

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA RENATURALIZAÇÃO DE TRECHO
RETIFICADO DO RIO GRAVATAÍ - RS**

VIVIANE CARVALHO BRENNER

ORIENTADOR: PROF. DR. LAURINDO ANTONIO GUASSELLI

PORTO ALEGRE, MARÇO DE 2016

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA RENATURALIZAÇÃO DE TRECHO
RETIFICADO DO RIO GRAVATAÍ - RS**

VIVIANE CARVALHO BRENNER

Orientador: Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli

Banca Examinadora:

**Profa. Dra. Dejanira Luderitz Saldanha (PPGGEA/UFRGS)
Prof. Dr. Guilherme Garcia de Oliveira (PPGSAS/UNIVATES)
Prof. Dr. Luis Alberto Basso (PPGGEA/UFRGS)**

**Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Geografia da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul,
como requisito parcial para a
obtenção do título de Mestre em
Geografia**

PORTO ALEGRE, MARÇO DE 2016

CIP - Catalogação na Publicação

Brenner, Viviane Carvalho

Proposta metodológica para renaturalização de trecho retificado do rio Gravataí-RS / Viviane Carvalho Brenner. -- 2016.

94 f.

Orientador: Laurindo Antonio Guasselli.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, BR-RS, 2016.

1. Renaturalização. 2. Rio Gravataí. 3. Bioengenharia. 4. Planície de inundação. 5. Geoprocessamento. I. Guasselli, Laurindo Antonio, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, por me guiar nesse caminho de pesquisas e estudos e por me dar força para continuar mesmo perante todas as adversidades desta jornada.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia pela aprendizagem e ensino de qualidade, sem os quais não seria possível a realização desta pesquisa.

Ao meu orientador Laurindo Antônio Guasselli pela paciência, apoio e dedicação em sua profissão e em suas pesquisas.

A gestão da APA do Banhado Grande pela parceria e acompanhamento da área de pesquisa desde a graduação, em especial a Cecília, Denise e Leonardo.

A Fundação Municipal de Meio Ambiente de Gravataí e a APN-VG pelo apoio e parceria durante os campos realizados.

Aos colegas e amigos do LAGAM pelo acolhimento, conversas, convivência, pelas risadas e auxílios técnicos, a Fabi, Gui, João B., Luís, Letícia e Tássia, em especial a Cecília pela parceria nos campos e na pesquisa.

As minhas amigas que acompanharam toda essa trajetória, Graziela e Izabelli.

Ao Bruno de Lima pelo companheirismo, amor e paciência em toda essa caminhada desde a graduação.

A toda minha família pelo apoio e compreensão em todos os momentos de alegria e dificuldades.

E por fim a todos que passaram e pousaram no meu caminho, aos amigos, aos parentes aos queridos conhecidos e aos colegas que de uma forma ou outra participaram ou presenciaram parte desses dois anos de pesquisa.

A todos deixo minha sincera e singela gratidão!

A todas as plantas, aos sapos, peixes, insetos e outros organismos que precisam dos banhados e das planícies inundáveis para nascer, crescer e se reproduzir.

(Autor desconhecido).

RESUMO

O rio Gravataí, no final da década de 60, teve seu curso natural retificado visando a drenagem das áreas úmidas da bacia para expansão das áreas cultiváveis. O que implicou em impactos tanto sociais como ambientais em toda a bacia. Visto isso, o comitê gestor fomentou uma série de estudos buscando alternativas para regularização da vazão no trecho retificado, das quais, elencou-se a construção de duas barragens como solução imediatista. O conceito para descanalização de um rio e o retorno de seus traçados é abordado nesse trabalho sob a ótica da renaturalização. Assim, a presente dissertação tem como objetivo identificar uma área com potencial de renaturalização no trecho retificado do rio Gravataí/RS, localizado no interior de uma UC de Uso Sustentável. O trabalho estrutura-se em cinco etapas: Identificação e delimitação da área piloto; Análise da série histórica de vazão; Definição de técnicas de bioengenharia e seleção de espécies vegetais; Projeção tridimensional de uma unidade experimental e a metodologia de aplicação e monitoramento da unidade. O desenvolvimento desta pesquisa, através das etapas metodológicas, gerou como resultados uma série temporal de imagens sob o recorte da área potencial de renaturalização com aplicação de NDWI. Bem como a análise histórica da série de vazão que resultou na constatação de alterações no padrão de vazão no período pós-retificação. A partir das características locais elaborou-se uma proposta metodológica de intervenção através de técnicas de bioengenharia para a renaturalização do canal retificado. O principal produto resultante da pesquisa consiste na projeção de uma unidade experimental para aplicação em campo da proposta de renaturalização, e sua metodologia de instalação e monitoramento. A vista disso gerou-se uma ferramenta metodológica para identificação e projeção de propostas de renaturalização para canais retificados e não cimentados.

Palavras-chave: Bioengenharia; Geoprocessamento; Descanalização; Unidade Experimental.

ABSTRACT

The Gravataí river, in the late 60's, had its natural course rectified aimed at draining the wetlands of the basin for the expansion of cropland. What resulted in social and environmental impacts throughout the basin. On this, the management committee fomented a series of studies seeking alternatives for flow regularization in the amended section of which, has listed the construction of two dams like immediate solution. The concept for descanalização of a river and the return of their paths is discussed in this paper from the perspective of renaturalization. Thus, this search aims to identify an area with renaturalization potential in the stretch of the river rectified Gravataí/RS, located inside of a UC of Sustainable Use . The work is divided into five steps: Identification and delimitation of the pilot area; Analysis of the series of flow output; Definition of bioengineering techniques and selection of plant species; three-dimensional projection of an experimental unit and the application of methodology and monitoring unit. The development of this research through methodological steps, generated results as a time series of images under the cut of the potential renaturalization area with application of NDWI. And the historic analysis of flow series which resulted in the finding of changes in the flow pattern in the post-rectification period. From the local characteristics was elaborated a methodology of intervention through bioengineering techniques for renaturalization of the rectified channel. The main result of this research is the projection of an experimental unit for application of renaturalization proposed, and its installation and monitoring methodology. Therefore was generated a methodological tool for identification and projection of the renaturalisation in rectified channels and no cementless.

