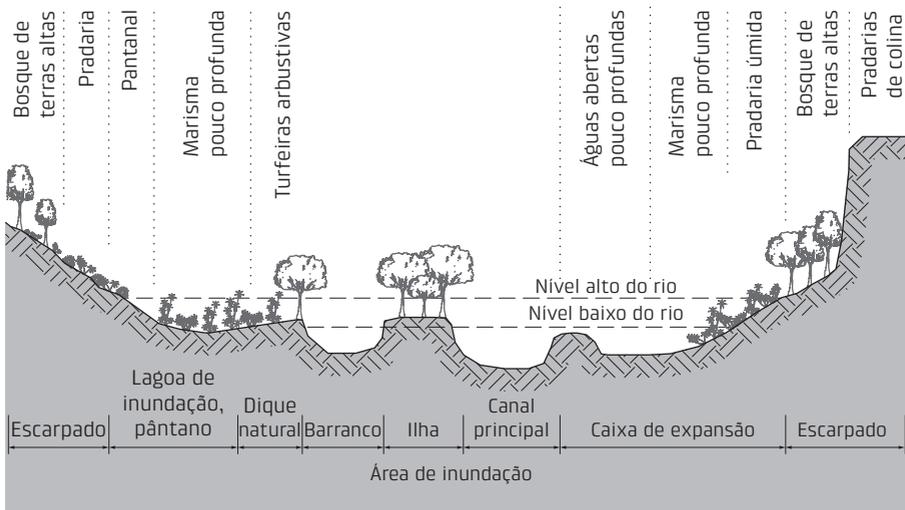


Fig. 6.3 Corte transversal da bacia de um rio

## 6.2 Considerações de projeto

A Bioengenharia é útil em locais sensíveis ou onde a utilização de equipamentos tradicionais não seja viável. Suas práticas têm mais êxito quando o meio possui suficientes nutrientes finos, nutrientes, luz solar e umidade para dar suporte e promover o crescimento das plantas. A combinação de uma estrutura artificial com a vegetação pode ser uma boa solução, mesmo para os ambientes mais exigentes.

Recomenda-se consultar profissionais especializados em áreas específicas para uma correta avaliação biológica, geotécnica e hidráulica, bem como um especialista de plantas locais para selecionar a vegetação apropriada para o projeto.

### 6.3.3 Mantas pré-vegetadas

#### *Definição*

As mantas pré-vegetadas são mantas de material plástico para o reforço da grama (TRM) ou esteiras de fibra de coco onde foi semeada vegetação antes de sua instalação no solo (Fig. 6.9) ou na água (Fig. 6.10).



**Fig. 6.9** Geomanta reforçada já vegetada



**Fig. 6.10** Geomanta reforçada pré-vegetada durante a instalação em água

#### *Finalidade*

As mantas pré-vegetadas fornecem proteção imediata contra a erosão em curto e longo prazo nas margens, limites de zonas úmidas e prados, proporcionando um meio estável para promover o crescimento e o desenvolvimento de plantas saudáveis.

#### *Aplicações*

- Permitir o rápido crescimento de uma cobertura vegetal.
- Proteger as margens dos córregos, limites de zonas úmidas e margens de lagoas do processo erosivo.
- Podem ser usadas nos elementos estruturais existentes, como revestimentos de gabiões, quando os gabiões são preenchidos com pedras e terra.

#### *Considerações de projeto*

- Quando são utilizadas plantas nativas, é preferível que a manta passe alguns meses em um viveiro para que a vegetação se estabeleça antes de sua instalação.
- Podem ser usadas várias espécies de plantas. No entanto, na seleção de espécies, não se deve esquecer de considerar o ambiente circundante, incluindo os períodos e níveis de seca e de cheia.

- Deve-se colocar os triângulos metálicos perpendicularmente à parede e fixá-los com um ponto de arame à tela da base de malhas para obter a inclinação desejada.
- Amarrar o elemento àqueles adjacentes.
- A seguir, colocar e compactar em camadas o material de enchimento.
- Quando o solo compactado atingir a altura do elemento, dobrar a tampa acima do solo compactado e, em seguida, retomar a instalação dos outros elementos de acordo com os itens anteriores.

### 6.3.7 Gabião caixa com vegetação

#### Definição

As estruturas em gabiões com vegetação são iguais às de gabiões tradicionais; nos interstícios entre as pedras coloca-se terra, enquanto entre as diferentes camadas são dispostos galhos vivos ou plantas enraizadas (Figs. 6.24 e 6.25).

#### Aplicações

- Pode ser utilizado em taludes de montanha, prados e margens.
- Oferecer proteção imediata e de longo prazo contra a erosão superficial e falhas geotécnicas.
- Oferecer uma ampla variedade de aparências estéticas, que vai desde  *muito natural*, ao usar plantas autóctones, até uma *aparência particular desejada*, ao utilizar plantas ornamentais.
- Ajudar a diminuir a velocidade da água perto da margem e capturar sedimentos.

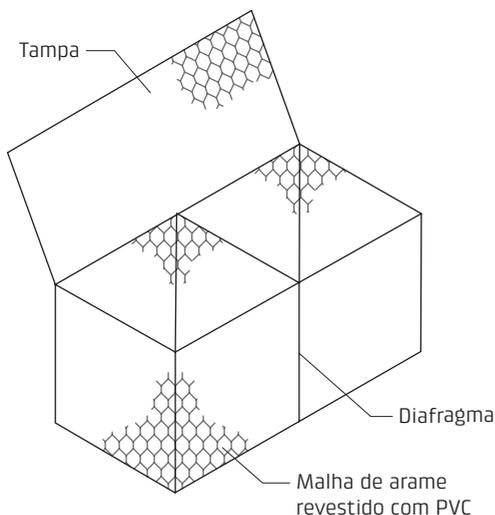


Fig. 6.24 Gabião caixa vazio

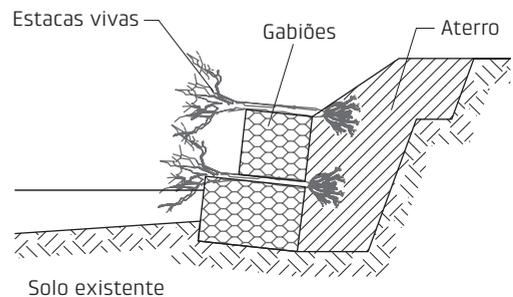
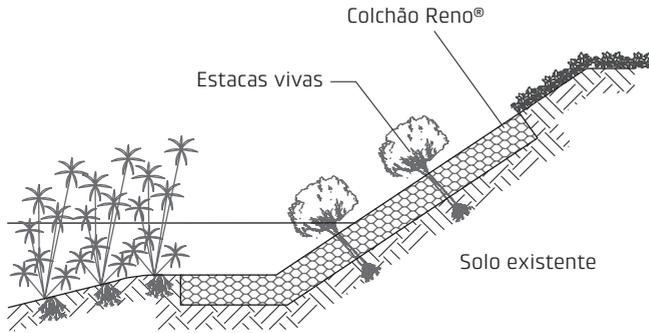


Fig. 6.25 Seção transversal de uma estrutura de gabiões vegetados. As condições da vegetação com folhas não são representativas do momento da instalação

#### 6.4.4 Plantio misto

##### Definição

O plantio misto é um sistema para instalar estacas vivas nos vazios de um enrocamento previamente colocado ou em colchões Reno® (Fig. 6.34).



