

Capítulo 63-Canal revestido com colchão Reno

“Em política não valem os fatos e sim a interpretação dos mesmos”.
Ministro Alkimin do presidente JK

Capítulo 63-Canal revestido com colchão Reno

63.1 Introdução

Há três tipos básicos de canais:

- canais revestidos,
- canais não revestidos e
- canais gramados.

Veremos neste capítulo canal revestido com colchão Reno.

O uso de gabião para proteção de margens de córregos e rios já é usado há muito tempo e ficou bastante conhecido com o revestimento do rio Tietê em 24,5 km desde a barragem da Penha até a barragem móvel do Cebolão em São Paulo, capital.

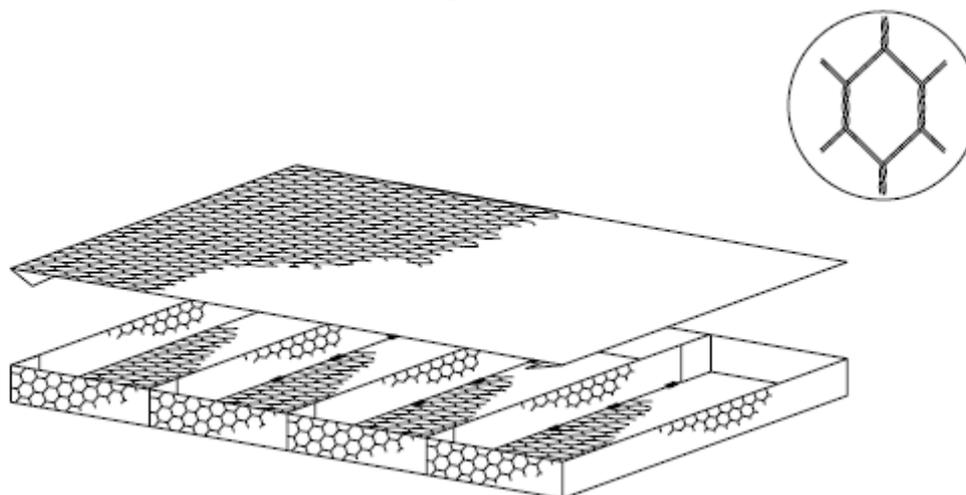


Figura 63.1- Esquema do colchão Reno. Fonte: Maccaferri

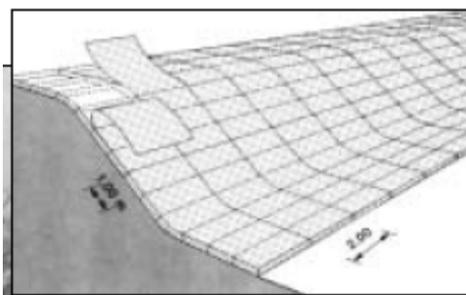


Figura 63.2- Esquema do colchão Reno. Fonte: Maccaferri

63.2 Objetivo do revestimento em colchão reno.

São diversos os objetivos do colchao Reno para estabilidae e proteção das margens de rios e córregos devendo ser observado principalmente:

- Velocidade média do canal
- Ação de ondas nas margens devido embarcações ou golpes de arietes de fechamento de comportas.
- Presença de irregularidades como pontes existentes, afloramentos de rochas e outros.
- Instabilidae geotécnica do solo das margens
- Mudança do ângulo de atrito interno do solo devido a subida ou descida rápida do lençol freático.

- Proteção contra erosão
- Estimativa boa para o coeficiente de rugosidade de Manning

63.3 Colchão Reno ou colchão de gabião

São caixas de tela metálica revestida ou não e com enchimento de pedra. As malhas são hexagonais com dupla torção com arames metálicos revestidos com liga de zinco e alumínio e pode ou não ser revestido com material plástico.

Conforme Maccaferri a tela é produzida com arames de aço de baixo teor de carbono, revestido com uma liga de zinco (95%), alumínio (5%) e terras raras (revestimento Galvanizado) que confere uma proteção contra a corrosão de pelo menos cinco vezes a oferecida pela zincagem pesada tradicional.

As pedras são colocadas dentro da caixa que possui índice de vazios de aproximadamente 30%.

63.4 Colocação dos colchões Reno

Conforme Maccaferri as várias operações de montagem e enchimento pode ser resumidas em:

- a) preparação de cada colchão fora do local de utilização.
- b) colocação na obra e união dos colchões entre si.
- c) enchimento dos colchões com seixos ou pedras.
- d) fechamento dos colchões mediante costura das tampas.