Keywords: Bioengineering; geoprocessing; Descanalização; Experimental Unit.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo Geral.....	15
2.2 Objetivos Específicos.....	15
3. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	16
3.1 Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí.....	16
3.2 Clima e Vegetação.....	21
3.3 Geomorfologia.....	23
3.4 Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande.....	25
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	29
4.1 Sistema Fluvial.....	29
4.2 Retificação.....	32
4.3 Renaturalização.....	35
4.4 Bioengenharia.....	41
4.5 Geotecnologias em estudos ambientais.....	44
4.6 Critérios legais.....	46
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	50
5.1 Identificação e delimitação da área piloto para renaturalização.....	51
5.2 Análise da série histórica dos dados de vazão do rio Gravataí.....	52
5.3 Definição das técnicas de bioengenharia e seleção das espécies vegetais.....	53
5.3.1 Seleção das técnicas de bioengenharia.....	54
5.3.2 Seleção das espécies a compor o experimento.....	57
5.4 Projeção da unidade experimental de renaturalização.....	58
5.5 Elaboração de uma metodologia de aplicação para a unidade experimental.....	58
6. RESULTADOS.....	59
6.1 Identificação e delimitação da área piloto.....	59
6.2 Análise dos dados de vazão.....	66
6.3 Pontos para intervenção no experimento.....	70
6.4 Projeção da unidade experimental.....	73
6.5 Processo metodológico para instalação do experimento.....	76
7. CONCLUSÕES.....	85
REFERENCIAS.....	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Abrangência da bacia hidrográfica do rio Gravataí na RMPA.....	16
Figura 2- Mapa da região de 1865, em destaque traçado original do rio Gravataí.	17
Figura 3 – Fotos históricas da retificação do leito do rio Gravataí, meados de 1960.....	17
Figura 4- Mosaico de fotos aéreas em 1975, época de inundação pós retificação, em destaque os banhados e a região	18
Figura 5- Trecho retificado do rio Gravataí em azul, e ampliação em direção ao banhado realizada pelos proprietários no destaque em vermelho.	19
Figura 6- Evolução espacial e temporal do avanço da voçoroca no Banhado Grande, Município de Glorinha/RS. Imagens de 14/11/2003; 18/03/2010; e 05/03/2012.....	20
Figura 7- Mapa da Geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Gravataí.	24
Figura 8- Modelo numérico do terreno de área da Bacia Hidrográfica do Gravataí.	25
Figura 9 - Mapa de localização da APA do Banhado Grande na Bacia Hidrográfica do Gravataí.	26
Figura 10– Quatro tipos básicos de canais.	30
Figura 11- Comparação entre a morfologia de curso natural e de um curso fluvial modificado.	33
Figura 12– Projeto de retificação de meandros de um rio na Alemanha.	34
Figura 13– Representação esquemática da evolução de rio retificado em rio renaturalizado..	39
Figura 14– Evolução temporal do processo de renaturalização de um rio retificado.....	40
Figura 15- Determinação do método apropriado em função da inclinação da margem.....	43
Figura 16 - Localização da estação fluviométrica Passo das Canoas.....	53
Figura 17- Enrocamento vegetado, visualização esquemática de distribuição das pedras e estacas.....	54
Figura 18– Desenho esquemático da técnica de entrelaçamento.	55
Figura 19- Técnicas de paliçada em cursos d’água	56
Figura 20– Paliçada/barramento de sacos de areia para redirecionamento do fluxo d’água....	56
Figura 21– A-B) <i>Phyllanthussellowianus</i> ; C-D) <i>Salixrubense</i> E-F) <i>Sebastiania schottiana</i>	57
Figura 22- Índice de Diferença Normalizada da Água em série temporal.	59
Figura 23– Identificação da planície de inundação preservada, NDWI em período chuvoso (A) 08/10/2004, e em período seco (B) 11/02/2004.....	60
Figura 24- Extensão do canal retificado do rio Gravataí em azul e planície de inundação preservada destacada em verde.....	61
Figura 25– Planície de inundação preservada.	62
Figura 26– Presença de avifauna na planície de inundação preservada.	62
Figura 27- Meandros ativos na planície de inundação preservada no leito do rio.	63
Figura 28– Meandro com potencial de renaturalização na planície de inundação, fluxo de circulação dos meandros em destaque pelas setas.....	63
Figura 29– Sobreposição da área da Reserva Ecológica do Banhado Grande com a área de planície de inundação com potencial de renaturalização.....	64
Figura 30– Vista do canal com vegetação consolidada em suas margens retificadas	65
Figura 31– Área de conexão dos meandros ao fluxo retilíneo do canal.....	65
Figura 32– A: Localização dos pontos selecionados para instalação do experimento de renaturalização; B: Área da reserva municipal de Gravataí, em implantação.....	70
Figura 33– Ponto 1, foto demonstrando a conexão do canal para com os meandros.....	71
Figura 34 – Canal de drenagem abandonado e meandros na planície, local de intervenção dos pontos 2 e 3.....	72
Figura 35– Ponto 4, canal de escoamento dos meandros com início de um processo de	

assoreamento.	72
Figura 36– Projeção tridimensional da unidade experimental, unindo as técnicas de bioengenharia selecionadas.	74
Figura 37– Sobreposição da projeção com a foto do local para instalação da unidade experimental.	75
Figura 38– Projeção das medidas da unidade experimental.	76
Figura 39 - Ponto 1: em amarelo local para construção da trança-viva, em vermelho local das sacas de areia para redirecionamento do fluxo.	78
Figura 40 - Pontos 2 e 3: locais para instalação das paliçadas.	79
Figura 41 - Ponto 4: local para instalação de paliçada.	80
Figura 42- Mapa do relevo da área da APA do Banhado Grande.	83

