

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA  
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – BACHARELADO  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**IHASMINE MUNIZ SCHAAF**

**TÉCNICAS DE BIOENGENHARIA E POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA  
ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES DE CORPOS D'ÁGUA EM SÃO GABRIEL – RS**

**São Gabriel**

**2019**

**IHASMINE MUNIZ SCHAAF**

**TÉCNICAS DE BIOENGENHARIA E POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA  
ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES DE CORPOS D'ÁGUA EM SÃO  
GABRIEL – RS**

Trabalho de Conclusão de Curso IV  
apresentado ao curso de Ciências  
Biológicas, da Universidade Federal  
do Pampa, como requisito parcial  
para obtenção do Título de Bacharel  
em Biologia.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cibele Rosa Gracioli.

**São Gabriel**

**2019**

**IHASMINE MUNIZ SCHAAF**

**TÉCNICAS DE BIOENGENHARIA E POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA  
ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES DE CORPOS D'ÁGUA EM SÃO  
GABRIEL – RS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Ciências  
Biológicas da Universidade Federal do  
Pampa, como requisito parcial para  
obtenção do Título de Bacharel em  
Biologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 5 de dezembro de 2019.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr<sup>a</sup>. Cibele Rosa Gracioli

Orientadora

UNIPAMPA

---

Prof. Dr. André Carlos Cruz Copetti

UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Rafael Marian Callegaro

UNIPAMPA

*“Cada pessoa deve trabalhar para o seu aperfeiçoamento e, ao mesmo tempo, participar da responsabilidade coletiva por toda a humanidade.”*

*Marie Curie.*

## RESUMO

Trabalho de Conclusão de Curso  
Ciências Biológicas  
Universidade Federal do Pampa

### **TÉCNICAS DE BIOENGENHARIA E POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES DE CORPOS D'ÁGUA EM SÃO GABRIEL – RS**

**Autora: Ihasmine Muniz Schaaf**  
**Orientadora: Cibele Rosa Gracioli**

**Local e data: São Gabriel, 5 de dezembro de 2019.**

A presente pesquisa foi desenvolvida como uma revisão bibliográfica com temática central voltada para soluções de bioengenharia, caracterizadas como estruturas estabilizadoras de encostas contra erosão e deslizamentos em áreas de rios e córregos urbanos, trazendo também como enfoque observações analíticas para futura aplicação das mesmas técnicas na recuperação de três trechos do Rio Vacacaí inseridos na zona urbana do município de São Gabriel, denominados os trajetos de fluxo como Sanga da Bica, Sanga da Riveira e Vacacaí principal, na região da Campanha do estado do Rio Grande do Sul. Foi descrita brevemente as características de matas ciliares e sua importância ecológica na manutenção do ecossistema fluvial, a distribuição de corpos d'água no território brasileiro, a legislação vigente de Áreas de Preservação Permanente em zonas urbanas e suas atuações, métodos de manejo passivo e ativo de corpos d'água e sua importância na caracterização física dos cursos de água, assim como a ampla classificação de obras biotécnicas para estabilização, prevenção e correção de encostas fluviais.

**Palavras-chave:** área de preservação permanente, cursos d'água, obras fluviais.

## **ABSTRACT**

Course Completion Work  
Biological Sciences  
Federal University of Pampa

### **BIOENGINEERING TECHNIQUES AND POSSIBLE SOLUTIONS FOR STABILIZATION OF SLOPE OF SAN GABRIEL WATER BODIES - RS**

**Author: Ihasmine Muniz Schaaf**  
**Advisor: Cibele Rosa Gracioli**

**Place and date: Sao Gabriel, 5 December 2019.**

This research was developed as a literature review with central theme focused on bioengineering solutions, characterized as stabilizing structures of hillsides against erosion and landslides in areas of rivers and urban streams, also bringing as focus analytical observations for future application of the same techniques in the recovery of three stretches of the Rio Vacacaí inserted in the urban area of the municipality of São Gabriel, called the flow paths as Sanga da Bica, Sanga da Riveira and main Vacacaí, in the region of Campanha do Estado do Rio Grande do Sul. It was briefly described the characteristics of riparian forests and their ecological importance in the maintenance of the river ecosystem, the distribution of water bodies in the Brazilian territory, the current legislation of Permanent Preservation Areas in urban areas and their actions, methods of passive and active management of water bodies and their importance in the physical characterization of water courses, as well as the broad classification of biotechnical works for stabilization, prevention and correction of river slopes.

**Keywords:** permanent preservation area, waterways, river works.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí – Vacacaí Mirim. FONTE: SEMA, 2019.....	15
Figura 2: Remodelagem da barranca como ação corretiva e preventiva. Fonte: Durlo & Sutili (2005).....	23
Figura 3: Desenho esquemático de ação emergencial para margem sob ação corrosiva. Fonte: Durlo e Sutili (2005).....	24
Figura 4: Revestimento por enrocamento no Rio Potengi em Natal, Brasil. FONTE: Google Imagens.....	25
Figura 5: Modelo de espigões transversais. Vista superior (A), vista frontal (B). FONTE: Durlo e Sutili (2005).....	26
Figura 6: Posições para implantação de espigões transversais: a) perpendicular, b) declinante, c) inclinante. FONTE: Durlo e Sutili (2005).....	27
Figura 7: Espigão feito a partir de enrocamento e pilares de madeira, Rio Arkansas. FONTE: Brighetti e Martins (2001).....	28
Figura 8: Feixes vivos prontos para aplicação. FONTE: Ecosalix (2016).....	29
Figura 9: Modelo proposto do efeito esperado de esteira viva. FONTE: Durlo e Sutili (2005).....	29
Figura 10: Modelo real aplicado de esteira viva. FONTE: Ecosalix (2016).....	30
Figura 11: Dique de madeira. FONTE: Petersen (1981) <i>apud</i> Brighetti e Martins (2001).....	30
Figura 12: Diques na estabilidade de terrenos íngremes. FONTE: Ecosalix (2016).....	31
Figura 13: Construção de Parede de Krainer em um talude fluvial. FONTE: Sutili (2007) <i>apud</i> Pinto (2009).....	32
Figura 14: Modelo da Parede de Krainer finalizada com enraizamento. FONTE: Lewis (2001).....	32
Figura 15: Gabião vivo em defesa longitudinal de talude. FONTE: Ecosalix (2016).....	33
Figura 16: Cinto basal saliente. (1) cinto retilíneo, (2) cinto inclinado e (3) cinto sinoidal. FONTE: Durlo e Sutili (2005).....	34
Figura 17: Cinto basal simples de madeira, aplicado como complemento do cinto basal saliente. FONTE: Durlo e Sutili (2005).....	35
Figura 18: Barragem de retenção de materiais. FONTE: Durlo e Sutili (2005).....	36
Figura 19: Efeito alavanca de uma árvore sobre um talude. FONTE: Durlo e Sutili (2005).....	37
Figura 20: <i>Calliandra brevipes</i> Bentham. FONTE: Flora Digital, 2019.....	39
Figura 21: <i>Calliandra tweedii</i> Betham. FONTE: Flora Digital, 2014.....	39

Figura 22: <i>Phyllanthus sellowianus</i> Muller Argoviensis. FONTE: Flora Digital, 2012.....	40
Figura 23: <i>Pouteria salicifolia</i> (Spreng.) Radlk. FONTE: Flora Digital, 2015.....	40
Figura 24: <i>Salix humboldtiana</i> Willd. FONTE: Google Imagens, 2006.....	41
Figura 25: <i>Sebastiania schottiana</i> (Mull.Arg). FONTE: Flora Digital, 2014.....	41
Figura 26: <i>Terminalia australis</i> Cambessèdes. FONTE: Flora Digital, 2007.....	42
Figura 27: Localização geográfica da Sanga da Bica. FONTE: Google Maps, 2019.....	44
Figura 28: Localização do corpo d'água Vacacaí. FONTE: Google Maps, 2019.....	45
Figura 29: Córrego da mata ciliar Sanga da Bica. São Gabriel, 2019.....	46
Figura 30: Sanga da Riveira no bairro Capiotti. São Gabriel, 2019.....	47
Figura 31: Margens do Rio Vacacaí. São Gabriel, 2019.....	49
Figura 32: Ideia de parede vegetada para aplicação nas margens do corpo d'água Vacacaí. FONTE: Mastella, 2012.....	50



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Mata Ciliar.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Cursos de água.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3</b>	<b>Legislação para Áreas de Preservação Permanente Urbanas.....</b>	<b>16</b>
<b>2.4</b>	<b>Manejo e Conservação de Corpos D'água.....</b>	<b>18</b>
	2.4.1 Manejo Passivo de Cursos de Água.....	19
	2.4.2 Manejo Ativo de Cursos de Água.....	20
<b>2.5</b>	<b>Técnicas de Bioengenharia.....</b>	<b>21</b>
	2.5.1 Obras Longitudinais.....	23
	2.5.1.1 Revestimento por Enrocamento.....	24
	2.5.1.2 Espigões Transversais.....	25
	2.5.1.3 Feixes Vivos.....	28
	2.5.1.4 Esteira Viva.....	29
	2.5.1.5 Diques de Madeira.....	30
	2.5.1.6 Parede de Krainer.....	31
	2.5.1.7 Gabião Vivo.....	33
	2.5.2 Obras Transversais.....	34
	2.5.3 Seleção de Espécies Vegetais.....	36
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>43</b>
<b>3.1</b>	<b>Caracterização da área de estudo .....</b>	<b>43</b>
<b>3.2</b>	<b>Observações e possíveis soluções.....</b>	<b>46</b>
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>49</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A vegetação tem grande importância para a estabilidade do solo e organismos inseridos dentro de um ecossistema. Onde quer que se passe diariamente, encontram-se todos os tipos de cobertura vegetal, desde pequenas herbáceas a grandes espécies arbóreas, todas com importantes papéis de interações ecológicas com outros organismos integrados em uma comunidade, sejam estas relações harmônicas ou desarmônicas. A vegetação ripária ou ribeirinha é conhecida como toda cobertura vegetal que se estende ao longo de margens de cursos de água e que têm papel insubstituível de equilíbrio hídrico, de trocas gasosas, alimento e refúgio para fauna e entre outras diversas funções essenciais para a perpetuação da natureza.

Contudo, estas áreas sofrem com o avanço da agricultura e a pecuária, que cada vez mais estão tomando espaço e causando diversos tipos de fenômenos degradantes ao ambiente, principalmente, com o avanço do crescimento urbano que se estende a áreas de preservação permanente (APP). As interações antrópicas tornam-se rotineiras e com elas, as modificações geomorfológicas deste ambiente, ocasionando corrosão de margens e deslizamentos que impactam e levam sedimentos por longas distâncias em suas águas, causando assoreamento desses cursos d'água. Ações antrópicas não são exclusivamente causadoras de modificações no ambiente, mas estão incluídas como um dos fatores que alteram a paisagem, fazendo parte do grupo de agentes exógenos, que somados ao clima, vento e a chuva, alteram significativamente a paisagem.