63.4 Classificação dos revestimentos

Conforme Maccaferri os colchões Reno para revestimento de canais e cursos de água podem ser classificados em:

- a) revestimentos executados no seco
- b) revestimentos executados em presença da água
- c) revestimento consolidados ou impermeabilizados com mistura betuminosa
- d) de revestimento consolidados ou impermeabilizados com mistura betuminosa, confeccionados sobre pontões ou no canteiro e lançados com equipamentos especiais.

Vamos resumidamente explicar cada caso.

Revestimento executado no seco

São instalados em taludes que variam de 1: 1,5 a 1: 2,0 dependendo do solo. Geralmente a declividade máxima se dá em solo argiloso com coesão e a mínima em solos arenosos e sem coesão.

Neste caso os colchões Reno são assentados diretamente sobre o solo protegido desde que seja estável e instalado na direção perpendicular ao canal.

Revestimentos executados em presença da água

O lançamento de colchão Reno na presença de água é sempre um problema de difícil execução.

Revestimento consolidados ou impermeabilizado com mástique de betume hidráulico.

A mistura betuminosa protege a malha metálica contra a corrosão e abrasão. Não iremos detalhar tal tipo de aplicação.

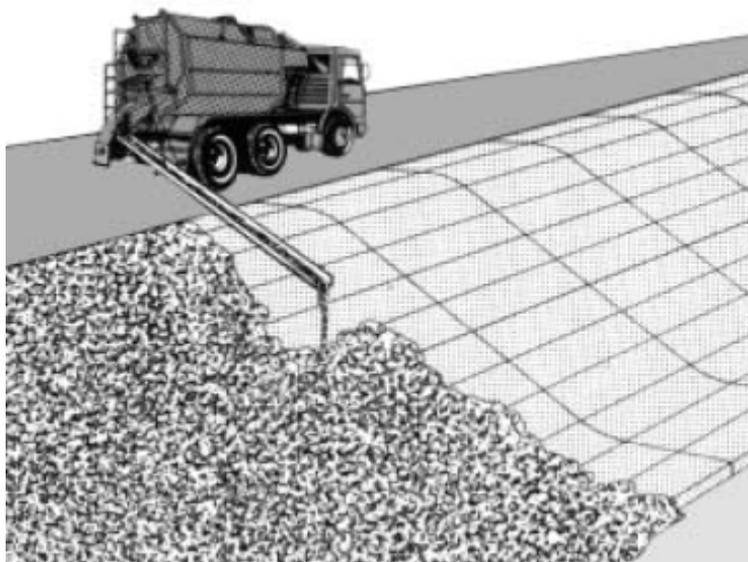


Figura 63.3- Recobrimento com mistura betuminosa Fonte: Maccaferri

Revestimento consolidados ou impermeabilizados com a mistura betuminosa, confeccionados sobre pontões ou no canteiro e lançados com equipamentos especiais.

Não iremos detalhar tal tipo de aplicação.

63.5 Critérios de cálculo

Há dois criterios basicos de cálculo de estabilidade de um canal:

1. Critério da velocidade crítica
2. Critério da tensão crítica (melhor)

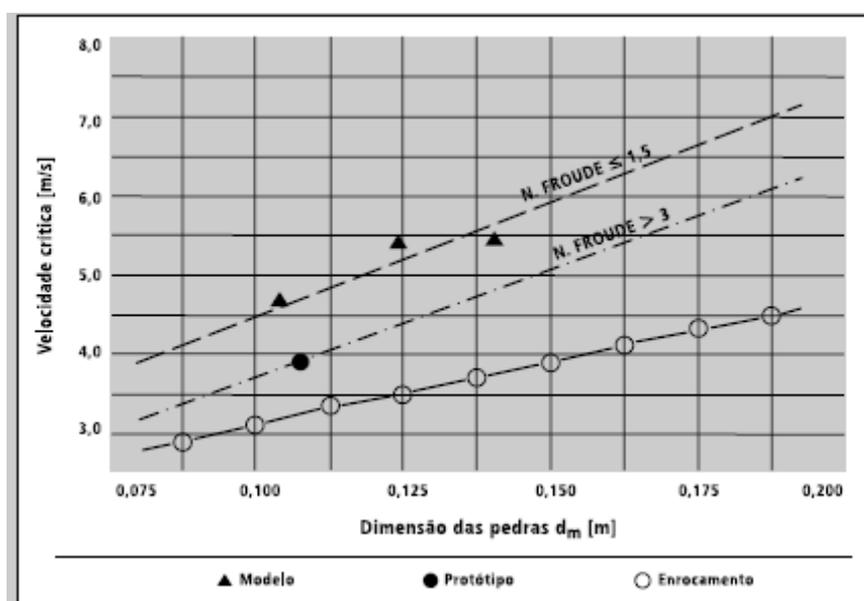


Figura 63.4-Velocidade crítica em função do diâmetro da pedra e do número de Froude.
Fonte: Maccaferri

A Tabela (63.1) fornece a espessura dos colchões reno bem como o diâmetro das pedras de enchimento e a velocidade crítica e limite.