LISTA DE QUADROS, TABELAS E GRÁFICOS

Gráfico 1- Precipitação média mensal (mm).....	21
Gráfico 2- Evaporação média mensal (mm).....	22
Quadro 1– Divisão Geomorfológica da Bacia do Rio Gravataí.....	23
Quadro 2- Síntese das principais técnicas de Bioengenharia.....	42
Gráfico 3 - Vazões Médias Anuais do período de 1940-2009.....	67
Gráfico 4 – Vazões Máximas Anuais no período de 1940-2009.....	68
Gráfico 5 - Vazões Mínimas Anuais no período de 1940-2009.....	69
Quadro 3 – Apresentação da localização dos pontos e técnicas de bioengenharia.....	73
Quadro 4 - Indicadores de avaliação e monitoramento para projetos de restauração/renaturalização de matas ciliares.....	81

1. INTRODUÇÃO

O uso e ocupação de planícies fluviais é, sem dúvida alguma, um dos maiores problemas ambientais do Brasil (BORGES, et al., 2009). As regiões metropolitanas localizadas em países em desenvolvimento apresentam inúmeros problemas estruturais, que afetam diariamente o meio físico e sua população.

Sabe-se que os rios se constituem em um dos principais agentes modeladores do relevo terrestre, da nascente a foz, cada corredor fluvial segue sua trajetória complexa, dinâmica e não linear. Contudo, de acordo com Leite (2013), muitos rios tornaram-se obstáculos no processo de expansão e urbanização das cidades sendo modificados através de retificações, drenagens, barragens e até mesmo suprimidos da paisagem por tamponamento. Essas alterações impactam as planícies fluviais e intensificam os processos de inundações através do espraio do leito dos cursos d'água no meio urbano e impermeabilizado.

No meio rural, não muito diferente, desde 1908 com a introdução da rizicultura irrigada no Rio Grande do Sul as áreas junto aos cursos d'água também passaram por uma série de transformações, a fim de atender a demanda desta cultura. Entre as transformações impostas às planícies fluviais, está a retificação de canais de rios e a drenagem de banhados (áreas úmidas) para ampliar a área cultivada e permitir sua irrigação BESKOW (1986 apud DARONCH *et al.*, 2006).

Na região Sul do Brasil, bacias hidrográficas em que o uso intensivo de água para irrigação é tão longo quanto as próprias séries hidrológicas são muito comuns. A atividade agrícola que apresenta o maior consumo de água é a cultura de arroz irrigado. Esta cultura, presente na região desde o início do século XX, apresenta uma grande demanda de água que, em geral, não pode ser suprida apenas pela vazão dos rios durante os meses de primavera-verão, período de irrigação das lavouras de arroz. Atualmente, a área irrigada com arroz no Rio Grande do Sul oscila em torno de um milhão de hectares (COLLISCHONN *et al.*, 2011)

Ainda de acordo com Collischonn *et al.* (2011), muitas dessas bacias sofrem de escassez hídrica que, muitas vezes, ocorrem porque a vazão de base é muito baixa e a demanda d'água para irrigação de lavouras de arroz é muito alta.

Atualmente no Rio Grande do Sul, existem poucos banhados ainda conservados ou preservados. No Estado, algumas unidades de conservação englobam esses ecossistemas numa tentativa de regular e restringir seu uso e exploração. A legislação ambiental possibilitou a instalação de Unidades de Proteção Integral, que restringem os usos nessas

áreas admitindo apenas o uso indireto do recurso natural, e as Unidades de Uso Sustentável que compatibilizam a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos recursos naturais.

Dentre as unidades de conservação de uso sustentável no RS encontra-se a Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande, cujo objetivo de criação foi a proteção dos banhados formadores do rio Gravataí (Banhado Grande, Banhado do Chico Lomã e Banhado dos Pachecos), que abrange os municípios de Santo Antônio da Patrulha, Glorinha, Gravataí e Viamão (SEMA/RS, 2015).

A região da bacia hidrográfica do rio Gravataí, de acordo com Brenner e Guasselli (2015), tem sido amplamente utilizada para agricultura e pecuária intensiva, como produção de arroz e pastejo de gado. Esse adensamento agrícola, através da drenagem das áreas inundáveis para o cultivo de arroz, transformou alguns cursos d'água originais em canais de drenagem, impactando todo o sistema hidrológico das áreas úmidas.

Os impactos dessas obras de drenagem são sentidos em toda a bacia, picos extremos de inundações e secas são recorrentes assim como o agravamento de um processo erosivo no interior do Banhado Grande.

Na década de 1960 ocorreu uma retificação em parte do leito do Gravataí com autorização do Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS). Foi realizada uma canalização não cimentada, com fins de retificação dos meandros do rio através da escavação e abertura de um canal retilíneo (SCHEREN, 2014). A partir da transformação do fluxo meândrico em retilíneo, e com o aumento da velocidade da água, tinha-se como objetivo o início do processo de drenagem do Banhado Grande.