**Fig. 6.34** Seção transversal de plantio misto com colchões Reno®. As condições da vegetação com folhas e enraizada não são representativas do momento da instalação

##### Objetivo

O plantio misto aumenta a eficiência de enrocamento ou colchões Reno®, formando uma camada de raízes vivas e sistema de filtração de água na base dos revestimentos. Plantios mistos também aumentam a deposição de sedimentos, melhoram a qualidade da água, o valor de *habitat* e a estética.

##### Aplicações

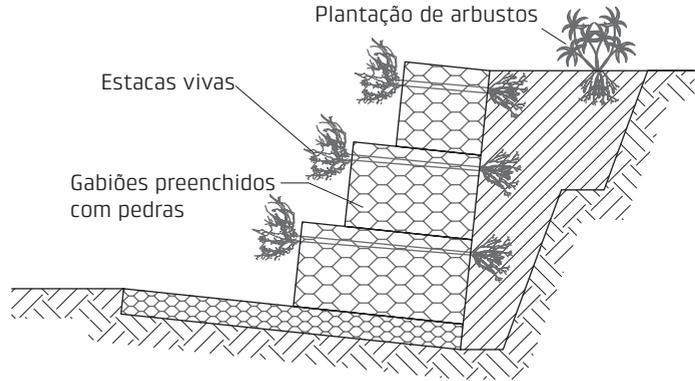
- Pode ser usado nas encostas das montanhas, margens de córregos, zonas ribeirinhas e zonas úmidas.
- O desenvolvimento de vegetação melhora a estética e fornece cobertura por meio do desenvolvimento de corredores de vida silvestre para movimento, nidificação, reprodução, alimentação e áreas de descanso.
- O plantio misto melhora as condições para a invasão natural e o desenvolvimento de outras plantas da comunidade vegetal circundante.
- Ajuda a proteger as margens de cursos de água contra altos fluxos.
- Atua como um dissipador de energia na margem do rio.
- Por meio da consolidação das partículas do solo, ajuda a prevenir a lavagem de finos.

##### Considerações de projeto

- Para que o plantio misto tenha sucesso, o enrocamento ou os colchões Reno® devem ter uma espessura máxima de 0,50 m (20").
- A taxa de sobrevivência é um pouco menor do que o replantio vivo, considerando-se os danos durante a instalação e a secagem devido à necessidade

### *Gabiões com vegetação – Área de estudo 3, córrego Mutino*

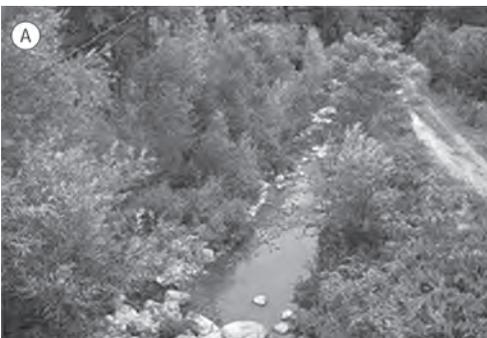
Essa área é um muro de três camadas de gabiões ao longo do córrego Mutino construído em 2000. As estacas de salgueiro foram colocadas no interior dos gabiões, e não entre as camadas (Figs. 6.51 a 6.53); a área selecionada é de 35 m<sup>2</sup>.



**Fig. 6.51** Córrego Mutino: seção do muro de gabiões



**Fig. 6.52** Córrego Mutino: estacas de salgueiro inseridas nos gabiões com padrão irregular em 2001



**Fig. 6.53** Córrego Mutino: gabiões em (A) julho de 2005 e (B) novembro de 2013



# INVESTIGAÇÕES

Os processos de produção e o comportamento das várias estruturas em dupla torção foram investigados pela empresa Maccaferri a partir da metade do século passado, com a colaboração de laboratórios e universidades em todo o mundo. A seguir, serão apresentadas algumas dessas pesquisas no campo da Engenharia Hidráulica.

## 7.1 Comportamento dos colchões Reno®

O comportamento dos colchões Reno® foi investigado a partir da segunda metade do século passado em vários laboratórios na Europa e na América para entender seu comportamento e os limites dos esforços a que podem ser submetidos nos vários tipos de obra em que são utilizados. Por esse motivo, foi calculado o coeficiente de rugosidade e estudado o movimento das pedras por eles contidas quando submetidos a uma correnteza de água, assim como o comportamento dos colchões Reno® em relação ao movimento das ondas e o limite da deformação desses colchões na situação de erosão da superfície de apoio e, consequentemente, a máxima proteção oferecida por eles.

### 7.1.1 Testes para a definição do coeficiente de rugosidade dos colchões Reno®

Em testes realizados no Hydraulics Laboratory, Engineering Research Center, Colorado State University (Fort Collins, EUA), e no Utah Water Research Laboratory, Utah State University (EUA), foi verificado o valor do coeficiente de rugosidade  $n$ . Os testes foram feitos tanto em escala real como em modelo reduzido, para verificar o comportamento e a resistência dos revestimentos de leitos de canais executados em colchões Reno® ou gabiões.

### 7.1.2 Ensaios para definir o comportamento das pedras do enchimento quando sujeitas à ação do fluxo de água

A estabilidade de um revestimento pode ser verificada de acordo com os critérios de velocidade e de tensão de arraste, sempre comparando a ação do fluxo com a resistência dos materiais. Assim, tem-se a comparação entre a velocidade média de escoamento e a velocidade crítica ou velocidade-limite suportada pelo material do leito; o mesmo acontece com a tensão de arraste do escoamento e a resistência ou tensão crítica suportada pelo material do leito.

As pesquisas sobre o comportamento dos revestimentos em colchões Reno® ou gabiões caixa foram realizadas em escala natural e em modelo reduzido nos já citados Hydraulics Laboratory (Fort Collins) (Fig. 7.2), no Instituto Nacional del Agua (INA) (Fig. 7.3) e na Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH) (Fig. 7.4).

As verificações foram relativas a:

- Distribuição de velocidades e pressões, tanto na seção de fluxo como embaixo dos colchões Reno®.
- Determinação do coeficiente de rugosidade.
- Análise dos fenômenos de turbulência.
- Análise do movimento de resistência.
- Estudo e definição da estabilidade do revestimento.
- Análise do comportamento do revestimento em relação à deformação, em condições hidráulicas particularmente severas.
- Interpretação dos resultados.
- Desenvolvimento de métodos de projeto e cálculo.