Processos geomorfológicos estão constantemente agindo sobre o meio, alterando a paisagem de forma temporária, formando irregularidades no solo. Devido a essas forças exógenas que agem no ambiente, entende-se porque o nosso planeta tem altos níveis de irregularidade em suas massas de terra. São essas ações que formam as grandes altitudes de quase 9000 metros como na cordilheira do Himalaia no Nepal, e profundidades no oceano que chegam a mais de 11.000 metros (DURLO; SUTILI, 2005).

Para Durlo e Sutili (2005, p. 19), a compreensão dos processos e causas que promovem movimentos de terra são primordiais no estudo das possibilidades de controle. Entendendo os fatores que alteram a paisagem, a busca por soluções para prevenção e correção dos danos ambientais vêm sendo desenvolvidas, onde técnicas envolvendo engenharia associada a materiais biológicos, inertes ou vivos, produzidas a partir de mão de obra barata, devem ser a solução para taludes fluviais desestabilizados, reintegrando o ecossistema.

A implantação de cobertura vegetal traz benefícios ecológicos indispensáveis para o ambiente, assim como descrevem Barbosa e De Lima (2012), como as condições microclimáticas, a ativação do potencial da microflora e microfauna do solo, principalmente pelo aumento da resistência ao cisalhamento, que se trata da deformação de uma superfície em questão, onde, há um reforço por meio das raízes da vegetação inserida, e por consequência, criam nichos ecológicos que incrementam a biodiversidade local. Arbustos e gramíneas ajudam fortemente no combate de erosões em taludes (encostas), onde servem como cobertura contra o vento e a água da chuva (LEWIS, 2000). De maneira geral, a água sempre estará associada às mudanças geomorfológicas de taludes fluviais em conjunto com outros fatores.

Este trabalho tem por objetivo trazer a revisão de técnicas de bioengenharia, visando a possibilidade de aplicação futura, em três trechos degradados do Rio Vacacaí em área urbana, denominados como Sanga da Bica, Sanga da Riveira e Vacacaí principal, no município de São Gabriel – RS. Além disto, o trabalho conta com observações em relação aos aspectos legais vigentes sobre Áreas de Preservação Permanentes.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Mata Ciliar

Para SEMA (2019), mata ciliar é toda formação vegetal que ocorre em margens de rios, lagos, represas e córregos, que reduz o assoreamento dos rios, deixa a água limpa e possibilita que as espécies, sejam elas da flora ou da fauna, possam se deslocar e reproduzir, garantindo a biodiversidade local.

As faixas de vegetação que recobrem encostas e margens de todo curso de água, compostas por uma comunidade de espécies botânicas, nativas e/ou exóticas, que juntas caracterizam-se por mata ciliar, zona ripária ou área ribeirinha, torna-se um conjunto de ferramentas da natureza para a proliferação da diversidade ecológica.

Diante a lei Nº 12.651 de 2012, também conhecida como o novo Código Florestal, entende-se como mata ciliar uma área de preservação permanente (APP) que deve ser preservada, área que não se deve construir, cultivar ou explorar economicamente. As áreas ciliares assim que impactadas por ações antrópicas, é obrigatoriamente dever do civil responsável, com auxílio de um técnico ambiental, fazer a imediata reparação ao dano, propondo projetos capazes de restaurar o ambiente afetado (BRASIL, 2012).

Mata ciliar pode ser descrita também como a vegetação existente ao longo de rios, que funciona como obstáculo natural para escoamento das águas que ficam retidas e são absorvidas pela mata que evita que as partículas de sólidos em excesso, sejam armazenadas no leito dos rios (SANTOS, 2008).

Estudos feitos por Campagnolo et al (2018) ressaltam que a vegetação ciliar atua em busca da conservação das águas e dos solos, porém, essa interferência pode ser positiva ou até mesmo negativa para a estabilidade do sistema, que depende quase que exclusivamente das condições da mesma e da própria vegetação. Os mesmos autores complementam que as margens ou taludes fluviais, apresentam geometria inclinada de acordo com o leito do curso

de água, o que o torna frágil, a grande influência do fluxo que o recobre, originando erosões.

Mata ciliar está intimamente ligada com diversidade ecológica, seja de plantas ou de animais e fungos, pois suas sementes servem de alimento, as copas de abrigo e os cursos de água fazem o trajeto para o grande corredor ecológico que interliga uma vasta variedade de organismos que interagem entre si.

Entretanto, Bianchini et al (2003), explicam que a fisionomia, a estrutura e composição específica das matas ciliares são potencialmente influenciadas por mudanças temporais e espaciais de qualquer condição adversa ambiental, onde, em determinadas áreas, apresenta diferenças na microtopografia, alterando as espécies que ocorrem em depressões e que toleram longos períodos de alagamento até espécies de ambientes méxicos.

Ações de origem endógenas, caracterizadas por exemplo como movimentos de placas tectônicas, vulcanismos e outros, são ações incapazes de serem manipuladas pela humanidade, porém, ações de origem exógenas, como a água da chuva e até mesmo a ação antrópica também caracterizada como um dos agentes, dentro de certos limites, o homem poderá interferir, positivamente ou negativamente. Não se consegue mudar o clima e a geologia, como afirmam Durlo e Sutili (2005), mas podemos influenciar certas características locais nas margens e leito, principalmente com técnicas de bioengenharia, como o uso de vegetação, que tem o poder de mudar processos fluviais e eventuais problemas ligados a este.

## 2.2 Corpos d'água

A água é caracterizada como o líquido mais precioso e necessário para todo tipo de vida existente no planeta, cobrindo grande parte da Terra e os fluídos dos seres vivos. Uma das poucas substâncias que encontramos em três estados físicos: gasoso, líquido e sólido. A partir dos dados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2019), estima-se que 97,5% da água na Terra seja salgada e imprópria para o consumo, e os 2,5 % de água doce restantes, mais da metade (69%) é de difícil acesso, 30% são águas subterrâneas e 1% é as águas que correm pelos rios.

Estudos indicam o Brasil como o país mais rico em recursos naturais do mundo, dentre eles, segundo Bicudo et al (2010), têm-se os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, que são aproximadamente 14% da água doce do mundo.

Apesar de apresentar dados significativos de abundância, as águas brasileiras não são infinitas e nem atingem toda a população do país, como explica o Ministério do Meio Ambiente. As mudanças de vazão dos rios e as características geográficas locais, que dependem exclusivamente do ecossistema de cada região, acabam afetando a distribuição fluvial para a população (BRASIL, 2019 b).

De maneira geral, a maior porcentagem de água doce disponível no Brasil está situada na Região Amazônica, com um total de 73% conforme os dados do Ministério do Meio Ambiente que mostram o Norte e Centro-oeste no topo, com 68,5% e 15,7%, respectivamente, a Região Sul com 6,5%, Sudeste com 6% e Nordeste com 3,3% (BRASIL, 2019 b).

O Brasil é composto por uma grande rede hidrográfica, que é composta por seus rios e todos afluentes e subfluentes ligados que se dividem por 12 regiões principais, em nível nacional, conforme a Agência Nacional de Águas (ANA, 2019) são elas:

- Bacia Amazônica;

- Bacia Tocantins - Araguaia;
- Bacia do Paraguai;
- Bacia Atlântico Nordeste Ocidental;
- Bacia Atlântico Nordeste Oriental;
- Bacia do Paraná;
- Bacia do Parnaíba;
- Bacia do São Francisco;
- Bacia do Atlântico Leste;
- Bacia do Atlântico Sudeste;
- Bacia do Atlântico Sul;
- Bacia do Uruguai.

O estado do Rio Grande do Sul tem em seu território duas grandes bacias hidrográficas importantes: a Bacia do Uruguai e Bacia do Atlântico Sul. Estas se dividem em três Regiões Hidrográficas de nível estadual, distintas por fins de gerenciamento das unidades administrativas, sob a Lei Estadual 10.350/1994, conforme mostra a figura 1:

- Região Hidrográfica do Uruguai;
- Região Hidrográfica do Guaíba;
- Região Hidrográfica do Litoral.



Figura 1: Localização da Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí – Vacacaí Mirim. FONTE: SEMA, 2019.

As três Regiões Hidrográficas são subdivididas em 25 Bacias para o estado do RS a partir do Decreto nº 53.885 de 18 de janeiro de 2017, com a

previsão de instalação de 25 comitês administrativos, para fins de gestão dos recursos hídricos, outorga e tarifação, conforme SEMA (2018). Os rios Vacacaí e Vacacaí – Mirim localizados na Bacia Hidrográfica do Guaíba, abastece a cidade de São Gabriel, percorrendo ainda pelas cidades de São Sepé, Santa Maria, Itaara, Restinga Seca, conectando-se as águas da nascente do Rio Jacuí, em Passo Fundo (FEPAM, 2019).

O uso das águas destes dois rios tem como fins principalmente a agricultura, pecuária e abastecimento público. A agricultura, que necessita da irrigação, principalmente no cultivo de arroz, é a que mais consome os recursos hídricos em nível mundial. Além dos fatores de exploração dos recursos naturais, dos padrões socioeconômicos, o impacto e a degradação ambiental nas bacias hidrográficas acelera com o crescimento populacional dentro do limite das APPs, onde tais desenvolvimentos têm gerado grande desequilíbrio dos padrões que regem as políticas públicas de preservação ambiental (CRISPIM; SOUZA, 2016).

### **2.3 Legislação para Áreas de Preservação Permanente Urbanas**

As Áreas de Preservação Permanente (APPs) foram instituídas pelo Novo Código Florestal, Lei nº 12.651 de maio de 2012, que dispõem sobre a proteção de toda vegetação, bem como da biodiversidade, do solo, dos recursos hídricos e da integridade do sistema climático [...], consistindo-se de expansões territoriais legalmente protegidas, ambientalmente frágeis e com vulnerabilidade ecológica, sendo áreas urbanas ou rurais, vegetações nativas ou exóticas, podendo ser públicas ou privadas (BRASIL, 2019 c).

O Código Florestal expressa a finalidade das APP como a “manutenção da estabilidade ecológica, da qualidade dos recursos hídricos, da biodiversidade e a promoção do bem-estar da população [...]”. Entretanto, não traz alterações benéficas à estas áreas situadas dentro de zonas urbanas, perfazendo as mesmas tensões de aplicação e ausência de normas que



regulamentem a proteção e o equilíbrio idealizado na constituição (SILVA, 2019).

Com isto, o crescimento urbano sem planejamento adequado traz efeitos indesejáveis para as APP em áreas urbanas, desestruturando e degradando cursos de água e promovendo a poluição solo, onde construções irregulares são produzidas ultrapassando o limite permitido, causando graves impactos à valorização da paisagem e do patrimônio natural da cidade.