Em busca de alternativas para a mitigação de impactos causados por obras de canalização não cimentada, como a do rio Gravataí, emerge à discussão os projetos de renaturalização de cursos d'água. O conceito surge no Brasil e ganha aderência exatamente com o objetivo de mitigação dos impactos causados por essas retificações. Busca assim o resgate dos cursos d'água por meio de formas alternativas, obras não-cimentadas, visando o ressurgimento das águas no meio urbano e rural em consonância com seus processos naturais. Podem ser aplicados tanto na área urbana quanto na área rural, buscando a reapropriação dos ambientes pela sociedade, o contato com o rio, o amortecimento dos picos de vazão e o aumento de áreas de infiltração e de espraiamento para as águas.

A renaturalização segundo Binder (2001), pode ser vista como uma resposta do rio em busca por seu estado de capacidade de se auto-sustentar como no período pré-retificação. Em

alguns casos o rio originalmente meandrante tende a se renaturalizar reativando seus meandros. Mas a velocidade desse processo, entretanto, muitas vezes não consegue superar a velocidade de ocorrência dos impactos que perpetuam esse canal.

No caso do rio Gravataí, a velocidade da água torna-se um impacto difícil de ser superado naturalmente, o que leva a elaboração de uma unidade experimental de renaturalização com intervenção de biotécnicas como uma alternativa para a mitigação destes impactos.

Diante dos resultados positivos de projetos de restauração e renaturalização que utilizaram os princípios da bioengenharia, e visando a mitigação dos impactos causados pela canalização no leito do rio Gravataí propõe-se a construção de uma proposta metodológica de uma unidade experimental de renaturalização em seu trecho retificado.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Esse estudo tem como objetivo desenvolver uma proposta metodológica de renaturalização para o trecho retificado do rio Gravataí.

2.2 Objetivos Específicos

- Definir critérios para seleção de uma área potencial para renaturalização no trecho retificado do rio Gravataí;
- Analisar a série histórica dos dados de vazão do rio Gravataí entre 1942 a 2009;
- Definir técnicas de bioengenharia para o processo de renaturalização;
- Projetar uma unidade experimental de renaturalização;
- Elaborar uma metodologia de aplicação para a unidade experimental.

3. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí

No sul do Brasil a bacia hidrográfica do rio Gravataí (Figura 1) abrange aproximadamente 2.018 Km², estando grande parte de sua área inserida na região metropolitana de Porto Alegre. Abriga um expressivo contingente populacional, ao mesmo tempo em que são encontradas áreas de importância inegável para a conservação da vida silvestre e para a gestão dos recursos hídricos, como é o caso do Banhado Grande (FUNDAÇÃO ZOOBOTÂNICA DO RIO GRANDE DO SUL, 2001).

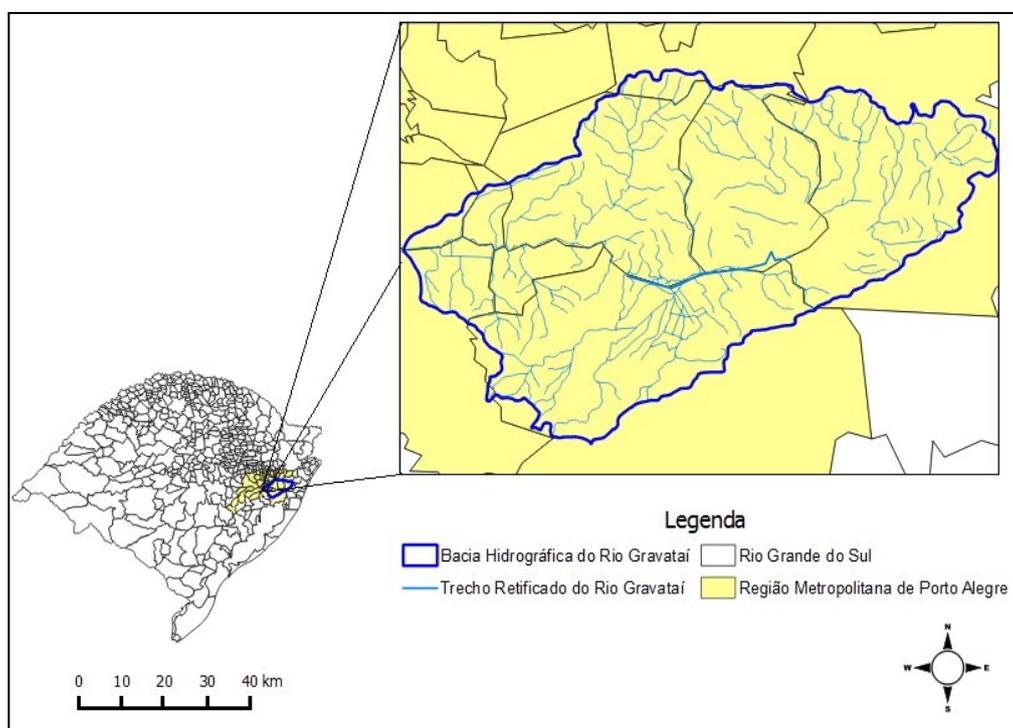


Figura 1– Abrangência da bacia hidrográfica do rio Gravataí na região metropolitana de Porto Alegre/RS.

O rio Gravataí é um rio de planície naturalmente sinuoso (Figura 2), mas possui um trecho de canal artificial que eliminou parte de seus meandros transformando-os em um canal retilíneo, construído no final da década de 60 (Figura 3), pelo Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS). O canal inicia no final do Banhado Grande até a localidade da Olaria Velha (cerca de 20 km). A intenção desta retificação era drenar os banhados para viabilizar a ampliação das áreas de cultivo de arroz. Esta retificação incorreu em mudanças na hidrologia e limnologia do rio, o que pode ter significado alterações na configuração da planície de inundação a jusante da obra.



Figura 2- Mapa da região de 1865, em destaque traçado original do rio Gravataí. Fonte: Werneck e Schwestsks. Acervo do Arquivo Nacional, RJ.