Tabela 63.1- Espessuras indicativas dos colchões Reno. Fonte: Maccaferri.

Espessura	Pedras de enchimento		Velocidade crítica	Velocidade limite
	Dimensões	d ₅₀		
(m)	(mm)	(m)	(m/s)	(m/s)
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5
0,15 a 0,17	70 a 100	0,085	3,5	4,2
0,15 a 0,17	70 a 150	0,110	4,2	4,5
0,23 a 0,25	70 a 100	0,085	3,6	5,5
0,23 a 0,25	70 a 150	0,120	4,5	6,1
0,30	70 a 120	0,100	4,2	5,5
0,30	100 a 150	0,125	5,0	6,4
0,50	100 a 200	0,150	5,8	7,6
0,50	120 a 250	0,190	6,4	8,0

Fonte: Hydraulics Laboratory Engineering Research Center, Colorado State University ano 1982 a 1983 in Maccaferri.

Explicações da Tabela (63.1)

Coluna 1

Espessura= é a espessura do colchão de gabião que varia de 0,15m a 0,50m

Coluna 2

Pedras de enchimentos: as pedras de enchimento variam de 70mm até 250mm

Coluna 3

d₅₀= é o diâmetro médio de 50% das pedras em peso. É como se fosse uma peneira em que por ela passam 50% em peso do material.

Coluna 4

Velocidade crítica

Define-se **velocidade crítica** aquela suportavel pelo revestimento com segurança sem haver movimentação de pedras no interior do colchão. Se a velocidade da água no canal for igual a velocidade crítica, começa o movimento das pedras dentro do colchão Reno.

Coluna 5

Velocidade limite

Define-se **velocidade limite** aquele também aceitável mas que admite modestas deformações das pedras do colchão Reno.

63.7 Fórmula de Manning

Para o cálculo do canal será usado a fórmula de Manning.

$$V = (1/n) \times R^{(2/3)} \times S^{0,5}$$

Considerando uma seção trapezoidal temos:

V= velocidade média (m/s)

n= coeficiente de rugosidade de Manning

A= área molhada (m²)= $(b + z \cdot y) \cdot y$

y= altura do nível de água (m)

b= largura da base do trapézio (m)

z= declividade sendo 1 na vertical e z na horizontal

P= perímetro molhado (m)

$$P = b + 2 \cdot y \cdot (1 + z^2)^{0,5}$$

R= A/P= raio hidráulico (m)

S= declividade do canal (m/m)

B= largura do canal na superfície da água (m)

$$B = b + 2z \cdot y$$

Borda livre

A borda livre foi livre foi calculada usando critério do *Bureau of Reclamation*:

$$\text{Borda livre (m)} = 0,61 + 0,0372 \cdot V \cdot y^{(2/3)}$$

Sendo:

V= velocidade média na seção (m/s)

y= altura do nível de água (m)

Tabela 63.2- Coeficientes de Manning recomendados pela Maccaferri

Ordem	Natureza da superfície	Rugosidade n de Manning
1	Canais revestidos com colchões Reno perfeitamente impermeabilizados com mastique de betume em superfície plana e bem lisa.	0,0158
2	Canais revestidos com colchões Reno perfeitamente impermeabilizados com mastique de betume aplicado diretamente	0,0172
3	Canais revestidos com colchões Reno consolidados com mastique de betume hidraulico que envolva as pedras superficiais	0,0200
4	Canais revestidos com colchões Reno consolidados com mastique de betume hidraulico que penetre em profundidade	0,0215
5	Canais revestidos com colchões Reno com material bem selecionado e colocado na obra com muito cuidado	0,022
6	Canais revestidos com colchões Reno com material bem selecionado e colocado na obra sem cuidado	0,0250
7	Canais revestidos com colchões Reno enchidos com material de pedra não selecionado e colocada na obra sem cuidado.	0,0270
8	Canais revestidos com colchões Reno enchidos com material de pedra bem selecionado e colocado na obra com cuidado.	0,0260
9	Canais revestidos com gabioes enchidos com material não selecionado e colocado na obra sem cuidado	0,0285
10	Canais em terra em más condições de manutenção: amaranhamento de vegetação no fundo e nas margens, ou depositos irregulares de pedras e cascalhos, ou profundas erosões irregulares. Também em canais em terra executados com escavadeira mecanica e com manutenção descuidada.	0,0303