**Fig. 7.2** Fort Collins: (A) canal em escala natural e (B) canal em escala reduzida

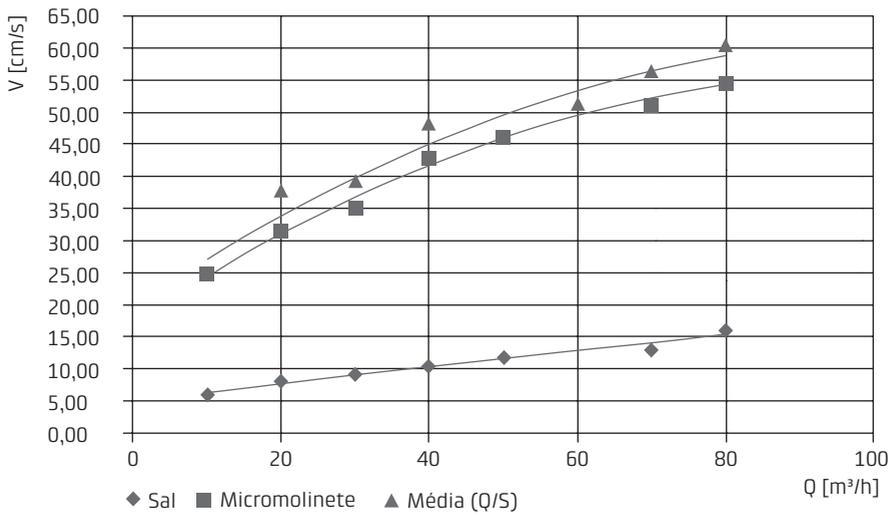


Fig. 7.33 Resultados obtidos

### 7.1.6 Ensaios para definir o comportamento dos colchões Reno® quando submetidos à ação das ondas causadas pela passagem de navios

Na primeira metade da década de 1980, o Delft Hydraulics Laboratory, em colaboração com o Delft Soil Mechanics Laboratory (Países Baixos), realizou no canal Hartel, perto de Roterdã, uma série de testes em diferentes tipos de revestimento de margens sob solicitações provocadas pela passagem de barcos. Esses testes faziam parte de um programa experimental iniciado no ano anterior com pedras soltas e blocos de rocha moldados, unidos com argamassa e soltos.

Cada um dos revestimentos examinados (colchões Reno®, cascalho e asfalto, colchões de geotêxtil preenchidos com areia, blocos de concreto pré-fabricados ligados por cabos de aço e blocos pré-fabricados intertravados, instalados um de cada vez) cobria uma área de  $200 m^2$  da margem, cuja inclinação era de  $1(V):4(H)$  (Fig. 7.34A).

A seção do canal em que foram realizados os testes está localizada a cerca de 20 km do mar e, conseqüentemente, nela é muito grande a influência das marés. Os testes foram feitos em períodos diferentes, de forma que a profundidade da água pudesse variar entre  $-0,40 m$  e  $+1,20 m$  em relação ao nível médio do mar.

Foram utilizados três tipos de embarcação nos ensaios, com intervalos de uma hora entre cada passagem. As alturas máximas de onda registradas foram de  $0,80 m$ . Também foram registrados o nível da água, a altura da onda e a depressão após a passagem da embarcação, a velocidade de retorno da onda acima do revestimento e a diferença de pressão entre as superfícies superior e inferior do revestimento.

## MÉTODOS DE CÁLCULO

### 8.1 Dimensionamento dos revestimentos

#### 8.1.1 Revestimentos em colchões Reno® e geomantas tipo MacMat® *Verificação das proteções das margens e das plataformas de deformação contra a erosão*

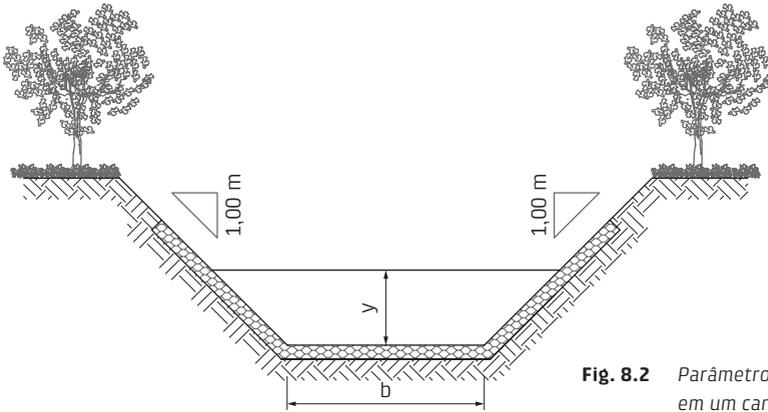
No cálculo (projeto de verificação) de uma proteção de margens ou de uma plataforma de deformação contra a erosão, são usados dois métodos gerais com base na admissibilidade para um material em termos de velocidade e de tensão de arraste.

O método de velocidade é mais fácil de ser aplicado por ser simples medir e calcular a velocidade média em uma seção transversal; entretanto, o método de tensão de arraste é o mais preciso do ponto de vista técnico-científico.

Para uma primeira escolha, antes de realizar o dimensionamento do revestimento, pode ser usado o ábaco da Fig. 8.1 onde são representados os campos de aplicação das soluções em gabiões, colchões e geomantas.

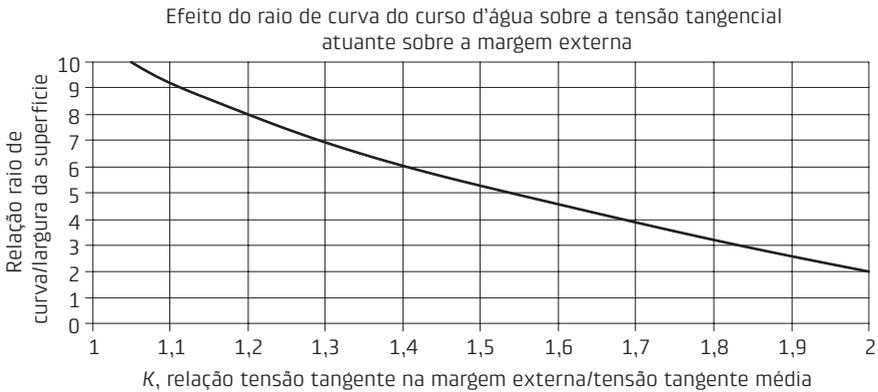
Para avaliar a eficácia contra a erosão de uma proteção, é necessário considerar todos os parâmetros hidráulicos e geométricos: profundidade da água, declividade longitudinal do trecho e da margem, planimetria do curso de água, duração da cheia; isso significa, em outras palavras, que é necessário expressar os resultados dos testes experimentais e as indicações de projeto subsequentes em termos de tensões de arraste admissíveis, tecnicamente mais significativas do que o parâmetro hidráulico de velocidade da correnteza.