Figura 3 – Fotos históricas da retificação do leito do rio Gravataí, meados de 1960. Fonte: SEMA, 2015.

A figura 4 mostra a região do rio Gravataí em sua primeira cheia após a retificação do seu leito. Esse mosaico de fotos aéreas georreferenciadas demonstram a atividade meândrica intensa e o limite da planície de inundação do rio. O setor destacado em amarelo compreende uma área muito plana, de baixa declividade, e em azul destacam-se os dois banhados que compõem o sistema Banhado Grande da bacia do Gravataí

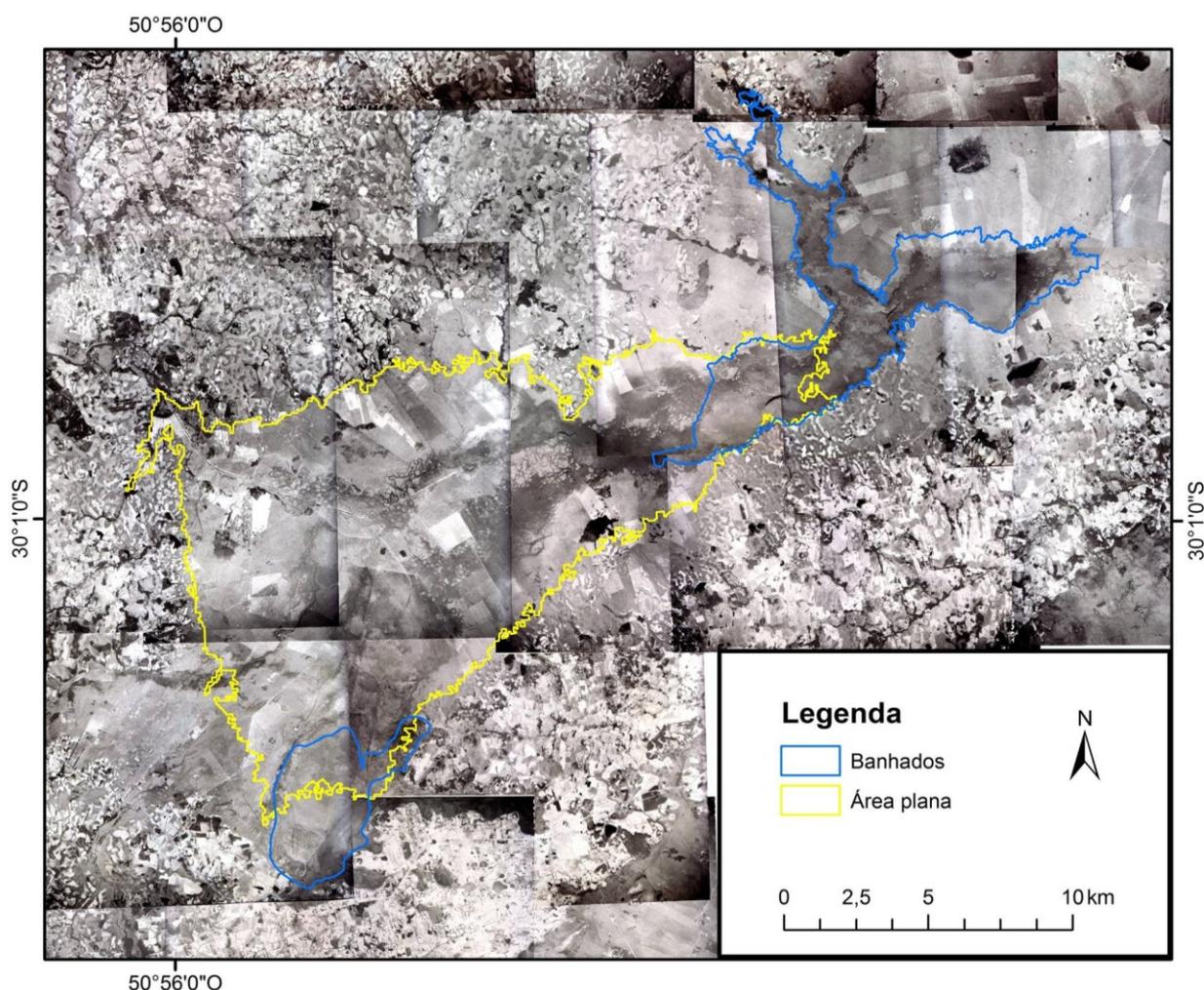


Figura 4- Mosaico de fotos aéreas em 1975, época de inundação pós retificação, em destaque os banhados e a região. Elaborado por Cecília Bálamo Etchelar¹

Conforme IPH (2010), após um estudo de cooperação técnica internacional com um grupo de pesquisadores alemães em 1960 ficou constatada a necessidade de cessar as obras de canalização devido aos impactos negativos principalmente nas áreas de banhados. Esse estudo ressaltou que os riscos de inundação seriam potencializados devido à drenagem dos banhados,

¹ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

que não mais reteriam a vazão do rio Gravataí, e pelo próprio escoamento das águas do banhado.

A construção do canal foi interrompida pelo DNOS, mas uma série de canais secundários foi construída, de forma independente, por um grupo de proprietários rurais ampliando o canal em direção ao Banhado Grande. Esse trecho de drenagem ampliado (Figura 5), no formato de um “Y” invertido, localiza-se no Banhado do Chico Lomã (nos municípios de Santo Antônio da Patrulha e Viamão).

Devido à falta de planejamento e de um responsável técnico para a abertura e ampliação do canal o fundo deste “Y” não permaneceu uniforme. Esse fator acarretou, através dos anos, em um aumento da velocidade da água pela descida do escoamento nos degraus de desníveis, favorecendo o processo erosivo do Banhado Grande.