$$n = \frac{d_{90}^{1/6}}{26}$$

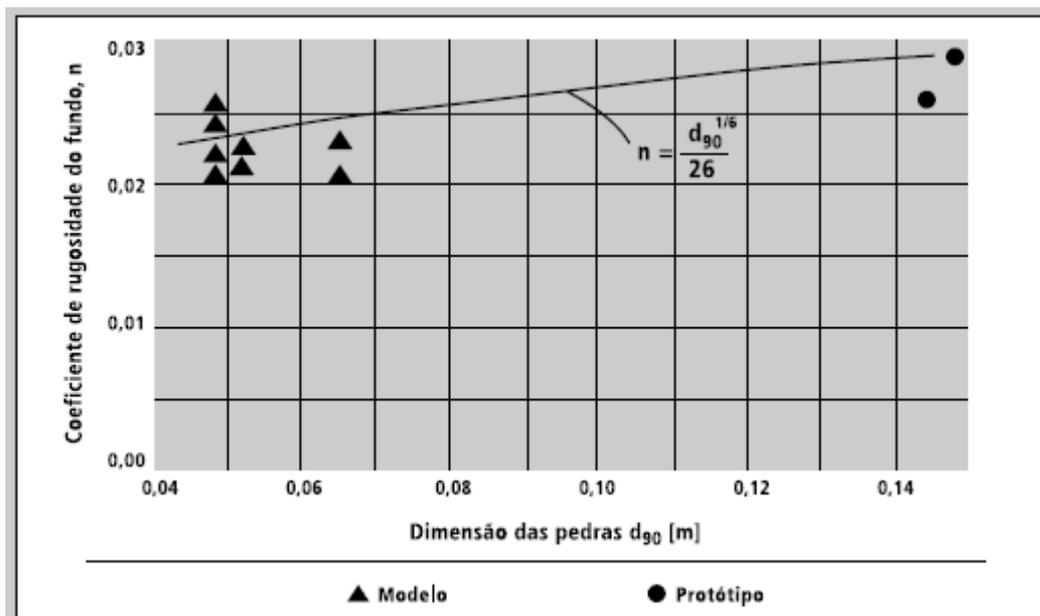


Figura 63.5- Coeficiente de rugosidade de Manning “n” em função do diâmetro da pedra d_{90} .

63.8 Tensão trativa

Um parâmetro muito importante é a tensão trativa média.

$$\tau_t = \gamma \cdot R \cdot S \quad \text{(Equação 63.1)}$$

sendo:

τ_t = tensão trativa média no perímetro molhado (N/m^2) ou (Pa);

γ = peso específico da água = 10^4 N/m^3 (o valor mais exato seria 9800);

R = raio hidráulico (m);

S = declividade (m/m)

Exemplo 63.1- calcular a tensão trativa com dados do Exemplo (63.1).

Como o raio hidráulico é 0,59m

Usando a Equação (63.1) temos:

$$\tau_t = \gamma \cdot R \cdot S = 10000 \times 0,59 \times 0,005 = 29,5 \text{ Pa} = 29,5 \text{ N/m}^2$$

Tensão Trativa para um canal muito largo

Conforme apostila de Escoamento de Canais do Departamento de Hidráulica da Escola Politécnica, para um canal a tensão trativa máxima é :

Fundo do canal

$$\tau_{\text{máxima}} = \gamma \cdot R \cdot S \cong \gamma \cdot y \cdot S \quad \text{(Equação 63.2)}$$

sendo y a altura da lâmina d'água e b a largura do canal.

No talude a tensão trativa é:

Talude do canal

$$\tau_{\text{máxima}} = 0,75 \cdot \gamma \cdot y \cdot S \quad (\text{Equação 63.3})$$

sendo y a altura da lâmina d'água.

63.9 Borda livre de um canal

Devido a ações de ondas provocadas por ventos, embarcações, ou flutuações das vazões, é necessário que se deixe uma borda livre. Geralmente o mínimo é de 0,30m, e no Estado de São Paulo é usual adotar 25% da profundidade. Assim um canal com 2,00m de profundidade pode ser adotado borda livre de 25% ou seja 0,50m.