É também de grande importância para alguns materiais ou técnicas a referência da duração do evento considerado: além do pico da cheia, é de fundamental importância considerar a duração total do evento, sendo necessário referir-se a durações características dos eventos de projeto, excluindo frações de horas, geralmente não significativas. Esse fator não está relacionado à proteção das margens cuja resistência ao arraste está garantida pelo peso do material



**Fig. 8.2** Parâmetros geométricos em um canal trapezoidal

Entretanto, caso o canal analisado possua trechos com curvas, ocorre um aumento da tensão de cisalhamento na margem côncava (externa), sendo este levado em conta pelo coeficiente  $K$ , com base na relação entre o raio da curvatura e a largura da água (Fig. 8.3).



**Fig. 8.3** Efeito do raio de curvatura do curso de água sobre a tensão tangencial atuante sobre a margem externa

Consequentemente,  $\tau_m$  assume a seguinte expressão:

$$\tau_m = K0,75\gamma_w y i \quad (\text{na margem externa da curva}) \tag{8.6}$$

**Tensão de arraste para colchões Reno® e gabiões**

No que se refere aos aspectos de projeto, um revestimento de blocos de rocha/ pedras geralmente é definido como estável, seja constituído por colchões Reno® ou gabiões (nos quais está presente a rede metálica de contenção), seja constituído por pedras soltas (*rip-rap*), quando não existe movimento das pedras.

Portanto, para uma velocidade e um raio hidráulico dados, tem-se um valor de  $n$  para diferentes alturas de vegetação (grama).

Em poder desse valor, é possível calcular a velocidade resultante em função da geometria da seção e da inclinação. Comparando o valor de  $V \cdot R_H$  adotado com o valor de  $V \cdot R_H$  calculado, pode-se determinar o valor de  $n$  por sucessivas iterações, corrigindo o valor de  $V \cdot R_H$  a cada passo.

Com o valor de  $n$  e  $V \cdot R_H$ , determina-se a respectiva tensão crítica no fundo e nas margens, comparando esses valores com as respectivas tensões críticas devidas à ação do fluxo, que são dadas por:

$$\tau_0 = k_f \gamma_w y \quad (8.29)$$

$$\tau_m = k_m \gamma_w y \quad (8.30)$$

Para facilitar a escolha do tipo de revestimento mais adequado, na Fig. 8.1 é representado o comportamento dos diferentes tipos de revestimento em função da velocidade da água, indicando para cada solução descrita anteriormente: o campo de aplicação onde é superdimensionada, onde é recomendada e onde, para ser usada, devem ser feitas considerações suplementares levando em conta a frequência e a duração do evento em estudo.

### 8.1.3 Comparação entre proteções em colchões Reno® e pedras soltas (*rip-rap*)

Entre os revestimentos em pedras soltas (*rip-rap*) e aqueles em colchões Reno® ou gabiões, existem algumas características comuns e outras diferentes.

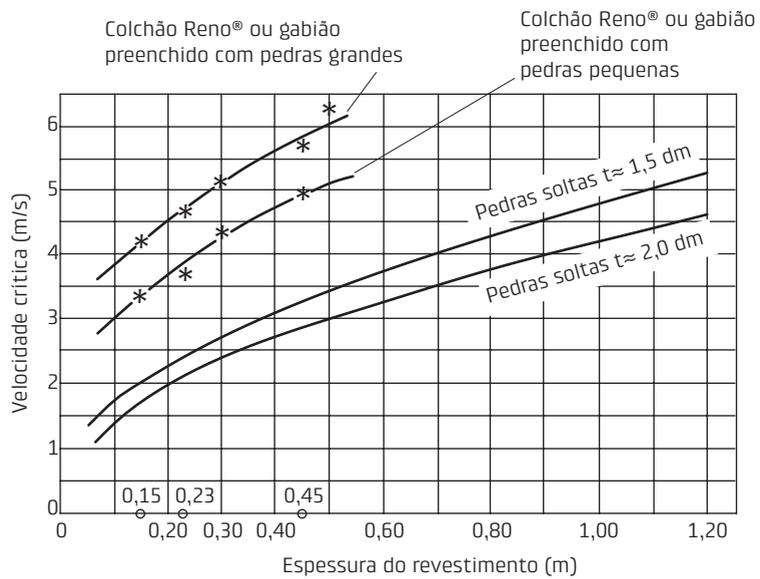
Em comum, há o fato de o material constituinte do revestimento ser pedras e, conseqüentemente, os cálculos de estabilidade serem baseados na teoria da força de arraste. A diferença é que o revestimento em enrocamento é composto exclusivamente de pedras, enquanto os colchões Reno® ou os gabiões são constituídos também de rede metálica. Conseqüentemente:

- O coeficiente de Shields de colchões Reno® ou gabiões é o dobro daquele do *rip-rap*. Portanto, em paridade de condições hidráulicas, o tamanho médio das pedras utilizadas em colchões Reno® ou gabiões equivale a metade do utilizado no *rip-rap*. Pela mesma razão, em paridade de dimensões de pedras, a velocidade suportada pelos colchões Reno® ou gabiões é duas vezes aquela suportada pelo enrocamento.
- A situação de *primeiro movimento* das pedras do *rip-rap* é a condição-limite acima da qual o revestimento é progressivamente destruído porque as pedras são arrastadas. No caso dos colchões Reno® ou gabiões, no entanto, depois de atingir essa condição, os primeiros movimentos das pedras ativam de maneira severa a ação de contenção da tampa, até alcançar um novo equilíbrio com a tampa deformada. A partir dessa situação, as pedras, pela ação

**Tab. 8.4** Comparação entre as espessuras de um revestimento em colchões Reno® ou gabiões e um revestimento em *rip-rap* para algumas condições hidráulicas

Tensão tangencial $\tau$ (kg/m <sup>2</sup> )	Espessura do colchão Reno® (m)	Espessura do <i>rip-rap</i> (m)
17,0	0,15	0,43
19,5	0,23	0,51
22,5	0,30	0,58
27,0	0,45	0,71

**Fig. 8.16** Espessura de um revestimento em colchões Reno® ou gabiões e em pedras soltas, dependendo da velocidade de fluxo



\* Valores experimentais

#### 8.1.4 Software Macra® 1

O software Macra® 1 foi desenvolvido pela empresa Maccaferri para a análise de um fluxo uniforme em cursos de água utilizando os materiais de cobertura comum e pode ser baixado gratuitamente no site <[www.maccaferri.com.br](http://www.maccaferri.com.br)>.

Esse programa permite verificar a seção transversal usando diversos tipos de obra de proteção longitudinal e, em uma seção transversal genérica com fluxo uniforme, se as forças de cisalhamento geradas pelo fluxo que atuam para cada segmento da seção sobre as margens e no fundo do leito são menores do que as admissíveis, condição para a qual é alcançada a estabilidade hidráulica da seção.