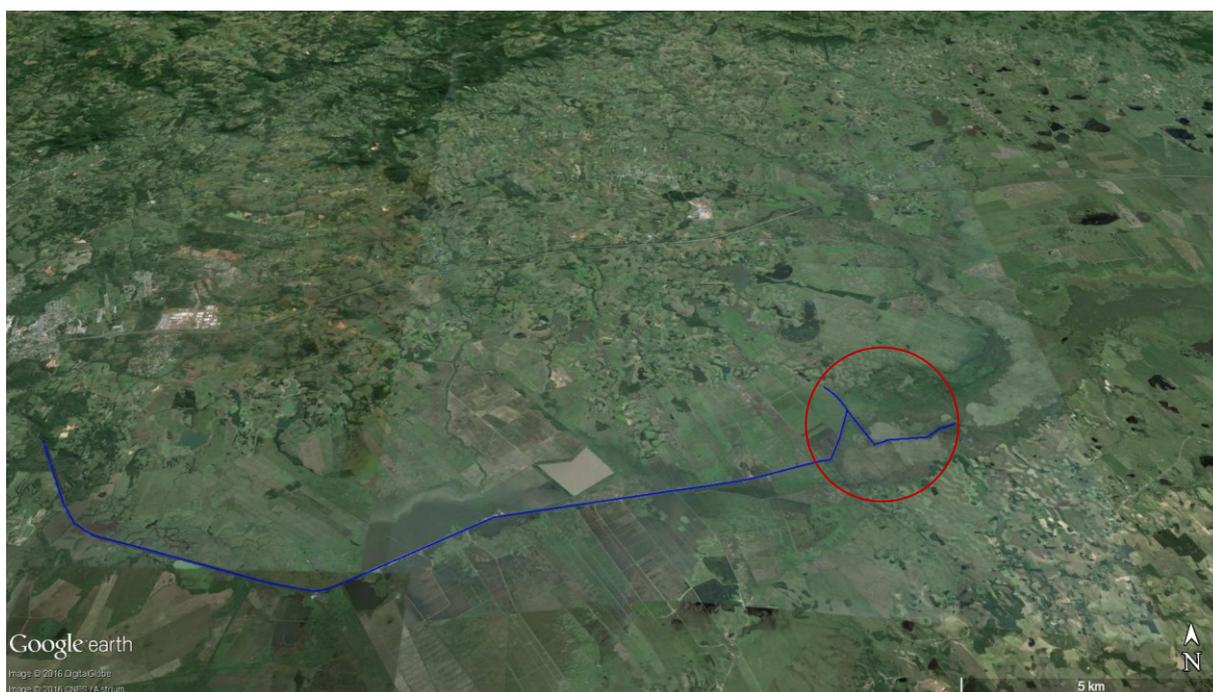


Figura 5- Trecho retificado do rio Gravataí em azul, e ampliação em direção ao banhado realizada pelos proprietários no destaque em vermelho. Fonte: Google Earth, 2016.

Com o acréscimo da drenagem hídrica desta área do banhado, modificou-se a dinâmica natural desta área, ocorrendo a desestabilização da estrutura do solo e a possibilidade da conversão da vegetação típica de banhado para pastagens para a produção bovina. Estas variáveis levaram à ocorrência de processos erosivos no interior do banhado (ETCHELAR, 2014).

Na Figura 6, Etchelar (2014) a partir de imagens de satélite, apresenta a evolução espacial e temporal do avanço do processo erosivo em área do Banhado Grande.