Desta forma, uma nova proposta para projeto de Lei 2510/19 pretende corrigir uma inadequação do Código Florestal que mantém fixa os limites de APP iguais para zonas rurais e urbanas, onde admite intervenção e supressão de vegetação nativa somente em possíveis utilidades públicas, de cunho social ou de baixo impacto ambiental. Assim, a nova proposta deve atribuir responsabilidade aos Planos Diretores de cada cidade para definir os limites das APP em áreas urbanas, onde o limite das faixas marginais de qualquer curso d'água natural delimitam o trecho de passagem de inundação, logo, poderão ter a largura determinada pelas normas municipais (BRASIL, 2019 a).

A relevância que tornou este projeto para ser estruturado, é devido à vetoção da Medida Provisória nº 571, de maio de 2012, onde foram retirados os parágrafos que davam autoridade aos municípios para ministrar os assuntos relacionadas à APP em zonas urbanas do Código Florestal (ANTUNES, 2015).

A cidade de São Gabriel é composta por ramificações do corpo d'água Rio Vacacaí que percorre por partes da zona urbana, onde parte da população se instalou de forma irregular em suas encostas e de suas sangas, construindo dentro dos limites de APP propriamente dita, ignorando ou desconhecendo os deveres e as obrigações da legislação ambiental.

Este rio tem grande importância para o município devido a história da expansão urbana relacionadas à suas sangas, que serviram como fonte de abastecimento para a chegada da nova povoação após a batalha de Caiboaté. Esta batalha foi marcada pela morte do guerreiro Sepé Tiarajú, nas margens da Sanga da Bica, que dois séculos depois foi tombada como

Reserva Biológica Nativo-Exótica, sob Lei municipal nº 1.774 de 1991, ficando sob responsabilidade da Secretaria Municipal da Saúde e Meio Ambiente deste município (SAO GABRIEL, 1991).

## **2.4 Manejo e conservação de corpos d'água**

Rios são organismos vivos e naturais como qualquer outro, que necessitam de atenção e cuidados, onde, qualquer tipo de intervenção, terá impacto ambiental e se integrará rapidamente com o meio circundante (MACCAFERRI, 2015).

Ações de conservação da água e do solo são de fundamental importância para a gestão dos recursos hídricos. Mudanças de reparação ambiental em médio e longo prazo, são capazes de mudar significativamente ambientes impactados por agentes endógenos e/ou exógenos.

Nas últimas décadas, o processo de desenvolvimento nas bacias hidrográficas brasileiras revela os mais fortes e amplos impactos ambientais, tais como descrevem Dos Santos e Romano (2005):

- a) Crescimento desordenado da urbanização e industrialização, a partir da década de 1950;
- b) Produção de carvão, elevando o desmatamento;
- c) Uso excessivo do solo na agricultura, eliminando grande parte da vegetação nativa dos biomas;
- d) Construções de represas para geração de correntes hidroelétricas, alterando o regime hídrico do rio.

Tendo estes como os principais fatores de degradação hidroambiental das bacias brasileiras, os parâmetros da sustentabilidade devem ser considerados no processo de conservação e preservação das águas e do solo.

O processo de organizar e orientar o uso dos recursos hídricos e do solo de uma bacia hidrográfica, chama-se manejo de cursos de água, que normalmente envolve ações e práticas não-estruturais e estruturais

(bioengenharia). Em práticas não-estruturais, basicamente, trata-se do cessamento de atividades degradadoras, exercer ações de educação ambiental e promover a regeneração da cobertura vegetal.

Com o uso de estruturas da bioengenharia em processos de tratamento de cursos de água, deve-se seguir os princípios da manutenção morfológica típica deste canal e da dinâmica das águas e ao mesmo tempo buscar a implantação, o desenvolvimento e o tratamento com vegetação adequada para o lugar, sempre tendo em vista a proteção dos rios, assim como Schiechtl e Stern (1997) apud Schmeier (2012) explicam.

Durlo e Sutili (2005) exemplificam dois métodos de forma genérica, para o manejo de cursos de água:

- Manejo passivo;
- Manejo ativo.

Para o manejo passivo, enquadra-se ações preventivas feitas para a bacia hidrográfica como um todo, sempre visando o controle dos cursos de água. No segundo grupo, o manejo ativo, as ações são direcionadas a áreas pequenas, onde o problema se concentra e se torna mais agudo, que inclui a limpeza das águas, o recapeamento vegetal das bordas e as obras de bioengenharia (DURLO; SUTILI, 2005).

Nos casos que se busca a estabilidade de taludes fluviais (encostas), quando se opta pela redução da velocidade da correnteza, como Sutili (2004) apud Schmeier (2012) propõem, o potencial erosivo diminui e conseqüentemente aumenta a resistência do talude.

#### 2.4.1 Manejo passivo de cursos de água

Pela atual legislação do Código Florestal Nº 12.651 de 25 de maio de 2012, que estabelece normas gerais sobre a proteção da vegetação e de áreas de preservação permanente, descreve no artigo 4º que se deve respeitar o isolamento de faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, em uma distância mínima de:

- a) 30 metros para os cursos d'água de menos de 10 metros de largura;
- b) 50 metros para os cursos d'água que tenham 10 a 50 metros de largura;

- c) 100 metros para os cursos d'água que tenham de 50 a 200 metros de largura;
- d) 200 metros para os cursos d'água que tenham de 200 a 600 metros de largura;
- e) 500 metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 metros (BRASIL, 2012).

O isolamento de faixas marginais sempre será uma boa solução, em casos não extremos, para a estabilidade contra erosões das mesmas. Principalmente quando a vegetação local é vital e agressiva, como Durlo e Sutili (2005) destacam, pois, a vegetação terá capacidade de se dispersar e superar as condições adversas que costumam ocorrer nas margens dos cursos de água, promovendo o sucesso da atividade de recuperação.

A proteção da vegetação originada da regeneração do local, basicamente por espécies pioneiras, que são adaptadas às limitações do ambiente degradado, criando condições adequadas de microclima e solo para o estabelecimento de outras plantas como gramíneas e herbáceas (ALMEIDA, 2016). A proteção da vegetação implica no compromisso de não promover roçadas e capinas no local, nem mesmo o uso de agrotóxicos próximo ou na faixa de isolamento. Com a adaptação destas plantas, a sucessão ecológica fará o restante. Durlo e Sutili (2005) ressaltam que as gramíneas são responsáveis pela cobertura superficial e as herbáceas promovem o surgimento de plantas maiores, o que as tornam boas protetoras e estabilizadoras de áreas em recuperação.

#### 2.4.2 Manejo ativo de cursos de água

No manejo ativo dos cursos de água, realiza-se uma limpeza efetiva da água, retirando não somente o lixo acumulado pela população, pedras e entulhos, mas também animais nocivos à saúde hídrica, como ratos, mosquitos, baratas (SILVA e NOGUEIRA, 2004).

Além da limpeza minuciosa do leito, em áreas altamente degradadas, a indução de recapeamento vegetativo é importante. Plantas inseridas ativamente através da semeadura ou plantio de espécies com crescimento

rápido, podem melhorar as condições do ambiente para estabelecimento futuro de sucessão ecológica.

Para recapeamento a poucos metros das margens do leito, Durlo e Sutili (2005) indicam o uso de espécies não-arbóreas. Somente a uma distância fora da área marginal poderá ser utilizado espécies arbóreas de maior porte, proporcionando assim faixas florestais às margens de cursos de água, protegendo e colaborando com o ecossistema.

## **2.5 Técnicas de Bioengenharia**

Bioengenharia trata-se para vários autores como a construção a partir de materiais inertes associados a vegetação viva para o controle e estabilidade de taludes fluviais ou margens de rios propensos a erosão e intemperismo. (DURLO; SUTILI, 2005; PINTO, 2009; SCHMEIER, 2012).

Também são chamadas de obras hidráulicas longitudinais e transversais, que são basicamente barreiras físicas ao longo de margens de barragens, diques e açudes. Para Durlo e Sutili (2005), o conhecimento das exigências e características biológicas da vegetação, principalmente a sua capacidade de solucionar problemas técnicos na estabilidade de encostas, combinado com construções de obras simples, caracteriza-se por bioengenharia, ou construção verde/viva. Além disso, os autores explicam que, se espera, que a vegetação desencadeie sucessões ecológicas naturais nos solos erodidos, a fim de promover o mais breve possível os efeitos de proteção.

Pinto (2009) cita as características vantajosas do uso da bioengenharia para o reparo ambiental:

- a) Menor utilização de máquinas e mais mão de obra simples;
- b) Utilização de materiais naturais e até mesmo matérias existentes no local, como troncos e pedras;
- c) Menor perturbação ambiental;
- d) Características de auto-reparação de acordo com a habilidade da cobertura vegetal em propagação;

- e) Locais de difícil acesso para entrada de maquinários, onde as obras biotécnicas podem ser a única alternativa;
- f) Retenção de umidade gerando aumento da estabilidade de encostas.

Ao decorrer dos anos, o aumento da necessidade da recuperação de ambientes naturais em estado de degradação, sejam decorrentes pelo próprio clima ou por ações antrópicas, vem aumentando gradativamente conforme a consciência de preservação ambiental na sociedade. A partir disso, buscas por metodologias que envolvessem obras simples, com efetividade e baixo custo para a reparação a longo e curto prazo dos danos foram sendo estudadas e comparadas a soluções tradicionais de engenharia. Para solucionar problemas de origem fluvial é fundamental que se conheça os fatores que ocasionam os efeitos erosivos e de deslizamentos no ambiente, que podem ser de origem hidráulica, por ação da correnteza e ondas, ou de instabilidades geotécnicas.

Pesquisas mostram técnicas baseadas no uso de plantas, que são utilizadas desde as civilizações antigas, onde registros mostram chineses produzindo obras biotécnicas há 200 anos atrás, onde gravetos eram utilizados para estabilizar encostas de rios. Um século mais tarde, a China passou a utilizar técnicas semelhantes para controlar erosões e inundações. Após o fim da segunda guerra mundial, com o avanço da tecnologia e construções de maquinários pesados, as obras biotécnicas praticamente desapareceram na área de recursos hídricos (SILVA; TAKADA; ESPOSI, 2017).

No Brasil, a bioengenharia é ainda algo recente e pouco empregada, com poucos trabalhos que destaquem as características de plantas qualificadas para o uso seguro das obras biotécnicas em solos erodidos (DURLO; SUTILI, 2005). De acordo com os mesmos autores, para a aplicação das obras de bioengenharia no ambiente é necessário primeiramente dividi-lás em dois grupos: as obras longitudinais e as obras transversais.

### 2.5.1 Obras longitudinais

A remodelagem das margens de cursos de água é um trabalho preparatório, primordialmente necessária para o início das obras biotécnicas que serve para prevenção e correção dos danos. Barrancas abruptas nas encostas de cursos de água, não permanecem estáveis por muito tempo, pois de acordo com a pressão do movimento da água sobre a mesma, ocasiona rompimentos e deslizamentos de seus sedimentos (DURLO; SUTILI, 2005). Logo, a remodelagem na declividade da barranca (figura 2) é suficiente para a prevenção de futuros danos, além de que, com a menor inclinação, proporciona melhores condições para a sucessão natural de cobertura vegetal de ação protetora.