Conforme Chaudhry, 1993, o *U. S. Bureau de Reclamation* adota para borda livre a seguinte fórmula:

$$\text{Borda livre (m)} = (k \cdot y)^{0,5}$$

Sendo:

y = altura da lâmina d'água (m) e

k = coeficiente que varia de 0,8 até 1,4 dependendo da vazão do canal.

Para vazão de $0,5\text{m}^3/\text{s}$ $k=0,8$ e para vazão maior que $85\text{m}^3/\text{s}$ temos $k=1,4$.

A Tabela (63.1) fornece sugestões para bordas livres conforme as vazões nos canais conforme *Central Board of Irrigation and Power* na Índia. Fornece valores bem menores que a fórmula do *Bureau de Reclamation*.

Tabela 63.1 – Sugestões de borda livre recomendado pela Central Board of Irrigation and Power, na Índia (Raju,1983)

Vazão (m^3/s)	Vazão < $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$	Vazão entre $1,5$ a $85 \text{ m}^3/\text{s}$	Vazão > $85\text{m}^3/\text{s}$
Borda Livre	0,50m	0,75m	0,90m

Fonte: Chaudhry, 1993

O *Bureau de Reclamation* adota a fórmula abaixo, para regime torrencial ou seja quando o número de Froude for maior que 1.

$$\text{Borda livre (em metros)} = 0,61 + 0,0372 \cdot V \cdot y^{1/3}$$

Sendo:

V = velocidade média da seção (m/s) e

y = altura da lâmina d'água (m).

Exemplo 63.2 de aplicação da Borda Livre de um Canal

Seja com altura da lâmina d'água de 2,50m e vazão de $67\text{m}^3/\text{s}$. Calcular a borda livre.

Adotando $k=1,2$

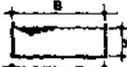
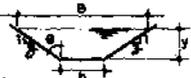
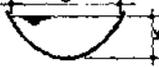
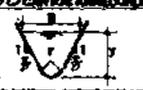
$$\text{Borda livre (m)} = (k \cdot y)^{0,5} = (1,2 \cdot 2,5)^{0,5} = 1,73\text{m}$$

Adotando critério de 25% da altura teremos borda livre de 0,625m

Porém examinando a Tabela (63.2) do *Central Board of Irrigation and Power* da Índia apresenta valor para borda livre de 0,75m que parece ser o mais adequado.

63.10 Canais

Tabela 63.2- Elementos geométricos das várias seções de canais

SEÇÃO	ÁREA (A)	PERÍMETRO MOLHADO (P)	LARGURA SUPERFICIAL (B)	RAIO HIDRÁULICO (R = A/P)
 RETÂNGULO	by	$b + 2y$	b	$\frac{by}{b + 2y}$
 TRAPEZIO	$(b + zy)y$	$b + 2y\sqrt{1 + z^2}$	$b + 2zy$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$
 TRIÂNGULO	zy^2	$2y\sqrt{1 + z^2}$	$2zy$	$\frac{zy}{2\sqrt{1 + z^2}}$
 CÍRCULO	$\frac{D^2}{8} (\alpha - \text{sen}\alpha)$	$\frac{D}{2} \alpha$	$D \left(\text{sen} \frac{\alpha}{2} + 1 \right)$ OU $2\sqrt{y(D-y)}$	$\frac{D}{4} \left(1 - \frac{\text{sen}\alpha}{\alpha} \right)$
 PARÁBOLA	$\frac{2}{3} By$	$b + \frac{8y^2}{3b}$	$\frac{3}{2} \frac{A}{y}$	$\frac{2b^2 y}{3b^2 + 8y^2}$
 RETÂNGULO COM CANTOS ARREDONDADOS	$\left(\frac{b}{2} - 2r^2 + (b + 2r)y \right)$	$(b - 2r + b + 2y)$	$b + 2r$	$\frac{\left(\frac{b}{2} - 2r^2 + (b + 2r)y \right)}{(b - 2r + b + 2y)}$
 TRIÂNGULO COM CANTOS ARREDONDADOS	$\frac{y^2}{4z} - \frac{r^2}{2} (1 - z \text{sec}\alpha z)$	$\frac{b}{2} \sqrt{1 + z^2} - \frac{2r}{z} (1 - z \text{sec}\alpha z)$	$2 \left[zy - r + r\sqrt{1 + z^2} \right]$	$\frac{A}{P}$

63.11 Número de Froude F

O número de Froude denominado "F" representa a influência da força gravitacional no escoamento. A fórmula geral para determinar o número de Froude.

$$F = V / (g \times D_h)^{0,5}$$

Sendo:

F= número de Froude;

V=velocidade média da seção (m/s);

g=aceleração da gravidade=9,81 m/s²;

D_h=profundidade média ou profundidade hidráulica. D_h = A/B;

B= largura superficial da água (m) e

A=área da seção (m²).