A análise de fluxo pode ser realizada utilizando simultaneamente vários valores das vazões e declividades longitudinais do rio.

ção de cada trecho, ou apenas identificar trechos com diferentes revestimentos ou fundo natural (Fig. 8.21). Se a seção examinada é localizada numa curva, deve ser indicado se a curva é para a direita ou para a esquerda e introduzido o coeficiente função da relação entre o raio de curvatura e a largura da superfície livre da água.

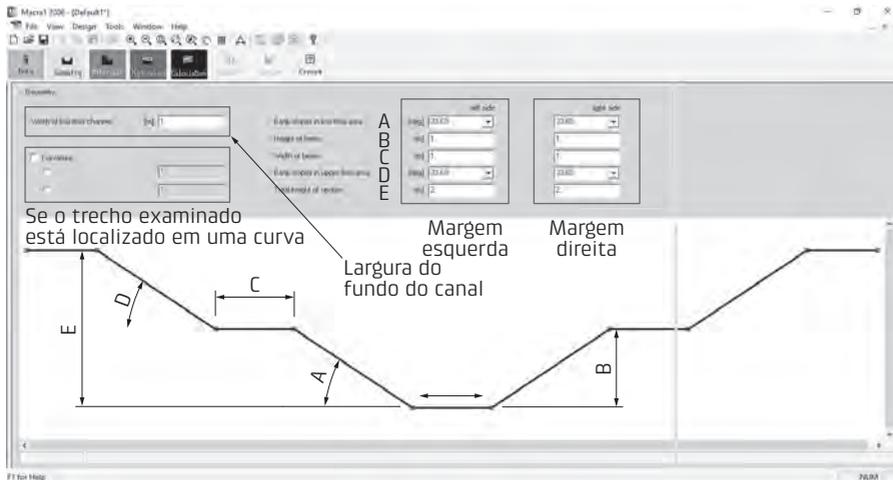


Fig. 8.21 Definição da seção transversal do curso de água

### Passo 3 – Definir para cada trecho o material constituinte

Clicar na janela de cor verde indicada como “Materials”, correspondente aos materiais que constituem o leito (Fig. 8.22). Pode-se escolher entre materiais naturais e artificiais, que já se encontram registrados no programa ou outros diferentes; neste último caso, deve-se definir suas características (rugosidade, resistência de fluxo etc.) considerando, por exemplo, situações diferentes (inicial ou normal). Entre os materiais artificiais estão todos os produtos Maccaferri já informados.

Para a operação, arrasta-se o tipo de material escolhido da janela correspondente ao arquivo para a janela correspondente ao trecho (Fig. 8.23).

Cada seção pode ser dividida em subseções constituídas ou revestidas de materiais diferentes escrevendo-se na janela indicada como “Length” um comprimento menor.

É necessário definir as características do solo. Cada trecho é indicado com uma cor, que indica o tipo de material escolhido como revestimento do leito (Fig. 8.24).

## SUGESTÕES PARA O PROJETO DE ALGUNS TIPOS DE ESTRUTURA EM GABIÕES

### 9.1 Seção e relação altura/base

As estruturas em gabiões devem ser dimensionadas de modo a resistir não apenas às solicitações do fluxo, mas também a eventuais pressões do terreno que forma a margem. A primeira abordagem é dimensionar a largura da base. Diferentemente de obras puramente geotécnicas, em que a base é inicialmente considerada igual a 70% da altura, nesses casos ela é pré-dimensionada como igual à altura (Fig. 9.1). Esse valor pode diminuir se as informações sobre as características do solo forem bastante confiáveis e se forem feitas as verificações habituais para estruturas de contenção à gravidade considerando os empuxos a que possam estar sujeitas.

Para aumentar a estabilidade da estrutura, no caso de erosões do pé não previstas, é possível utilizar algumas experiências:

- Quando possível, inclinar a estrutura em cerca de  $6^\circ$  para a margem para melhorar a estabilidade ao tombamento (Fig. 9.2).

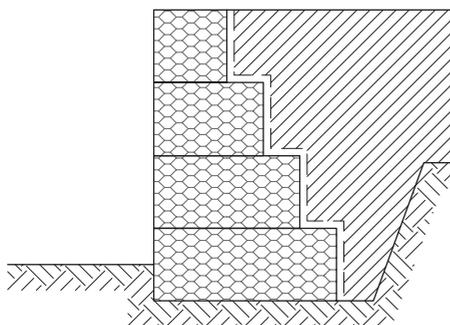


Fig. 9.1 Seção transversal de um muro em gabiões

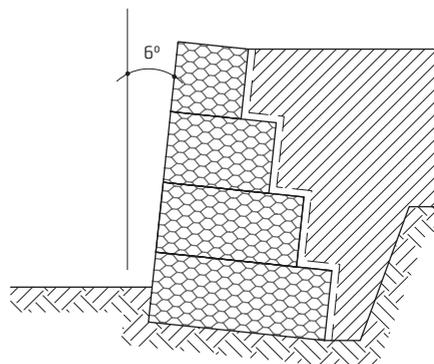


Fig. 9.2 Muro inclinado  $6^\circ$  para trás

## 9.4 Uso de geotêxtil

Como já mencionado, as estruturas gabionadas contêm uma elevada porcentagem de vazios, o que as transforma em filtros grossos eficazes. Se, por um lado, essa característica é muito positiva porque permite o livre fluxo da água em todos os sentidos e reduz as pressões hidrostáticas, por outro pode ser prejudicial se a estrutura estiver em contato com solos que possam ser transportados pela água de filtração. Por esse motivo, é recomendada a colocação de um filtro entre a estrutura e o solo.

Tornou-se cada vez mais comum nos últimos anos a utilização de filtros geossintéticos, geralmente do tipo não tecido, já abordados anteriormente. Em comparação com os filtros naturais, os geotêxteis oferecem uma série de vantagens: rápida disponibilidade e baixo peso para facilitar o transporte e o manuseio, homogeneidade da capacidade de filtração e velocidade de instalação. Habitualmente, são usados apenas alguns poucos tipos de geotêxtil, sendo aconselhável definir suas características em função da granulometria do terreno. O cálculo é aquele normalmente empregado no dimensionamento de filtros. Para informações mais detalhadas, recomenda-se consultar a literatura específica sobre o assunto.

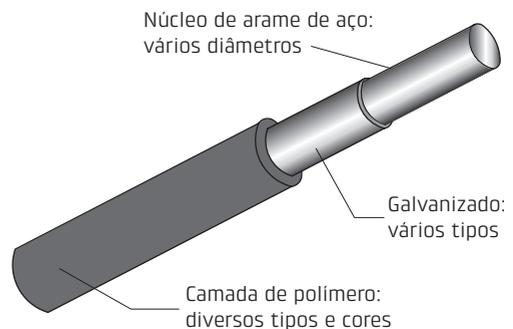
Da mesma forma, o geotêxtil pode ser usado abaixo dos revestimentos em colchões Reno® para prevenir que a água de filtração sob os colchões carregue as partículas do solo através deles, que poderiam, a seguir, ser arrastadas a jusante.