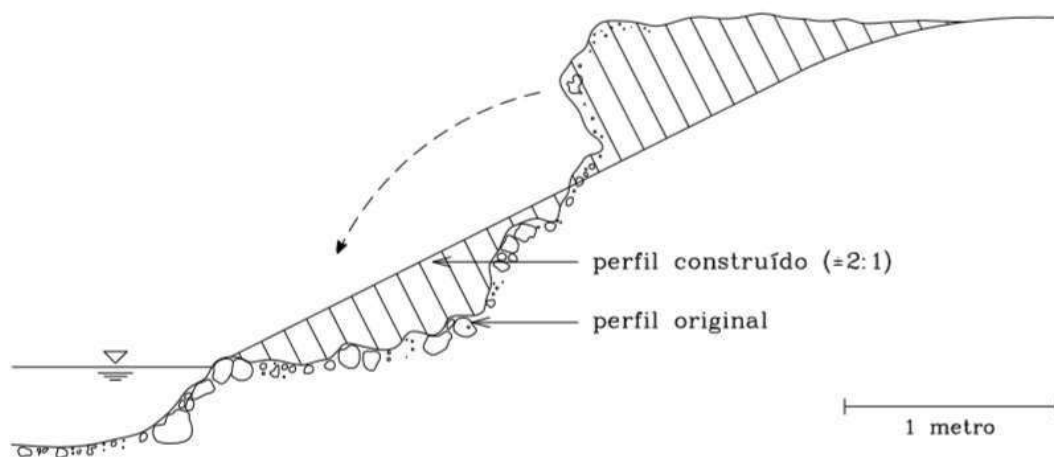


Figura 2: Remodelagem da barranca como ação corretiva e preventiva. Fonte: Durlo e Sutili (2005).

Os autores Durlo e Sutili (2005) explicam que a desestabilidade de taludes fluviais é potencialmente perigosa e que as remodelagens preventivas não devem ser feitas em períodos de enchentes. O período ideal visto por estes pesquisadores se dá entre épocas de chuvas normais e seca, pois assim dará tempo para a massa movimentada criar uma certa compactação no ambiente.

Em casos que necessitam de técnicas emergenciais, os mesmos autores indicam o uso de galhos, troncos e até mesmo árvores inteiras

fixadas com pedregulhos para a estabilização de locais propensos à corrosão de margens, como mostra a figura 3.

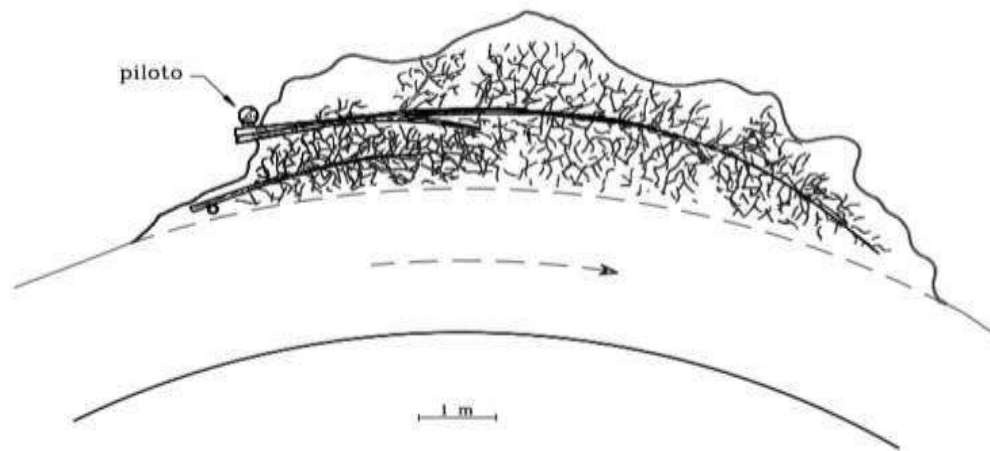


Figura 3: Desenho esquemático de ação emergencial para margem sob ação corrosiva.  
Fonte: Durlo e Sutili (2005).

As obras longitudinais podem ser classificadas como obras pesadas e leves, onde as pesadas basicamente são utilizadas como contenção para estabilizar ativamente uma margem natural, já as leves, são utilizadas para revestir margens de forma a protegê-las de futura erosão e deslizamentos, seja esta margem natural ou artificial, que já esteja em estado estável (MACCAFERRI, 2015).

Os materiais que são utilizados nas obras biotécnicas são preferencialmente os encontrados no local degradado e nas suas redondezas, para fins de reciclagem de material, economia e limpeza da paisagem. Materiais inertes como troncos de árvores, galhos, pedregulhos e até mesmo os materiais vivos serão utilizados para a cobertura vegetal.

#### 2.5.1.1 Revestimento por enrocamento

Os revestimentos de taludes com pedras ou blocos artificiais ao decorrer dos cursos de água são chamados de proteção por enrocamento, que podem ser lançadas ou arrumadas e que irão variar com a acessibilidade ao local de



erosão, sendo lançadas quando houver dificuldade de acesso, utilizando uma quantidade maior de material, ou arrumado, com uma quantidade inferior de material, porém com um aumento de mão de obra, em local de fácil acesso (figura 4).

Há a possibilidade de obras de revestimento de taludes por enrocamento sintético, que se trata de bolsas preenchidas com areia, concreto, argamassa e também solo-cimento, normalmente produzidas “in loco” (HOTTA, 2009).



Figura 4: Revestimento por enrocamento no Rio Potengi em Natal, Brasil. FONTE: Google Imagens.

#### 2.5.1.2 Espigões transversais

Os espigões transversais, apesar do nome, são obras feitas no sentido longitudinal das margens de cursos de água (figura 5), onde se assemelham a barragens, atravessando até o eixo de escoamento, fortalecendo o decorrer de suas margens. Os espigões transversais são classificados por suas porções, onde a ponta que fica fixa as bordas das margens são chamadas de pé do espigão

transversal, a ponta oposta que fica entre o leito do curso de água, chama-se cabeça do espigão (DURLO; SUTILI, 2005).

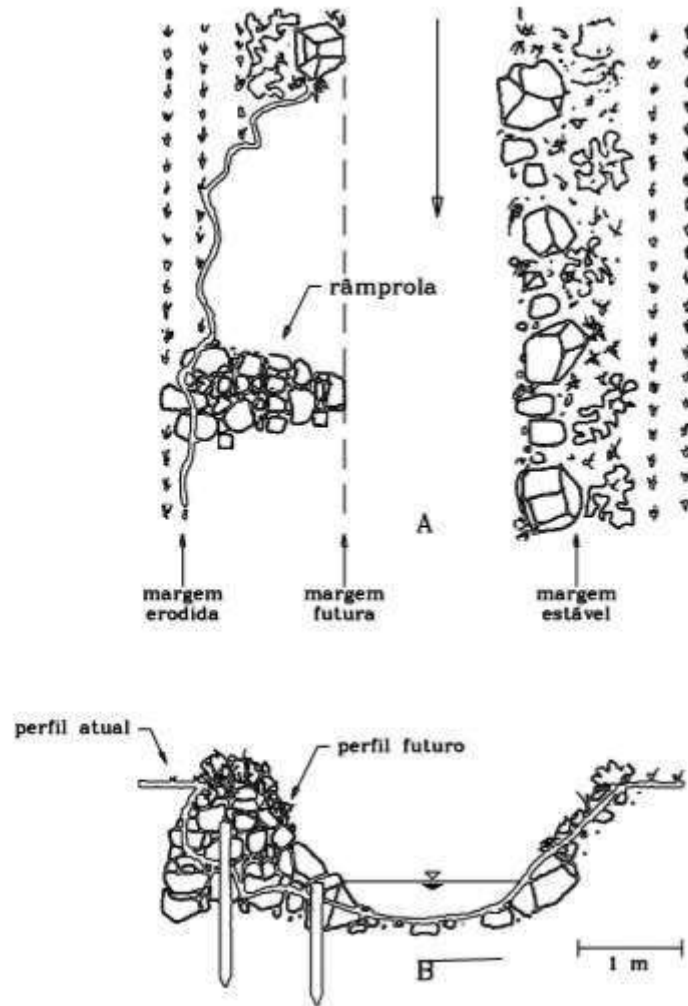


Figura 5: Modelo de espigões transversais. Vista superior (A), vista frontal (B). FONTE: Durlo e Sutili (2005).

A finalidade da implantação de espigões transversais em encostas de cursos de água é justamente para estabilização e aumento da margem deste, pois as estruturas são implantadas em paralelo uma da outra, em distâncias consecutivas em relação ao eixo do escoamento e podendo ser instaladas em três posições, de acordo com Durlo e Sutili (2005):

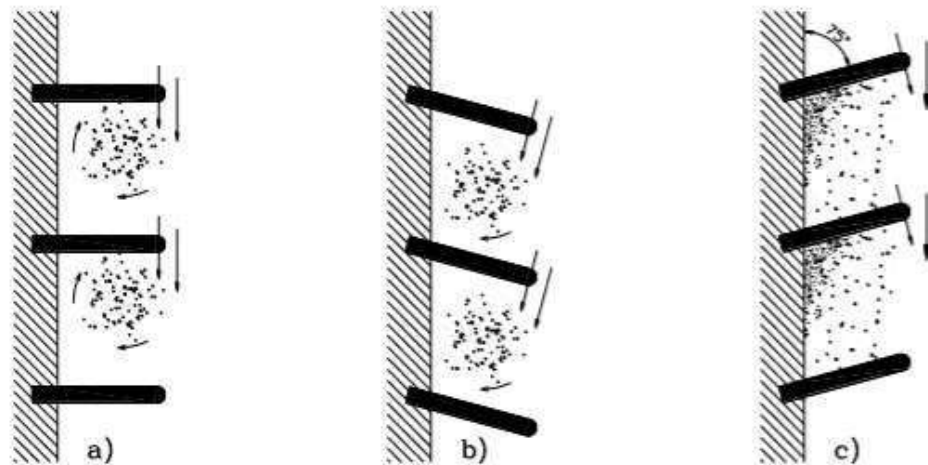


Figura 6: Posições para implantação de espigões transversais: a) perpendicular, b) Declinante e c) inclinante. FONTE: Durlo e Sutili (2005).

A implantação dos espigões influencia na velocidade da correnteza da água e retêm materiais que estão percorrendo livres no curso. A posição destas estruturas favorece o depósito de materiais que podem variar de materiais que poderão auxiliar na produção da nova margem a materiais inorgânicos poluidores. Os autores explicam que os espigões perpendiculares favorecem o depósito intermediário e as declinantes aumentam o depósito junto à margem e próximo ao espigão seguinte. O espigão que mais favorecerá a deposição é o inclinante, pois se encontra em posição contrária a correnteza do escoamento, favorecendo o depósito junto ao pé do espigão (figura 6). A distância de um espigão para o outro indicada pelos autores, deve ser quatro vezes maior que o comprimento do mesmo (DURLO; SUTILI, 2005).