DICA: não confundir profundidade hidráulica com raio hidráulico.

Número de Froude para canal de seção retangular

Para um canal retangular (Chaudry, 1993) é representado por:

$$F = V / (g \cdot A/B)^{0,5}$$

Sendo:

F= número de Froude;

V=velocidade média da seção em m/s;

A= area molhada (m²)

B= largura do topo do nível de água no canal (m)

g=aceleração da gravidade=9,81 m/s²;

Chin, 2000 diz que experimentos em canais retangulares mostraram **instabilidade** quando o número de Froude está entre 0,86 e 1,13 e portanto, devemos evitar que em um canal o número de Froude esteja entre aqueles valores.

Dica: procurar manter o número de Froude F 0,86 ou F 1,13

63.12 Critério da tensão

No fundo do canal a tensão trativa é calculada pela equação:

$$b = w \cdot y \cdot i$$

Sendo:

b= tensão superficial no fundo (N/m²) ou (Pa)

w = peso específico da água (10.000N/m³)

i= declividade do fundo do canal (m/m)

y= altura da lâmina de água do fundo do canal (m)

Uma medida muito importante é o Coeficiente de Shields C* que é definido pela equação:

$$C^* = \frac{c}{[(s - w) \cdot dm]}$$

Sendo:

C*= coeficiente de Shields. **C*=0,10** para colchão Reno e C*=0,047 para rip-rap.

c = tensão crítica de inicio de movimento (Pa)

s = peso específico das pedras (N/m³)=25000N/m³

w = peso específico da água (10.000N/m³)

dm= diâmetro médio das pedras, isto é, é o d₅₀ que permite a passagem de 50% das pedras em peso.

Deverá ser obedecida duas condições:

Se **b < c** não haverá deformação no fundo do canal e o revestimento é dito estável.

Mas a Maccaferri admite ainda uma tolerancia de 20% que é um movimento tolerável nas pedras onde podemos dizer que temos um controle das deformações no gabião Reno. Isto acontecerá se:

$$b \geq 1,2 c$$

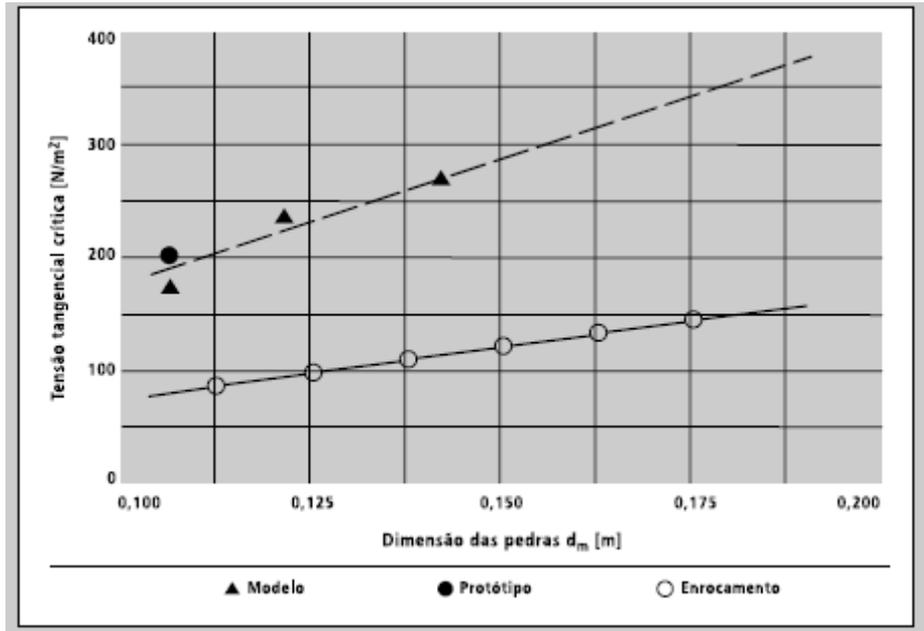


Figura 63.6-Tensão tangencial em função do diâmetro das pedras
Fonte: Maccaferri

Tabela 63.2- Espessura do colchão de gabião, d_{50} , e tensão crítica

Tipo	Espessura [m]	Pedras de enchimento		τ de arraste		
		Dimensões [mm]	d_{50} [m]	Crítica [N/m ²]	Experimental [N/m ²]	Máxima admissível [N/m ²]
Colchão Reno® malha 6x8	0,17	70 a 100	0,085	136,00	155,00	163,20
		70 a 150	0,110	176,00	200,00	211,20
	0,23	70 a 100	0,085	136,00	155,00	163,20
		70 a 150	0,110	176,00	200,00	211,20
	0,30	70 a 120	0,100	160,00	175,00	192,00
		100 a 150	0,125	200,00	230,00	240,00
Gabião caixa malha 8x10	0,50	100 a 200	0,150	240,00	280,00	288,00
		120 a 250	0,190	304,00	370,00	364,80

Fonte: Maccaferri.