## 9.5 Durabilidade

As aquisições de materiais, muitas vezes, priorizam unicamente o preço do produto, sem uma verdadeira compreensão de outros fatores importantes, como qualidade e durabilidade.

Os fabricantes de colchões Reno® e gabiões oferecem uma ampla gama de calibres de arames e tipos de revestimento de seus produtos de dupla torção (Fig. 9.10). A escolha do tipo de arame e de sua proteção deve ser calibrada para que o produto usado tenha um custo adequado às condições e requisitos do projeto. Evidentemente, também não é necessário usar um produto mais caro se ele não for exposto a condições agressivas.

Por isso, é muito importante que os projetistas, especificadores e empreiteiros



**Fig. 9.10** Composição do arame usado em produtos de dupla torção

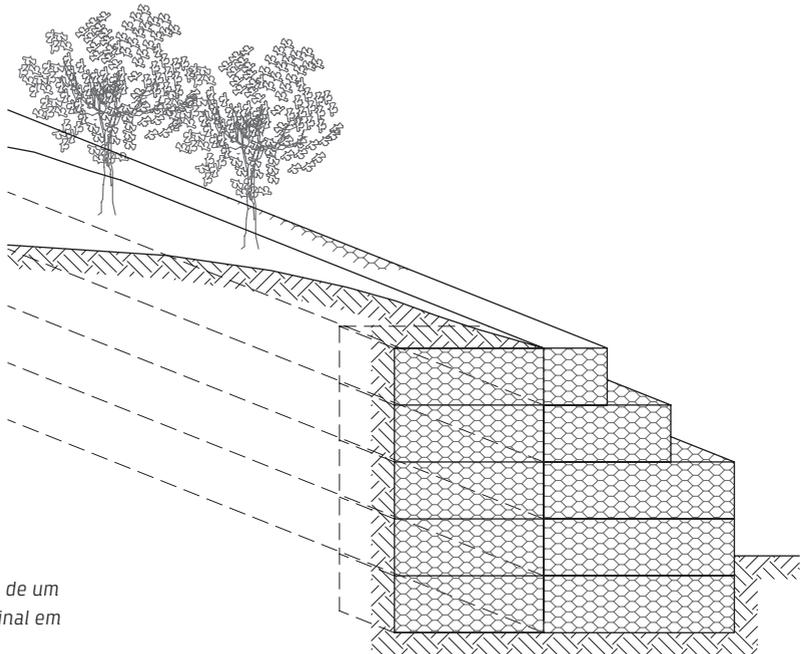
Outros ensaios estão sendo realizados para quantificar os resultados comparativos em um caso real. Em um rio de montanha, diversas amostras de rede com diferentes revestimentos foram amarradas na frente de muros de gabiões caixa e acima da tampa de revestimentos em colchões Reno®. O projeto prevê que periodicamente sejam retiradas algumas das amostras e seja verificado o desgaste, para assim montar, em alguns anos, um gráfico comparativo da resistência à abrasão. Com esse resultado, poderá ser mais fácil escolher o tipo de arame a ser usado em caso de forte transporte sólido, pelo menos nas faces expostas.

## 9.6 Engastamento

Nos casos de margens erodíveis, deve-se tomar muito cuidado com o ponto de partida da estrutura. A diferença de rugosidade entre os gabiões/colchões Reno® e o solo natural, ainda que relativamente pequena, pode criar pequenas turbulências, que, por sua vez, podem provocar fenômenos erosivos na margem desprotegida. Por essa razão, é sempre aconselhável incorporar firmemente a estrutura na margem por alguns metros, evitando assim que a eventual erosão possa descalçá-la mais tarde e prejudicar a eficiência da estrutura.

No caso de muros longitudinais, é suficiente criar um contraforte perpendicular a eles de 1,0 m a 2,0 m de espessura e com a mesma altura da estrutura (Fig. 9.28).

No caso de revestimentos em colchões Reno®, esses colchões podem ser engastados como no caso anterior, com um contraforte de gabiões ou colchões Reno®, que pode ser enterrado na margem com um ângulo de 45° (Figs. 9.29 e 9.30).



**Fig. 9.28** Engastamento de um muro longitudinal em gabiões caixa



**Fig. 9.47** Colocação em água de gabiões saco



**Fig. 9.48** Gabiões saco sendo colocados em água



**Fig. 9.49** Gabiões saco colocados em água já na parte emergida



**Fig. 9.50** Espigão construído em água somente com gabiões saco

## 9.9 Adaptação dos gabiões caixa e dos colchões Reno® à seção da estrutura

A possibilidade de utilizar elementos modulares permite projetar as mais variadas seções, com crista reta ou em degraus; paredes laterais verticais, inclinadas ou escalonadas; seções curvas, anguladas etc. Para uma construção mais rápida, sugere-se que seja dada preferência a uma crista e paramento em degraus em vez de uma estrutura inclinada, uma vez que o corte e a adaptação do gabião para ajustá-lo à seção desejada exigem mais tempo do que o habitual. Pela mesma razão, é preferível formar curvas com uma sequência de ângulos e não arredondadas, dobrando ou cortando os gabiões. Ainda assim, é possível construir estruturas curvas, se tal for considerado necessário.



**Fig. 9.51** Espigão em gabiões construído em água em duas etapas: abaixo da água com gabiões saco e em seco com gabiões caixa

## CASOS HISTÓRICOS

Serão apresentadas a seguir algumas obras fluviais realizadas na segunda metade do século XX e no começo do século XXI, significativas por seu tamanho ou por suas características.

### 10.1 Rio Los Antiguos (Argentina)

**Soluções:** proteção de margens com revestimento em colchões Reno®.

**Produtos:** colchão Reno®, geotêxtil não tecido.

#### 10.1.1 Descrição do problema

O povoado de Los Antiguos está localizado na base da Cordilheira dos Andes, na província de Santa Cruz, no fértil vale do rio homônimo, que descarrega suas águas no lago Buenos Aires. A atividade frutícola, que representa uma das principais fontes de renda para os moradores da área, era constantemente afetada pelo transbordamento do rio Los Antiguos na época do descongelamento. Essas cheias inundavam as áreas agrícolas, gerando erosão e perda de terras aptas para o cultivo em áreas próximas às margens do rio. Anteriormente, haviam sido executadas obras específicas de controle de inundações e proteção das margens, mas foi necessário o desenvolvimento de um projeto que abrangesse toda a área afetada e, especialmente, fornecesse uma solução definitiva.

#### 10.1.2 Solução

O projeto global para o controle de inundações e a proteção de margens foi desenvolvido em conjunto por técnicos do Laboratório de Hidráulica do Instituto Nacional da Água (INA) e técnicos do Departamento Provincial de Recursos Hídricos no âmbito do Conselho Agrário Provincial (CAP).