Os espigões podem ser construídos a partir de materiais vivos, como cobertura vegetal, ramos vivos, estacas ou o conjunto destas fixadas com blocos de pedras e galhos ou troncos de árvores (figura 7). Após implantados os espigões iniciará o processo de depósito de materiais em sua base, promovendo um tipo de revestimento ao longo da margem.



Figura 7: Espigão feito a partir de enrocamento e pilares de madeira, Rio Arkansas. FONTE: Brighetti e Martins (2001).

Deve se levar em consideração as características dos espigões, podendo eles serem impermeáveis, que modificam a direção da correnteza, onde estes normalmente suportam impactos menores de correnteza. Podem ser compactos, que são mais resistentes ao fluxo de escoamento. Quanto a declividade da crista do espigão para dentro do leito, deve se ter uma elevação ao pé do espigão e ir aprofundando em direção ao eixo do leito (BRIGHETTI e MARTINS, 2001).

#### 2.5.1.3 Feixes vivos

Feixes produzidos a partir de ramos potencialmente propensos a desenvolvimento no solo (figura 8), envoltos com fibras vegetais, em forma de cilindros dispostos à margem, servem como revestimento da margem e futura ramificação de cobertura vegetal após enraizamento no local (DURLO e SUTILI, 2005).



Figura 8: Feixes vivos prontos para aplicação. FONTE: Ecosalix (2016). Disponível em: <<http://ecosalix.pt/faxina-viva>>

#### 2.5.1.4 Esteira viva

A esteira viva basicamente consiste em madeiras dispostas uma ao lado da outra e fixadas perpendicularmente, podendo ser pequena feitas a partir de taquaras, arames ou toras maiores de árvores, dispostas sobre um talude (Figura 9). A esteira servirá de apoio à ramos vivos que serão inseridos no solo em intermédio a suas madeiras. A esteira viva é uma forma de intervenção física e de solução vegetativa, pois servirá de proteção na encosta do talude assim que instalada e estabilizará assim que iniciar o enraizamento dos ramos, como mostra a figura 10 (DURLO; SUTILI, 2005).

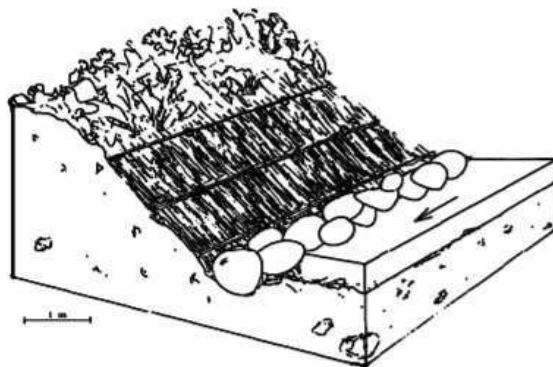


Figura 9: Modelo proposto do efeito esperado de esteira viva. FONTE: Durlo e Sutili (2005).



Figura 10: Modelo real aplicado de esteira viva. FONTE: Ecosalix (2016). Disponível em: <<http://ecosalix.pt/esteira-viva/>>.

#### 2.5.1.5 Diques de madeira

Os diques são estruturas de madeira em formato de cerca não-contínua, que são fixadas ao longo das margens, basicamente usados como proteção física, porém, não são aderidos diretamente aos taludes, mas sim usados como condutores do fluxo de escoamento do leito (Figura 11). Os diques podem ser inseridos sozinhos ou juntos com enrocamento, dependendo do fluxo de correnteza.



Figura 11: Dique de madeira. FONTE: Petersen (1981) apud Brighetti e Martins (2001).

Na figura 10, o dique de madeira junto com enrocamento na base, auxilia na condução da correnteza do leito, impedindo que a água ultrapasse a curva do curso de água. Após a contenção da barreira, podem ser inseridas estacas vivas entre as madeiras do dique, com futuro enraizamento no mesmo.



Figura 12: Diques na estabilidade de terrenos íngremes. FONTE: Ecosalix (2016). Disponível em: <<http://ecosalix.pt/palica-da-viva>>.

Diques podem ser utilizados também na estabilização de terrenos em declínio. Como na figura 12, os diques de troncos de madeira tem ação anti-erosivas, com rápido efeito de estabilização e arranjos paisagísticos (ECOSALIX, 2016).

#### 2.5.1.6 Parede de Krainer

Este método de bioengenharia, juntamente com a técnica de esteira viva, é um dos mais utilizados por autores em trabalhos de estabilização e recuperação de ambientes vulneráveis à erosão e deslizamentos, devido ao fato de não somente agir como barreiras estáveis, mas também por fazer o processo de revegetação de taludes.

A Parede de Krainer ou Parede Revegetada é constituída de madeiras que são inseridas entre o talude fluvial e intercaladas por troncos de árvores no sentido longitudinal ao fluxo do escoamento, como mostra a figura 13.



Figura 13: Construção de Parede de Krainer em um talude fluvial. FONTE: Sutili (2007) *apud* Pinto (2009).

Entre a intercalação das madeiras da parede, são inseridas estacas vivas (figura 14) que assumiram o posto de contenção e estabilização do talude após o apodrecimento dos troncos (DURLO; SUTILI, 2005; PINTO, 2009).

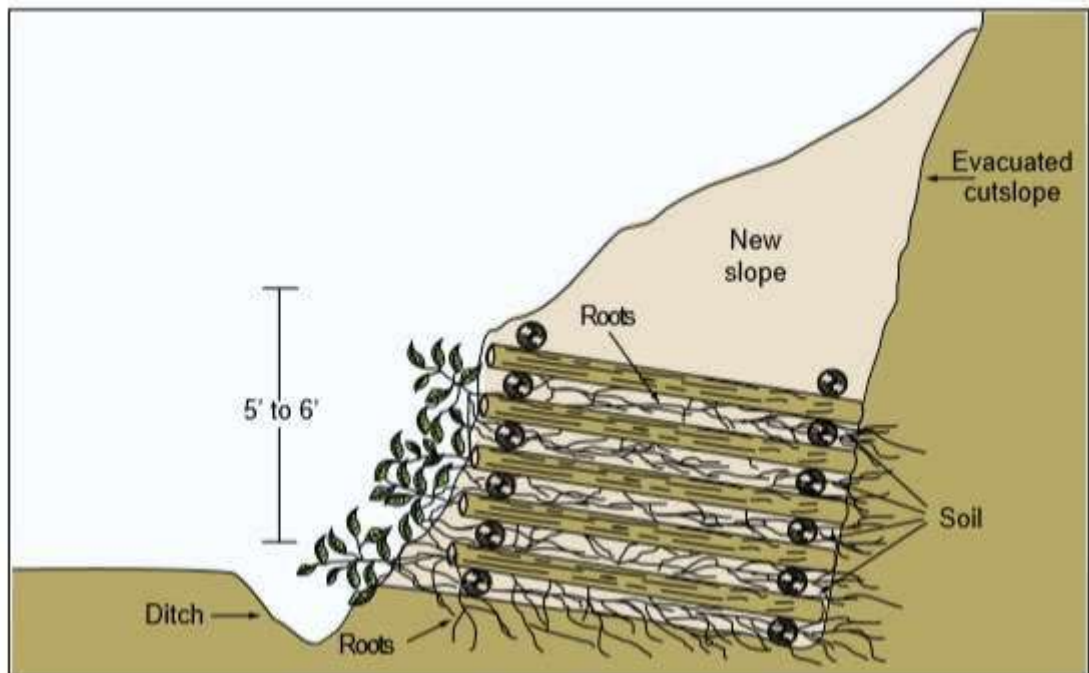


Figura 14: Modelo da Parede de Krainer finalizada com enraizamento. FONTE: Lewis (2001).



Para os autores Durlo e Sutili (2005), a técnica de Parede de Krainer fora eficaz em “resolver problemas com grau de dificuldade razoável, mantendo o talude estável em um ângulo bastante alto e suportando eventos torrenciais de proporções catastróficas” onde fora utilizada em um estudo de caso no Arroio Guarda-Mor, situado entre regiões fisiográficas do Planalto e Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul. Neste local onde a instabilidade do trecho resultava da ação da água e por excesso de peso de touceiras de taquaras (*Bambusa tuldooides*) na parte superior do talude, que juntamente ao efeito do vento, proporciona uma ação de alavanca e enfraquecimento do talude (DURLO; SUTILI, 2005, p 181).

#### 2.5.1.7 Gabião vivo

Os gabões são rotineiramente utilizados na engenharia civil para contenção, geralmente em estruturas sujeitas a empuxo. Se tornam flexíveis permeáveis e extremamente resistentes. Normalmente são produzidos a partir de malhas de aço e preenchidos com todo tipo de material anti-corrosivo. Nas obras biotécnicas, o gabião fora reestruturado o mais sustentável e econômico possível.



Figura 15: Gabião vivo em defesa longitudinal de talude. FONTE: Ecosalix (2016). Disponível em: <<http://ecosalix.pt/gabiao>>.

O gabião vivo é produzido por um revestimento de malha hexagonal, em formato de caixa retangular, preenchido com pedras e estacas vivas com disposição irregular entre as pedras (figura 15). Pode ser feito a partir de materiais encontrados no local em uma execução rápida e simples (ECOSALIX, 2016).

### 2.5.2 Obras transversais

As obras transversais são obras que estão dispostas atravessando o leito de cursos de água, com a mesma finalidade que as obras longitudinais, garantir a estabilização do solo, a consolidação e a sua retenção. A estabilização e a consolidação são obtidas através do alargamento do fundo do leito por intermédio de uma estrutura física que seja resistente e bem fixada transversalmente ao escoamento do leito, que impedirá a escavação da profundidade (DURLO; SUTILI, 2005).

Os autores sugerem um exemplo eficiente para aplicação nas obras transversais, o cinto basal saliente, que é constituído a partir de uma estrutura pesada, fixada ao fundo do leito e elevada ao escoamento natural, formando um represamento à montante da torrente e uma pequena queda de água à jusante.