63.13 Deformações

O colchão Reno aguenta deformações até 20% a mais da tensão crítica conforme Figura (63.7). Vamos calcular estas deformações.

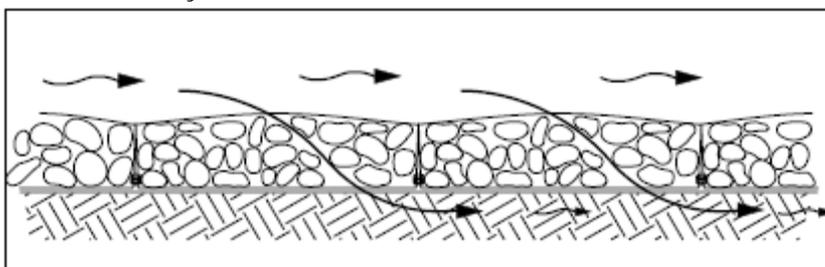


Figura 63.7- Deformações no colchao Reno

Para o cálculo da deformação temos que calcular o coeficiente eficaz de Shields C^* na equação abaixo:

$$C^* = \frac{\tau_b - \tau_c}{(\gamma_s - \gamma_w) \cdot d_m}$$

Pela Figura (63.8) entrando com o **coeficiente eficaz de Shields C^*** achamos o valor $\Delta Z/d_m$ e devemos verificar se é menor que $2 \cdot (t/d_m - 1)$

Sendo:

t = espessura do colchão Reno (m).

$d_m = d_{50}$ = diametro medio das pedras (m)

$$\frac{\Delta z}{d_m} \leq 2 \cdot \left(\frac{t}{d_m} - 1 \right)$$

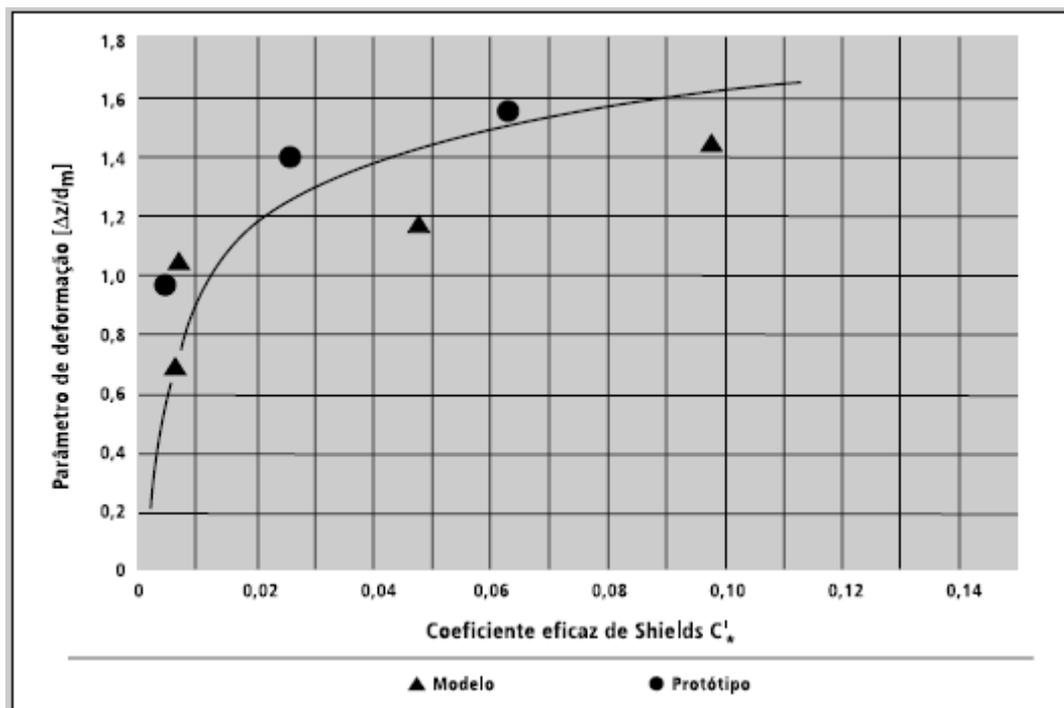


Figura 63.8- Relação entre o coeficiente eficaz de Shiels e o parametro de deformação.