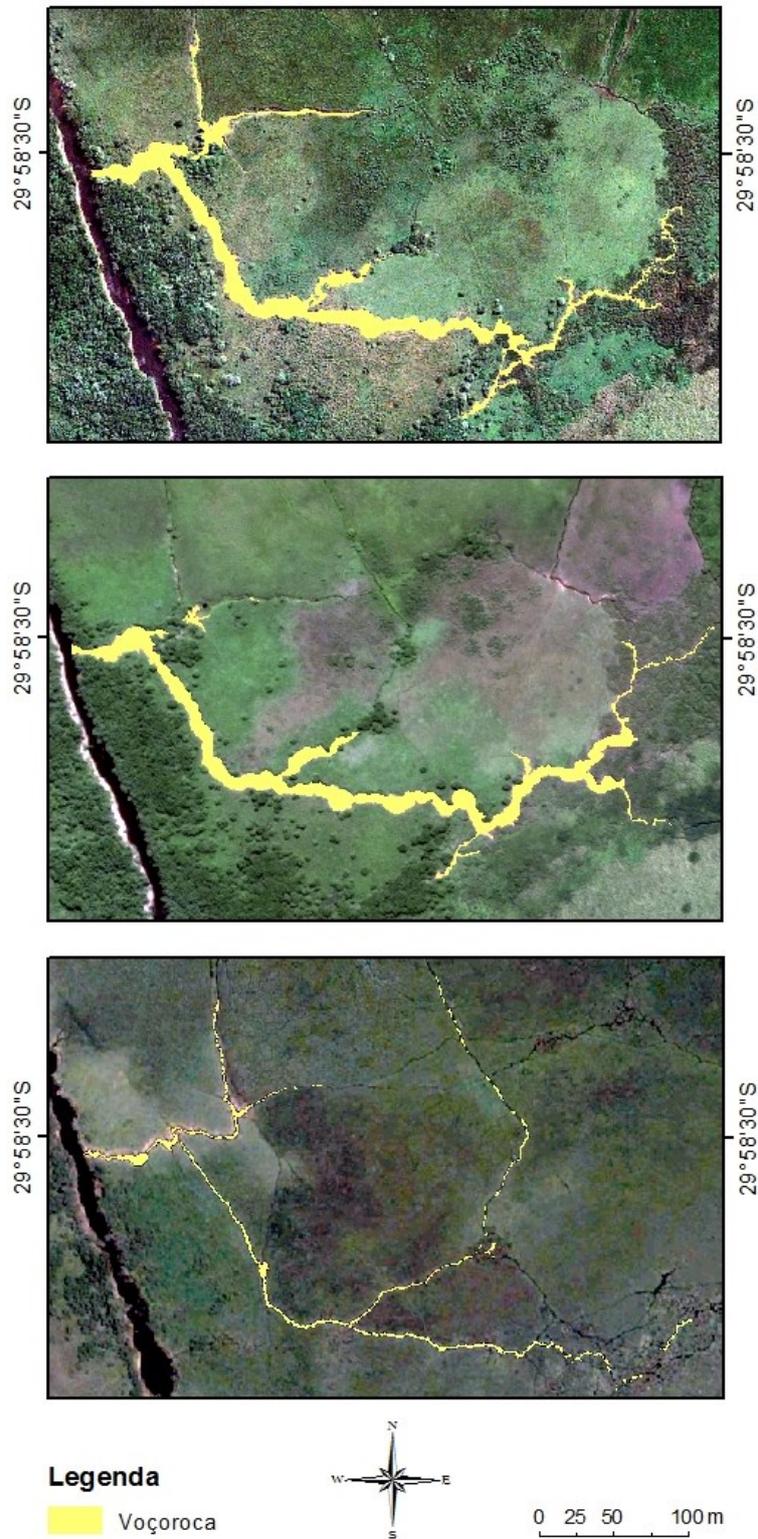


Figura 6- Evolução espacial e temporal do avanço da voçoroca no Banhado Grande, Município de Glorinha/RS. Imagens de 14/11/2003; 18/03/2010; e 05/03/2012. Fonte: Etchelar, 2014.

3.2 Clima e Vegetação

De acordo com Rossato (2011) é classificada como clima Subtropical II, Medianamente Úmido com Variação Longitudinal das Temperaturas Médias. Caracterizando-se pela maior influência dos sistemas polares (45-48% dos dias do ano), porém com interferência crescente dos sistemas tropicais marítimos principalmente na sua porção leste (25-28%).

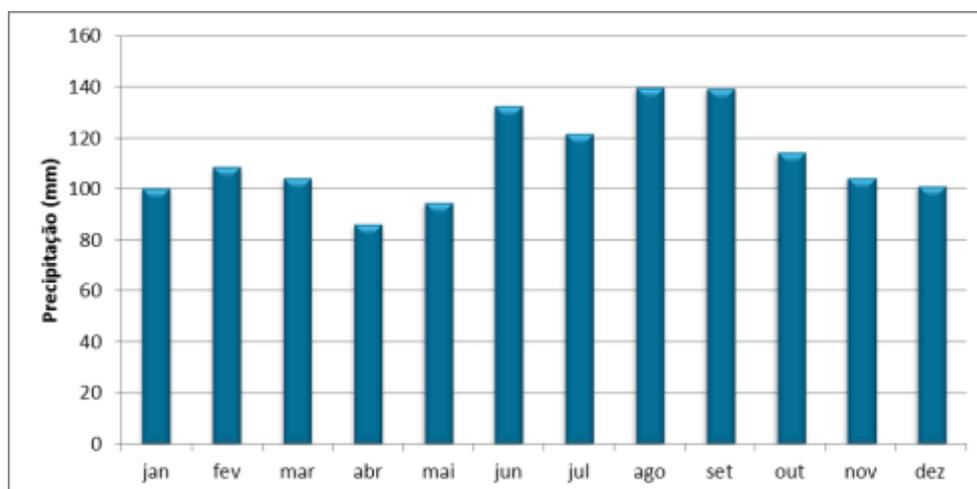
Ainda de acordo com Rossato (2011), neste tipo climático percebe-se um aumento no volume e no número de dias de precipitação. Mensalmente a chuva cai em 6-9 dias, podendo aumentar para 9-12 dias. O volume médio de precipitação mensal varia conforme há um maior ou menor distanciamento do núcleo seco, mas gira em torno de 115-155 mm na maior parte dos meses.

As precipitações da bacia hidrográfica do Gravataí se concentram na região dos patamares da serra, na área centro norte da bacia, principalmente nas nascentes do arroio Demétrio, um importante afluente do rio Gravataí e não na área do Banhado Grande e nas suas cabeceiras (ETCHELAR, 2014).

Ao longo do Plano de Bacia foi realizada a caracterização pluviométrica da bacia hidrográfica, utilizando informações dos postos pluviométricos obtidos junto ao Hidroweb (ANA). As precipitações médias mensais somam 1347,4 mm no ano. Na média mensal, agosto é o mês mais chuvoso (140 mm), e o mês de menor índice pluviométrico é abril (86 mm) (RIO GRANDE DO SUL, 2012).

No gráfico 1 observa-se, portanto, que a variação entre as médias mensais é pequena (Gráfico 1).