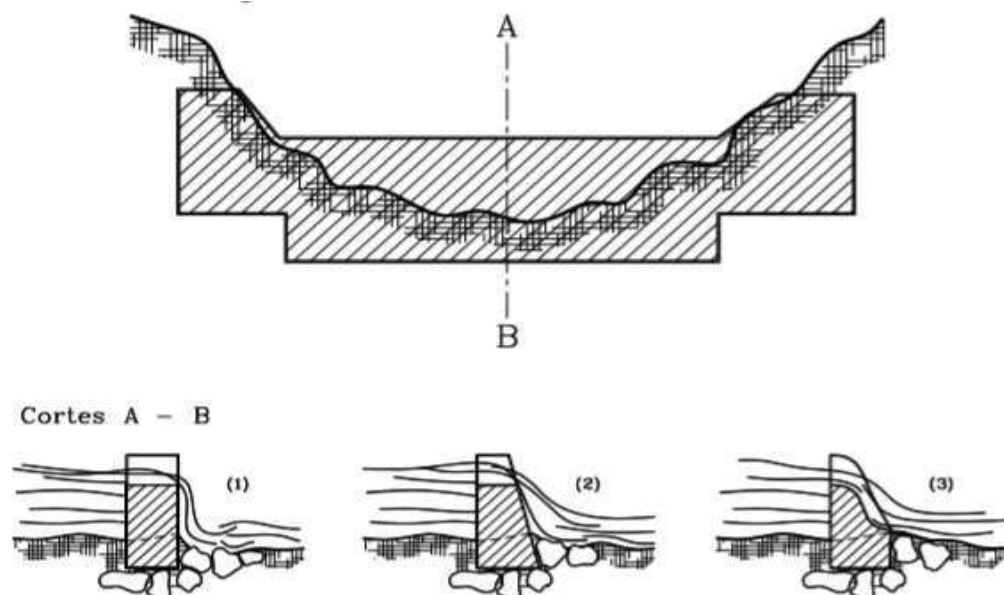


Figura 16: Cinto basal saliente. (1) cinto retilíneo, (2) cinto inclinado e (3) cinto sinoidal.  
 FONTE: Durlo e Sutili (2005).

Os tipos de cintos podem ser construídos com blocos de pedras e madeiras e normalmente não passam de 1,5 m de altura (figura 16). O cinto basal saliente pode ser complementado com um cinto basal simples à jusante da torrente, evitando erosão na caída do escoamento, como mostra a figura 17 (DURLO; SUTILI, 2005).

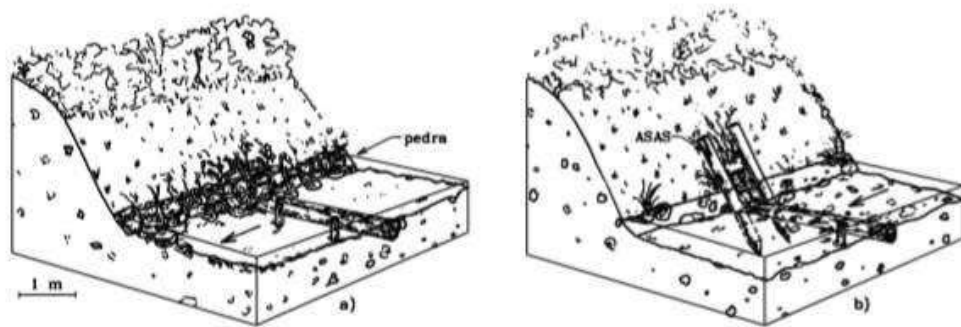


Figura 17: Cinto basal simples de madeira, aplicado como complemento do cinto basal saliente. FONTE: Durlo e Sutili (2005).

Neste caso de cinto basal é algo mais simples, compondo-se de tronco de árvore enterrado transversalmente ao leito, com as pontas fixadas nas barrancas. Se necessário, poderá ser fixado reforços laterais chamados de “asas”, podendo esse reforço ser constituído por pedras ou por estacas presas ao cinto (DURLO; SUTILI, 2005).

Os problemas de desestabilizações causadas por correntes de água nem sempre são erosões e deslizamentos, mas também deposições que podem ser retidas por obras transversais.

Segundo Durlo e Sutili (2005), a capacidade de retenção de uma barragem é limitada, pois irá variar de acordo com a quantidade de materiais transportados, o tamanho dos materiais transportados e da capacidade de suporte da barragem.

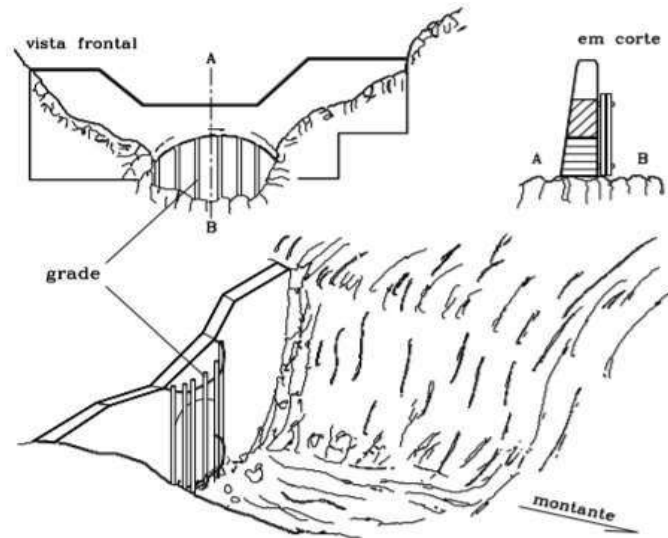


Figura 18: Barragem de retenção de materiais. FONTE: Durlo e Sutili (2005).

As grades de retenção irão variar a distância intermediária de acordo com o tipo de leito e os materiais que este transporta (Figura 18).

### 2.5.3 Seleção de Espécies Vegetais

As plantas desempenham um grande papel na proteção do solo, principalmente pelo poder de sistema radicial, que fortifica as massas de terra e os efeitos físicos da mesma. Entretanto, nem sempre os efeitos da cobertura vegetal são benéficos, pois se origina uma sobrecarga vertical sobre o talude que associado ao vento, intensifica a tensão, enfraquecendo-o talude (DURLO; SUTILI, 2005).

A vegetação auxilia no ciclo hidrológico, fato extremamente importante de um ecossistema, onde interfere na infiltração do solo e especialmente no ancoramento mecânico dos taludes fluviais (MASTELLA, 2012). Logo, a escolha das espécies para as obras biotécnicas deve atender aos requisitos decisivos para a proteção do talude contra os processos erosivos.

Entretanto, deve haver conhecimentos técnicos que abrangem noções climáticas, edáficas, fisiológicas e ecológicas das espécies a serem inseridas (PEREIRA, 2011 apud MASTELLA, 2012, p 36.).

Diversas plantas possuem características que podem controlar alguns dos processos fluviais exógenos. De modo geral, as espécies vegetais produzem efeitos sobre taludes e onde estiverem aderidas, podendo ser manipulados a favor da obra.

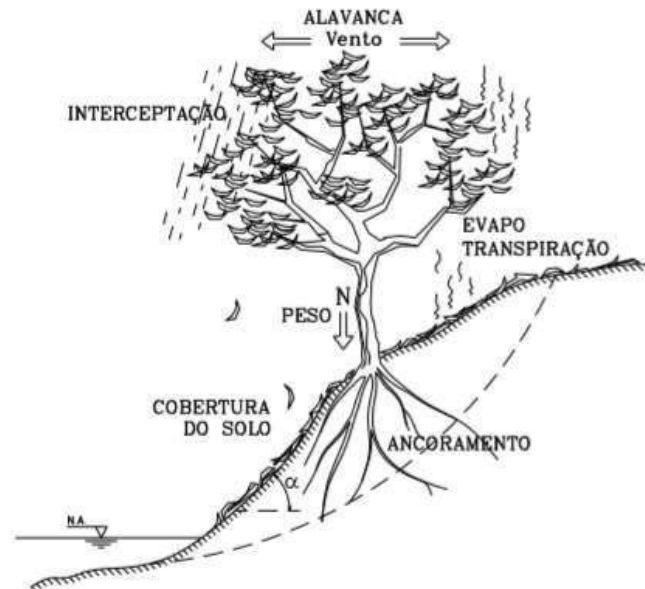


Figura 19: Efeito alavanca de uma árvore sobre um talude. FONTE: Durlo e Sutili (2005).

O exemplo da figura 19 mostra o efeito de uma escolha de vegetação que não é apropriada para o talude. O peso da espécie arbórea associada com o declínio do talude mais a ação do vento produz um efeito de alavanca, que enfraquece o solo, ocasionando o seu tombamento.

Assim que retiradas a vegetação não apta ao talude, ocorre um aumento na estabilidade do mesmo, originada a partir da eliminação da sobrecarga e da rebrotação da cobertura vegetal sucessional. O corte de espécies arbóreas adultas facilitará na manutenção da estabilidade e também de matéria prima para obras biotécnicas que necessitem de madeira. Para a otimização da estabilidade do talude, há também a possibilidade de poda da vegetação, que deverá ser mais rotineira (DURLO; SUTILI, 2005).

As principais características a serem avaliadas para a introdução de espécies vegetais incluem adaptação e capacidade de suportar correntezas e eventuais enchentes, com possibilidade de reprodução vegetativa. As plantas reófilas são um exemplo de vegetação adaptada a este tipo de ambiente, compostas por arbustos e arvoretas de porte pequeno, possuem um denso sistema radicular e caules delgados e flexíveis (MARCHIORI, 2004; SUTILI et al, 2004 apud MASTELLA, 2012).

Mastella (2012) também cita que espécies de interesse para estabilização de taludes devem ser pequenas, principalmente na parte aérea, pois diminui o efeito de alavanca sobre o talude, e ter seus ramos flexíveis, o que facilita a resistência contra enxurradas.

Pretende-se então, a partir da introdução vegetal, acelerar as sucessões ecológicas nos solos instáveis de forma eficiente, promovendo a partir de plantas adequadas, o sucesso vegetativo.

De acordo com Durlo e Sutili (2005), o passo inicial para a implantação de cobertura vegetal no talude, deve se tomar as características edáficas e climática do local. Por seqüência, tomar conhecimento das condições do ambiente, levando em conta a temperatura, umidade, condições químicas e físicas do solo. Os mesmos autores ainda explicam que para a seleção das espécies vegetais, deve se ter conhecimento da aptidão biotécnica das plantas, que devem sobreviver ao local e ainda solucionar os danos existentes.

As plantas que serão inseridas devem resistir à exposição de suas raízes, ter um sistema radicular forte que permita a adesão ao talude e ainda ter capacidade de brotar após podas ou a partir de quebras de galhos, oriundos de apedrejamento de barrancas em queda, e ainda, que possuam crescimento acelerado, para que a solução biotécnica haja de forma rápida (DURLI; SUTILI, 2005).

Para a construção das obras biotécnicas, deve ser analisado a diversidade das plantas autóctones, as plantas nativas da região, e sua disponibilidade, seja isto no local e nas proximidades, pois são perfeitamente

adaptadas às condições do local degradado, compostas por maior resistência à pragas e doenças da região (SOUZA, 2017).

Abaixo, estão listadas as espécies que têm grande potencial para estabilizar e recuperar taludes fluviais com o uso nas obras biotécnicas, por Durlo e Sutili (2005):

- I. *Calliandra brevipes* Bentham: topete de cardeal ou angiquinho, é uma espécie de arvoreta da família Fabaceae nativa do Rio Grande do Sul (FLORA DIGITAL, 2019);



Figura 20: *Calliandra brevipes* Bentham. FONTE: Flora Digital, 2019.