O valor $\Delta Z/d_m$ é obtido no gráfico. Vamos supor que $\Delta Z/d_m=1,1$ e tendo o valor de d_m achamos ΔZ .

$$\Delta Z = 1,1 \times d_m = 1,1 \times 0,14 = 0,15m$$

Portanto $\Delta Z/2 = 0,15/2 = 0,075m$. Supondo que a espessura do colchão Reno seja de 0,30m teremos numa parte do colchão a espessura $0,30 - 0,075 = 0,225m$ e na outra $0,30 + 0,075 = 0,375m$

63.14 Velocidade residual no fundo

Deve ser verificada a velocidade entre o colchao Reno e o solo da base. Esta velocidade da interface do fundo do colchao REno é denominada de V_b (m/s).

$$V_b = \frac{1}{n_f} \cdot \left(\frac{d_m}{2} \right)^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

Sendo:

n_f = coeficiente de rugosidade de Manning=0,02 se temos filtro geotextil ou nenhum filtro.
 Adotamos $n_f=0,025$ se o filtro é feito em cascalho.

Conforme Maccaferri a velocidade V_b deve ser confrontada com a velocidade admissivel V_e como pode ser calculada ou achada na Figura (63.9).

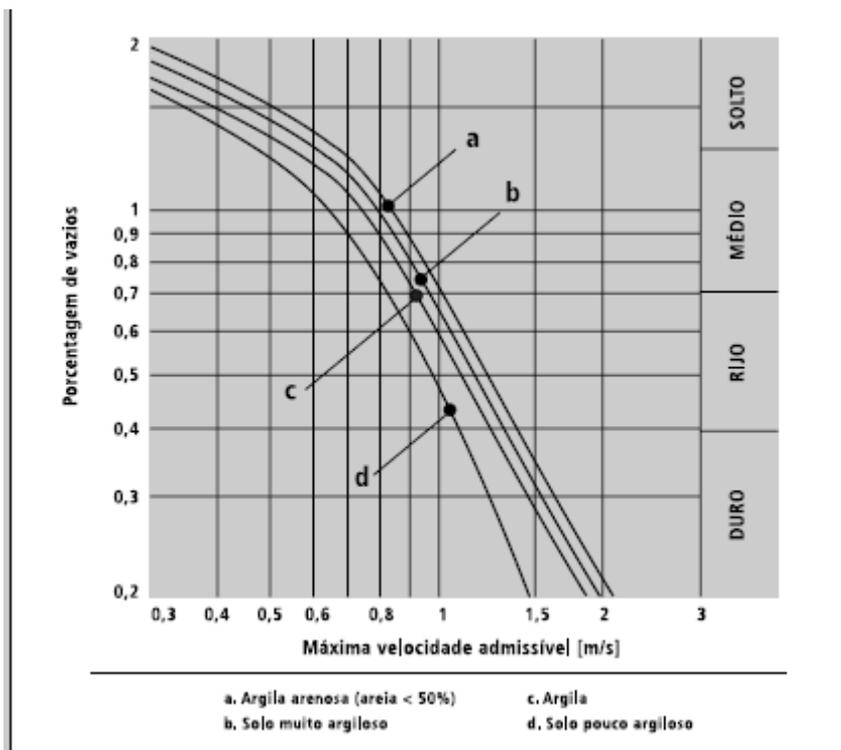


Figura 63.9- Valores das velocidades máximas admissíveis para solos coesivos

$$V_e = 16,1 \cdot d_m^{1/2}$$

Caso V_b seja maior que V_e deve ser colocado geotextil.

63.15 Velocidade máxima em gabiões

Conforme ASCE, 1992 a velocidade máxima em gabiões depende da sua espessura conforme Tabela (63.4).

Tabela 63.4-Velocidade máxima conforme espessura do gabião

Espessura do gabião (m)	Velocidade máxima (m/s)
0,15	1,80
0,23	3,3
0,30	4,2

Fonte: ASCE, 1992

63.16 Bibliografia e livros consultados

- MACCAFERRI. *Revestimentos flexíveis em colchões Reno.*
- ASCE (AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEER). *Design and construction of urban stormwater management systems.* ASCE, 1992, 724 páginas.