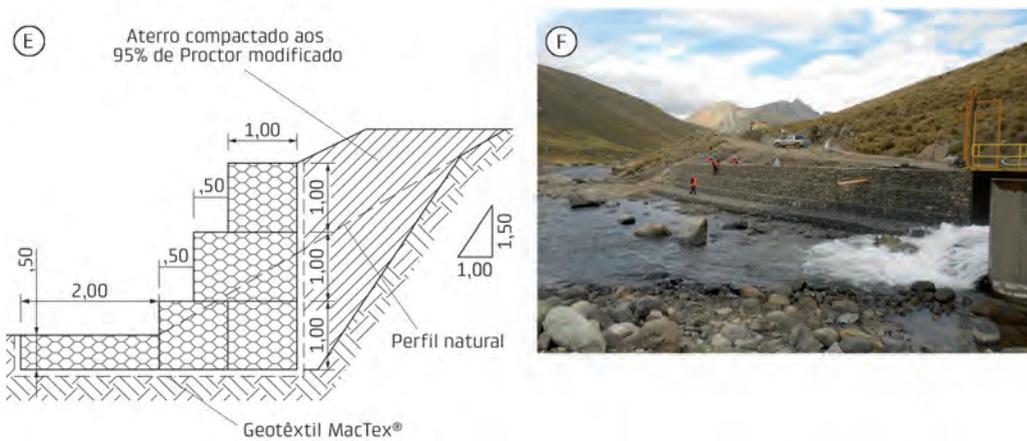


Fig. 10.8 (cont.) (E) seção transversal típica; (F) obra concluída

Nome do cliente	Celepasa
Construtora	Frame Ltda.
Projeto e consultoria	Frame Ltda.
Produtos e quantidades utilizados	Gabiões e colchões Reno®: 1.850 m <sup>3</sup> Geotêxtil: 418 m <sup>2</sup>
Data da obra	Começo da construção: abril de 2014 Finalização: abril de 2014

## 10.9 Rio Haina (República Dominicana)

**Soluções:** defesa de margens.

**Produtos:** gabião caixa, colchão Reno®, geotêxtil não tecido.

### 10.9.1 Descrição do problema

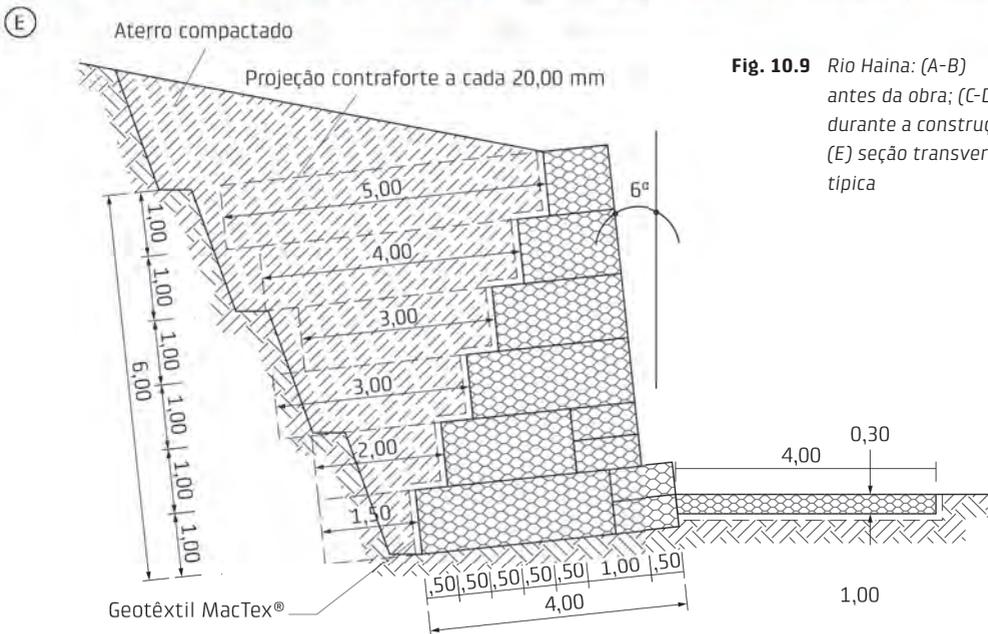
Em janeiro de 2004, a empresa de bebidas AmBev iniciou suas operações na República Dominicana e, ao mesmo tempo, começou a construção de sua fábrica para a produção de cervejas nos arredores do rio Haina, em Hato Nuevo, República Dominicana.

O aumento do nível de água do rio durante as cheias causava danos ao talude da margem ao lado da fábrica, comprometendo a segurança de sua estrutura física.

### 10.9.2 Solução

Construiu-se um muro de contenção em gabões caixa com extensão de 800 m e altura média de 6 m e uma plataforma de deformação de 4 m em colchões Reno®

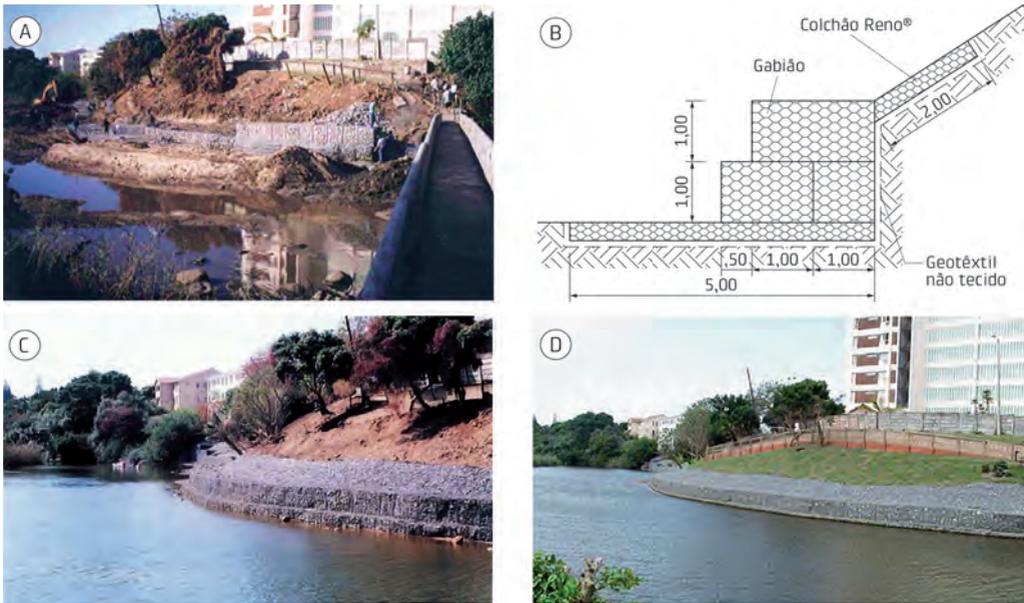
para prevenir a erosão do pé do muro. Foi usado geotêxtil não tecido MacTex® na parte posterior do muro de contenção. Com a construção desse muro, foi diminuída a força de impacto da água do rio no perímetro da fábrica, reduzindo assim o risco de danos a ela. A Fig. 10.9 apresenta algumas fotos dessa obra.