- II. *Calliandra tweedii* Betham: também conhecida como topete de cardeal ou quebra-foice, é outra espécie do gênero *Calliandra*, nativa do Rio Grande do Sul (FLORA DIGITAL, 2014);



Figura 21: *Calliandra tweedii* Betham. FONTE: Flora Digital, 2014.

- III. *Phyllanthus sellowianus* Muller Argoviensis: sarandi ou sarandi-vermelho é um arbusto da família Phyllanthaceae, nativo do Rio Grande do Sul (FLORA DIGITAL, 2013);



Figura 22: *Phyllanthus sellowianus* Muller Argoviensis. FONTE: Flora Digital, 2012.

- IV. *Pouteria salicifolia* (Spreng.) Radlk.: mata-olho é uma árvore da família Sapotaceae, nativa do Rio Grande do Sul (FLORA DIGITAL, 2015);



Figura 23: *Pouteria salicifolia* (Spreng.) Radlk. FONTE: Flora Digital, 2015.



- V. *Salix humboldtiana* Willd: salgueiro ou salso, é uma árvore da família Salicaceae, nativa do Rio Grande do Sul (FLORA DIGITAL, 2010);



Figura 24: *Salix humboldtiana* Willd. FONTE: Google Imagens, 2006.

- VI. *Sebastiania schottiana* (Mull.Arg): também conhecida como sarandi, espécie arvoreta da família Euphorbiaceae, nativa do RS (FLORA DIGITAL, 2014);



Figura 25: *Sebastiania schottiana* (Mull.Arg). FONTE: Flora Digital, 2014.

- VII. *Terminalia australis* Cambessèdes: Sarandi-amarelo, amarelo ou Sarandi, é uma árvore da família Combretaceae nativo do RS (FLORA DIGITAL, 2014).



Figura 26: *Terminalia australis* Cambessèdes. FONTE: Flora Digital, 2007.

Com tudo, estas são apenas algumas das espécies estudadas na literatura que são reconhecidas como aptas à aplicação em obras biotécnicas, porém ainda há uma gama de outras à espera de identificação para este uso.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

A cidade de São Gabriel localiza-se na região fisiográfica da Campanha, caracterizada por uma planície de campo gramináceo, em uma zona de várias formações geológicas. O clima desta região é segundo Köppen e Geiger é BSh (CLIMATE-DATA, 2019), com chuvas anuais superiores a 1350 mm e inferiores a 1650 mm. O solo desta região apresenta uma pequena declividade para oeste, caracterizando suas águas fluviais como não torrentosas (PACHECO, 1956).

Segundo IBGE (2017), São Gabriel conta com uma área de 5.051,854 Km<sup>2</sup> e uma população de 60.425 habitantes. O território deste município está 100% compreendido dentro do Bioma Pampa.

A vegetação florestal da região de São Gabriel, de acordo com Veloso et al., (1991) apud Neves et al., (2016), é de florestas caracterizadas como Estacional Semidecidual que podem ser denominadas como Floresta Tropical Subcaducifólia, por apresentarem dupla estacionalidade climática.

A seguir, constam no texto, os três corpos d'água observados na zona urbana de São Gabriel que foram: Trecho (1) Sanga da Bica, Trecho (2) Sanga da Riveira e Trecho (3) Vacacaí principal. Em relação a áreas socioeconômicas de cada trecho, o Trecho (1) Sanga da Bica se encontra em uma área densa de mata ciliar com espécies exóticas e nativas, pouco preservada, apesar de ser descrita como Reserva Ecológica do município, localizada próxima a estabelecimentos comerciais públicos e residenciais.



Figura 27: Localização geográfica da Sanga da Bica. FONTE: Google Maps, 2019.

O Trecho (2) da Sanga da Rivera está localizado no bairro Capiotti do município, abrangendo uma grande área de residências particulares, percorrendo suas águas por encanamentos subterrâneos sob as ruas.

O Trecho (3) Vacacaí Principal está localizado no Parque Memorial à Iemanjá na Rua Carlos do centro de São Gabriel, sendo um local bastante procurado por atividades de pesca local e lazer. Porém, em épocas de cheia e fortes chuvas sofre com enchentes, deixando moradores desabrigados e chegando a níveis máximo de até 7,5 metros de altura do leito normal (G1 NOTÍCIAS, 2019).





Figura 28: Localização do corpo d'água Vacacaí. FONTE: Google Maps, 2019.

As características comuns entre os três trechos é o descaso ambiental, seja pela poluição de resíduos de esgoto e lixo residencial lançados ao meio. Assim, se procede o foco deste trabalho, que é a proposta de soluções biotécnicas de intervenção física nestas áreas do município de São Gabriel.



### 3.2 Observações e possíveis soluções

Trecho (1): Sanga da Bica.

O ponto do Trecho (1) escolhido, compreende uma pequena parte da Sanga da Bica, dentro da mata ciliar, com uma largura estreita de água corrente. Este trecho possibilita o acesso de animais domésticos, com grande frequência, devido à proximidade à residências. Além da atividade antrópica irregular, ocorrem descartes de embalagens de plásticos, tecidos e outros dejetos (Figura 29).



Figura 29: Córrego da mata ciliar Sanga da Bica. São Gabriel, 2019.

De imediato, a primeira solução evidente para o Trecho (1) é o recolhimento de resíduos poluentes não-degradáveis do local. Por conseguinte, a segunda solução seria o manejo passivo de curso de água, que se trata do cessamento das atividades



antrópicas praticadas ao redor da sanga, respeitando as normas ambientais, assim como consta no Código Florestal Lei nº 12.651 de 2012. Sabe-se que a restrição total da área é impossível devido seu caráter público de Reserva Ecológica, porém seria o ideal para a prevenção de descartes de lixo, para a estabilidade dos taludes e a integridade da mata ciliar. Produzir uma demarcação de estacas no limite da área degradada facilitaria a visualização para as pessoas que visitam e estabeleceria onde se deve preservar, além de que conduziria a regeneração natural da vegetação.

Trecho (2): Sanga da Riveira.

O ponto escolhido da Sanga da Riveira se deu pela cobertura total da superfície da água pela vegetação ciliar desta área. Este trecho se encontra entre residências particulares, tendo alguns pontos que é possível se visualizar a água, porém com visível poluição da qualidade física e assim como no Trecho (1), com descartes indevidos de materiais não-degradáveis (Figura 30).



Figura 30: Sanga da Riveira no bairro Capiotti. São Gabriel, 2019.

O primeiro passo para a recuperação deste trecho poderia ser o manejo ativo de cursos de água, tratando-se da limpeza no sentido biotécnico, englobando não apenas a retirada de lixo, mas também a retirada de materiais vegetais que dificultam o livre fluxo das águas. Após a retirada da vegetação, que se prolonga dentro do leito da sanga, poderá ser aplicada de forma longitudinal às margens, um revestimento por enrocamento organizado para a estabilização do solo. Este revestimento impediria que ocorra deslizamentos e possíveis entupimentos do fluxo desta sanga. O plantio de espécies vegetais, que possam vir a proporcionar frutos e, conseqüentemente, a diversidade da fauna e flora local, é uma opção adequada para a revitalização deste trecho. Além disto, esta técnica poderá vir a contribuir para os aspectos paisagísticos do local.

Trecho (3): Vacacaí principal.

Este trecho principal do corpo d'água Vacacaí está situado no limite do centro de São Gabriel, em área urbana residencial. Neste local tem ocorrido, nos últimos anos, grandes enchentes que promovem desastres naturais ao longo de suas margens, os quais se estendem pela área de relevo, com níveis mais baixos, afetando principalmente a população menos favorecida economicamente e que habita esse entorno.

Com isto, a escolha para visualização de soluções biotécnicas a este trecho torna-se de grande valor para o desenvolvimento deste município, pois grande parte da população que moram nas proximidades, depende de metodologias que busquem ações reparatórias eficientes, de baixo impacto ambiental e de baixo custo.

A área que margeia o canal do Vacacaí tem grande extensão e baixa altura de talude. Este talude mantém e suporta grandes fluxo de água em épocas de cheia. A figura 31 mostra um dos trechos atingidos nestas épocas.



Figura 31: Margens do Rio Vacacaí. São Gabriel, 2019.

Apesar de ser um trecho bastante extenso, podem ser feitos estudos para aplicação de estruturas biotécnicas de grande porte e, em parcelas repetidas em trechos de maiores danos causados pelo fluxo da água durante as enchentes.

Uma boa solução para este problema seria a aplicação de paredes vegetadas às margens, como a Parede de Krainer, produzida a partir de grandes toras de madeiras empilhadas associadas com estacas vivas, a fim de promover um barranco com altura viável e estável, a fim de evitar parcialmente a subida do leito em locais próximos a residências.

A figura 32 mostra uma Parede de Krainer extensa para possível aplicação na margem da Rua Carlos, com proximidade ao Monumento à Iemanjá, neste trecho.

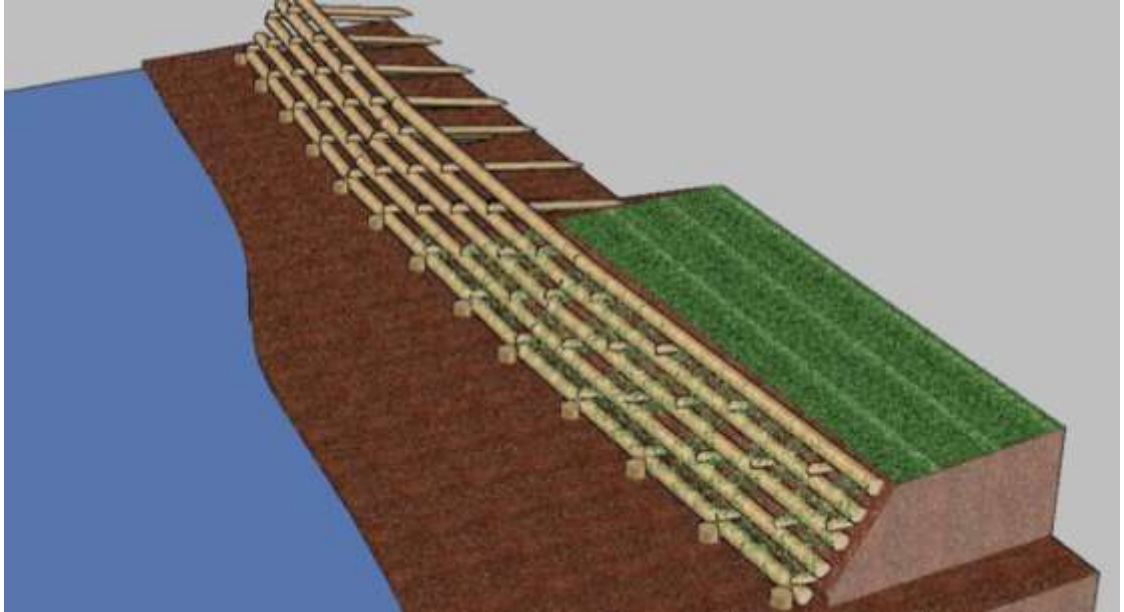


Figura 32: Ideia de parede vegetada para aplicação nas margens do corpo d'água Vacacaí.  
 FONTE: Mastella (2012).

A parede vegetada pode ter um bom desempenho na retenção de alagamentos, dificultando o livre acesso da água, podendo ser aplicada em épocas de seca, a fim de promover a estabilização e consolidação da obra.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As obras fluviais apresentadas podem ser aplicadas futuramente, melhorando significativamente a qualidade dos trechos de corpos d'água, pois além de promover a estabilidade das margens, contribuem com a diversidade biológica e a revitalização das áreas urbanas, promovendo efeitos paisagísticos equilibrados.

Em ambos os trechos é clara a necessidade da intervenção física apropriada, como na Sanga da Bica, para a preservação e a conservação da mata ciliar; na Sanga da Riveira pela recuperação da qualidade das águas que atravessam a cidade entre residências; e um dos maiores problemas que afetam o município como um todo, a estabilização das encostas que não

minimizam os alagamentos causados pelas águas do Rio Vacacaí, problema que cada vez mais se torna presente na vida dos gabrielenses.

Com isto, é possível lançar mão das técnicas de engenharia natural como ferramenta na prevenção, estabilização e recuperação de encostas de quaisquer cursos de água, podendo interferir ou não na morfologia fluvial. Estas ações viriam a promover um baixo custo de produção e, o principal que se espera, a redução de distúrbios ambientais. Visto isso, é necessário que estas obras sejam analisadas por políticas públicas, para que as mesmas sejam compreendidas e difundidas como um eficiente instrumento para projetos de recuperação de áreas degradadas. As obras podem ser conduzidas por equipes multidisciplinares capacitadas, com profissionais que entendam de engenharia, hidrologia e das propriedades biotécnicas de plantas potenciais.

## 5 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Danilo Sette. **Alguns princípios de sucessão natural aplicados ao processo de recuperação.** In: *Recuperação ambiental da Mata Atlântica*. Editora da UESC, 3 ed. Ilhéus – BA, 2016.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Situação da Água no Mundo.** Brasília – DF, 2019. Acesso em: 20 set., 2019. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/agua-no-mundo>.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Divisões hidrográficas do Brasil.** Brasília – DF, 2019. Acesso em: 20 set., 2019. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/divisooes-hidrograficas>.
- ANTUNES, Paulo de Bessa. **Áreas de Preservação Permanente Urbanas: O Novo Código Florestal e o Judiciário.** Ano 52 Número 206 abr./jun. 2015.
- BARBOSA, Michele Cristina Rufino; DE LIMA, Hernani Mota. **Resistência ao cisalhamento de solos e taludes vegetados por capim vetiver.** Ouro Preto – MG. Universidade Federal de Ouro Preto, 2012.
- BIANCHINI, *et al.* **Diversidade e estrutura de espécies arbóreas em área alagável do município de Londrina, Sul do Brasil.** Departamento de Biologia Animal e Vegetal, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Londrina, 2003.
- BRASIL. **Lei nº 12.651 de 2012.** Novo Código Florestal, 2012. Acesso em: 08 de set., 2019. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm).

\_\_\_\_\_. a. Congresso. Câmara dos Deputados. **Projeto permite alteração de APP em área urbana por plano diretor de uso do solo.** Palácio do Congresso Nacional, Brasília – DF - Brasil, junho de 2019. Acesso em: 8 de nov., de 2019. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/559252-projeto-permite-alteracao-de-app-em-area-urbana-por-plano-diretor-e-lei-de-uso-do-solo/>.

\_\_\_\_\_. b. Ministério do Meio Ambiente. **Água.** Brasília – DF, 2019. Acesso em: 12 de set., de 2019. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/agua.html>.

\_\_\_\_\_. c. Ministério do Meio Ambiente. **Áreas de Preservação Permanentes Urbanas.** Brasília – DF, 2019. Acesso em: 8 de nov., de 2019. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/areas-verdes-urbanas/areas-de-protecao-permanente.html>.

BICUDO, *et al.* **Águas do Brasil:** análises estratégicas. São Paulo, Instituto Botânica, 2010.

BIOLAW, Consultoria Ambiental. **Banco de dados fotográfico, avaliação da modificação da paisagem, mapas em shapefile.** Consultoria para prestação de serviços de interpretação de imagens de satélite e geoprocessamento para mapeamento dos ecossistemas do bioma pampa. Contrato nº 004/2015. Porto Alegre, março de 2016. Acesso em: 21 de nov. de 2019. Disponível em: <http://www.biolaw.com.br>.

CAMPAGNOLO, *et al.* **A influência da vegetação na estabilidade de encostas com ênfase em margem de rio.** Porto Alegre – RS, 2018.

CLIMATE-DATA. **Dados Climáticos para Cidades Mundiais:** São Gabriel, RS, 2019. Acesso em: 6 de nov. de 2019. Disponível em: <pt.climate-data.org/>.

CRISPIM, Andrea Bezerra; SOUZA, Marcos Nogueira. **Degradação, impacto ambiental e uso da terra em bacias hidrográficas: o contexto da Bacia do Pacoti/CE.** ACTA Geográfica, Boa Vista, v.10, n.22, jan./abr. de 2016.

DOS SANTOS, Devanir Garcia; ROMANO, Paulo Afonso. **Conservação da água e do solo, e gestão integrada dos recursos hídricos.** Revista Política Agrícola, 2005.

DURLO, Miguel Antão; SUTILI, Fabrício Jaques. **Bioengenharia: Manejo Biotécnico de Cursos de Água.** Edições EST. 1ª ed. Porto Alegre, 2005.

ECOSALIX. **Ecosalix:** Sistemas Ecológicos de Engenharia Natural, 2016. Disponível em: <http://ecosalix.pt/>.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. **Qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Jacuí.** Porto Alegre – RS, 2019. Acesso em: 24 de set., de 2019. Disponível em: [http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade\\_jacui/jacui.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_jacui/jacui.asp).

FLORA DIGITAL. **Fitoecologia:** Flora, 2019. Acesso em: 31 de out., de 2019. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/fitoecologia/florars>.

FRACASSI, Geraldo. **Proteção de rios com soluções Maccaferri.** São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

G1 NOTÍCIAS. Globo Comunicação e Participações SA. **Chuva provoca aumento do nível do rio e tira famílias de casa em São Gabriel.** Rio Grande do Sul - RBSTV, julho de 2019. Acesso em: 25 de nov de 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2019/07/26/chuva-provoca-aumento-do-nivel-de-rio-e-tira-familias-de-casa-em-sao-gabriel.ghtml>.

HOTTA, Marcelo Muta. **Análise de alternativas para o projeto de recuperação e estabilidade de margens de rios.** Departamento de Ciência e Tecnologia. Rio de Janeiro, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama cidades 2017.** Acesso em: 21 de nov. de 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/sao-gabriel/panorama>.

LEWIS, L. **Soil Bioengineering an Alternative for Roadside Management: a practical guide**. San Dimas, California: United States Department of Agriculture, 2000.

MACCAFERRI. **Defesas de margens e obras transversais: Necessidade e Soluções**. Edição Catálogos. Março de 2015. Acesso em: 01 de nov., de 2019. Disponível em: <https://www.maccaferri.com/br/documentos/catalogos/>.

MACCAFERRI. **Maccaferri's ACBM protects the first submarine power cable link across the Dardanelles Strait in Turkey**. Middle East, 2017. Acesso em 1 de nov., de 2019. Disponível em: <https://www.maccaferri.com/ae/acbm-first-submarine-power-cable-link-dardanelles-strait-turkey/>.

MASTELLA, Alexandre Dal Forno. **Recuperação experimental de um trecho de curso de água com técnicas de engenharia natural**. Dissertação de Mestrado, Santa Maria – RS, 2012.

NEVES, P. O.; JUNIOR, A. S. B.; LOPES, B. S.; ANDREIS, D.; GONÇALVES, E. B.; LEMOS, G. M. Diagnóstico Florístico-Estrutural e Potencial Invasor da Composição Arbórea de Praças Municipais de São Gabriel, RS, Brasil. PESQUISAS BOTÂNICAS Nº 69:227-238. Instituto Anchietano de Pesquisas, 2016. Disponível em: <http://www.anchietano.unisinos.br/publicacoes/botanica/botanica.htm>.

RIO GRANDE DO SUL. **Decreto nº 53.885 de 16 de janeiro de 2018**. Subdivisão das Regiões Hidrográficas do Rio Grande do Sul, 2018. Acesso em: 8 de set., 2019. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201803/08095109-decreto-53885-2017.pdf>.

RIO GRANDE DO SUL. **Lei nº 10.350 de 30 de dezembro de 1994**. Sistema Estadual de Recursos Hídricos, 1994. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/filerepository/replLegis/arquivos/10.350.pdf>. Acessado em: 08/09/19.

SANTOS, S-C, H. **Mata Ciliar – fundamentos e importância**. Meio Ambiente, Ministério Público do Estado do Paraná. Curitiba – PR, 2008.

SAO GABRIEL. **Lei Municipal nº 1.774 de 1991**. Tombamento Histórico-Ecológico da Sanga da Bica e cria Reserva Biológica Exótica- Nativa, 1991.

SCHMEIER, Nara Paula. **Bioengenharia na recuperação das margens do Arroio Forquetinha/RS**. Lajeado – RS, 2012.

SEMA. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Programa Mata Ciliar**. Curitiba – PR, 2019.

SILVA, Marcela Vitoriano e. **As Áreas de Preservação Permanente Urbanas: Usos sustentáveis e usos alternativos na Lei nº 12.651/2012**. 2019. Acesso em: 13 de nov. de 2019. Disponível em: <http://www.publicadireito.com.br/artigos/?cod=080c993fb3b58e26>.

SILVA, Sergio Antonio; NOGUEIRA, Paulo César. **Programa de limpeza, recuperação e conservação dos córregos e rios no município de Barra Mansa**. Florianópolis – SC, 2004.

SILVA, Pedro José da; TAKADA, Marcelo Akutsu; ESPOSI, Simoni Antoniassi. **Reconhecimento das técnicas de bioengenharia passíveis de serem aplicadas em cursos d'água urbanos, visando a sua renaturalização**. Vila Real – Portugal, julho de 2017.

SOUZA, R. **Técnicas de engenharia natural com ferramenta de RAD**. Laboratório de Engenharia Natural – UFSM, Santa Maria – RS, 2017.

PACHECO, Maria Fagundes de Souza Docca. **Divisão Regional do Rio Grande do Sul**. Justificação. 20 de março de 1956.

PINTO, Gabriela Martins. **Bioengenharia de solos na estabilidade de taludes: comparação com uma solução tradicional**. Porto Alegre – RS, 2009.