**Fig. 10.9** Rio Haina: (A-B) antes da obra; (C-D) durante a construção; (E) seção transversal típica

também foram utilizados para proteger o aterro de trás da estrutura durante fluxos elevados. Foram empregados gabiões caixa e colchões Reno® produzidos em malha de arame revestido com PVC para aumentar significativamente a vida de projeto da estrutura. A Fig. 10.11 mostra algumas fotos dessa obra.

A natureza do trabalho de construção dos gabiões permitiu o uso intensivo de trabalhadores locais. Além disso, o uso de gabiões possibilitou integrar a obra no ambiente da serena localidade costeira de Margate.



**Fig. 10.11** Rio Inkongweni: (A) durante a construção; (B) seção transversal típica; (C-D) obra concluída

Nome do cliente	Margate TLC
Construtora	Margate Asphalt
Projeto e consultoria	Kantey & Templar
Produtos e quantidades utilizados	Gabiões: 720 m <sup>3</sup> Colchões Reno®: 800 m <sup>2</sup>
Data da obra	Começo da construção: julho de 2000 Finalização: agosto de 2000

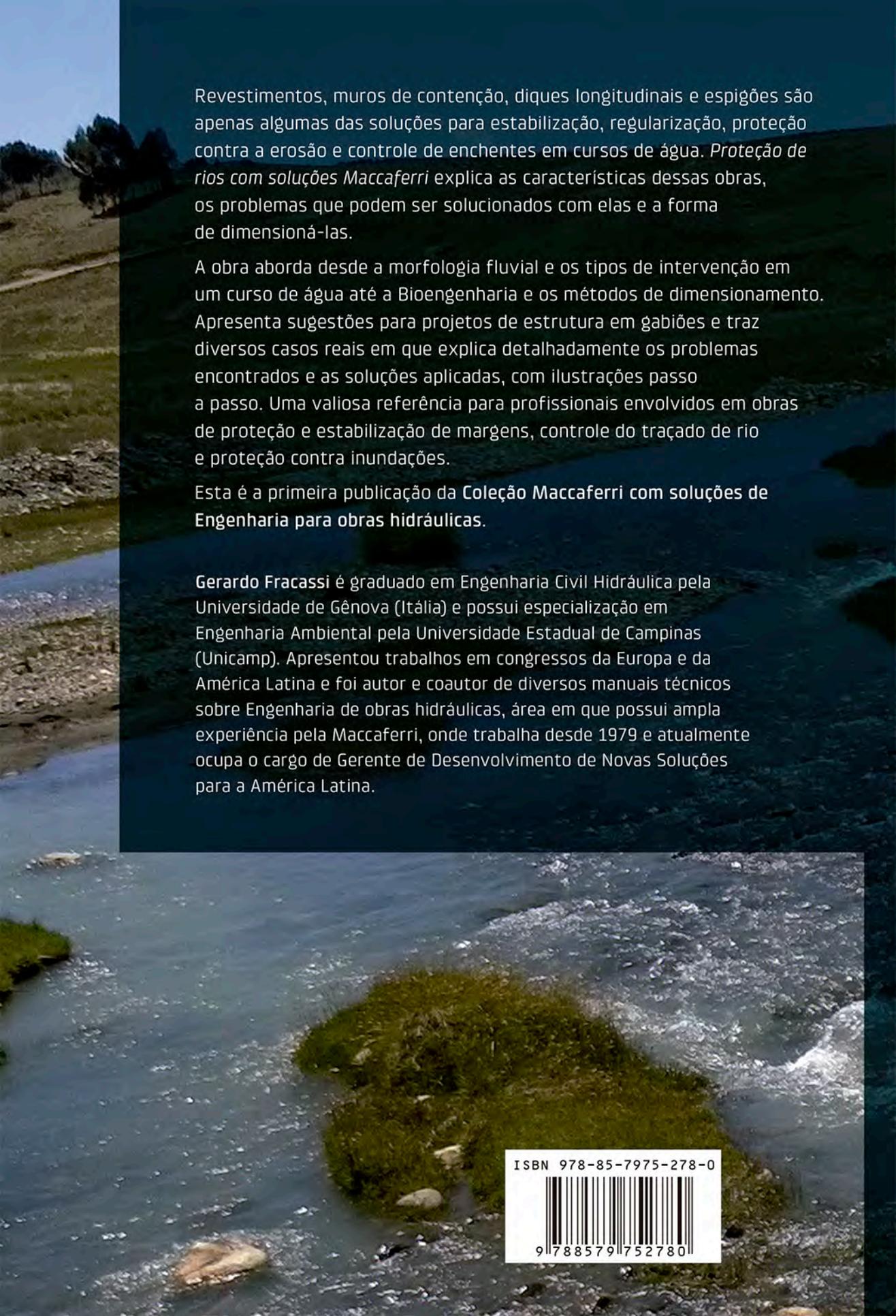
## 10.12 Rio Azul (Chubut, Argentina)

**Soluções:** defesa de margens com espigões.

**Produtos:** gabião caixa, colchão Reno®, geotêxtil não tecido.

### 10.12.1 Descrição do problema

A localidade do lago Puelo fica na zona das cordilheiras. Suas atividades foram se desenvolvendo à beira do rio, ocupando largas áreas em seu vale de inundação



Revestimentos, muros de contenção, diques longitudinais e espigões são apenas algumas das soluções para estabilização, regularização, proteção contra a erosão e controle de enchentes em cursos de água. *Proteção de rios com soluções Maccaferri* explica as características dessas obras, os problemas que podem ser solucionados com elas e a forma de dimensioná-las.

A obra aborda desde a morfologia fluvial e os tipos de intervenção em um curso de água até a Bioengenharia e os métodos de dimensionamento. Apresenta sugestões para projetos de estrutura em gabiões e traz diversos casos reais em que explica detalhadamente os problemas encontrados e as soluções aplicadas, com ilustrações passo a passo. Uma valiosa referência para profissionais envolvidos em obras de proteção e estabilização de margens, controle do traçado de rio e proteção contra inundações.

Esta é a primeira publicação da **Coleção Maccaferri com soluções de Engenharia para obras hidráulicas**.

**Gerardo Fracassi** é graduado em Engenharia Civil Hidráulica pela Universidade de Gênova (Itália) e possui especialização em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Apresentou trabalhos em congressos da Europa e da América Latina e foi autor e coautor de diversos manuais técnicos sobre Engenharia de obras hidráulicas, área em que possui ampla experiência pela Maccaferri, onde trabalha desde 1979 e atualmente ocupa o cargo de Gerente de Desenvolvimento de Novas Soluções para a América Latina.

ISBN 978-85-7975-278-0



9 788579 752780