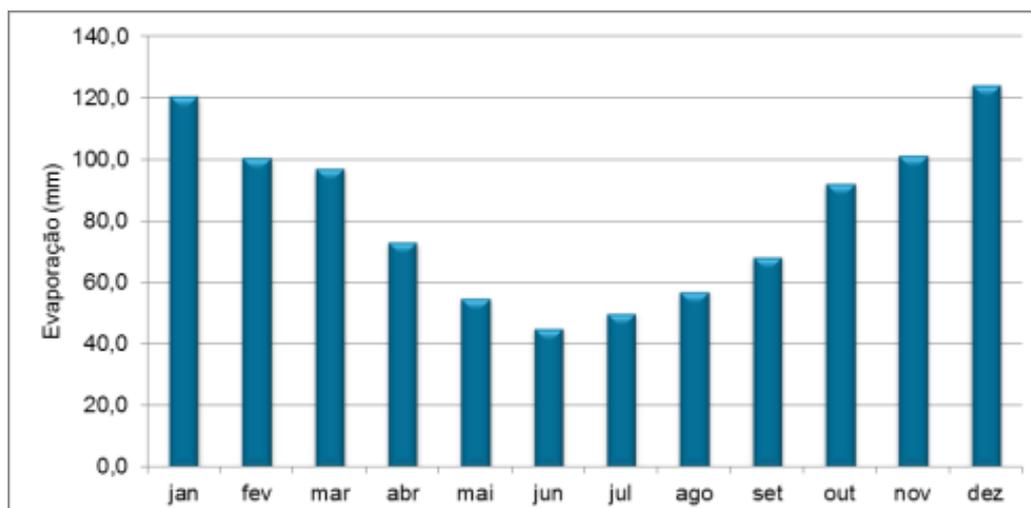
Gráfico 1- Precipitação média mensal (mm)



Fonte: Rio Grande do Sul, 2012.

A evaporação média anual na região do estudo é de 983 mm/ano. No mês de dezembro foi registrada a maior evaporação, na ordem de 124 mm, enquanto que no mês de junho se registra a evaporação mínima que é de apenas 45,1 mm. O Gráfico 2 mostra o desenvolvimento da evaporação média mensal no decorrer do ano (RIO GRANDE DO SUL, 2012).

Gráfico 2- Evaporação média mensal (mm)



Fonte: Rio Grande do Sul, 2012.

A Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí localiza-se fitogeograficamente, parte no Bioma Mata Atlântica (25% da área da bacia, especialmente na encosta do Planalto) e parte no Bioma Pampa (75% da área), e a vegetação natural é caracterizada pela presença de Floresta Estacional Semidecidual, além de Áreas de Tensão Ecológica. A foz dos rios Gravataí, Sinos e Caí que se unem ao rio Jacuí, desaguando no Lago Guaíba, formam o Delta do Jacuí, constituindo em uma das mais expressivas áreas naturais da região metropolitana de Porto Alegre (RIO GRANDE DO SUL, 2012).

De acordo com o levantamento florístico de fragmentos florestais realizado por Oliveira *et al.* (2005) registrou-se a ocorrência de 249 espécies, distribuídas em 70 famílias e 164 gêneros. Verificando o predomínio de elementos arbóreos de distribuição ampla e do contingente florístico das bacias dos rios Paraná-Uruguaí (Floresta Estacional Decidual), sendo também registradas espécies da Floresta Ombrófila Densa da encosta atlântica.

O autor ainda identifica e associa fragmentos de mata paludosa com a região em que se localizam, na Planície Lagunar, se constituindo os últimos e escassos remanescentes da Floresta Estacional Semidecidual submetidos à influência fluvial permanente na bacia.

A vegetação ao longo do rio varia entre faixas de mato (predominantemente ingás e maricás) e campos, além das extensas áreas de cultivo de arroz e pecuária.

3.3 Geomorfologia

A bacia hidrográfica do rio Gravataí é formada numa grande depressão entre a região Planície Marinha a leste e os Relevos Planálticos a oeste, ocupando a zona de transição entre estas duas regiões.

O Programa Técnico para o Gerenciamento da Região Metropolitana de Porto Alegre (PROTEGER, 1994) desenvolveu uma série de estudos, utilizando-se da base de dados do IBGE de 1986, nos quais descreveu e analisou sete unidades geomorfológicas estabelecidas para a bacia do Gravataí.

As unidades foram associadas às respectivas regiões e domínios geomorfológicos (Quadro 1 e Figura 8), sendo elas: a Região Geomorfológica Planície Costeira Interna subdividindo-se em: Unidade Geomorfológica Planície e Terraços Lagunares; Unidade Geomorfológica Coxilha das Lombas e Unidade Geomorfológica Depressão Flúvio-Coluvionar. A Região Geomorfológica Planalto das Araucárias subdivide-se na Unidade Geomorfológica Patamares da Serra Geral, a Região Geomorfológica Depressão Central compreendendo a Unidade Geomorfológica Depressão do Rio Jacuí e a Região Geomorfológica Planalto Sul-rio-grandense subdividida em Unidade Geomorfológica Planalto Residual Canguçu e Unidade Geomorfológica Planalto Rebaixado Marginal.

Quadro 1– Divisão Geomorfológica da Bacia do Rio Gravataí. Fonte – PROTEGER, 1994.

DOMÍNIO	REGIÃO MORFOLÓGICA	UNIDADE GEOMORFOLÓGICA	TIPO DE RELEVO
DEPÓSITOS SEDIMENTARES	PLANÍCIE COSTEIRA INTERNA	Planície e Terraços lagunares Coxilha das Lombas Depressão FlúvioColuvionar	Relevo plano de acumulação Relevo de acumulação eólica, coxilhas, rupturas de declive Relevos planos ondulados, resultantes de lequescoluvionaise cones de dejeção e depósitos enxurradas.
BACIAS E COBERTURAS SEDIMENTARES	PLANALTO DAS ARAUCÁRIAS DEPRESSÃO CENTRAL GAÚCHA	Patamares da Serra Geral Depressão do rio Jacuí	Relevo de Encosta Platô Escarpa Relevo de Costa Arenítico-Basáltica Superfície Aplainada, pedimentos, coxilhas Ruptura de declive
EMBASAMENTOS EM ESTILOS COMPLEXOS	PLANALTO SUL RIO-GRANDENSE	Planalto Residual Canguçu Planalto Rebaixado Marginal	Maciço de Porto Alegre Coxilhas Superfície Aplainada, pediplano

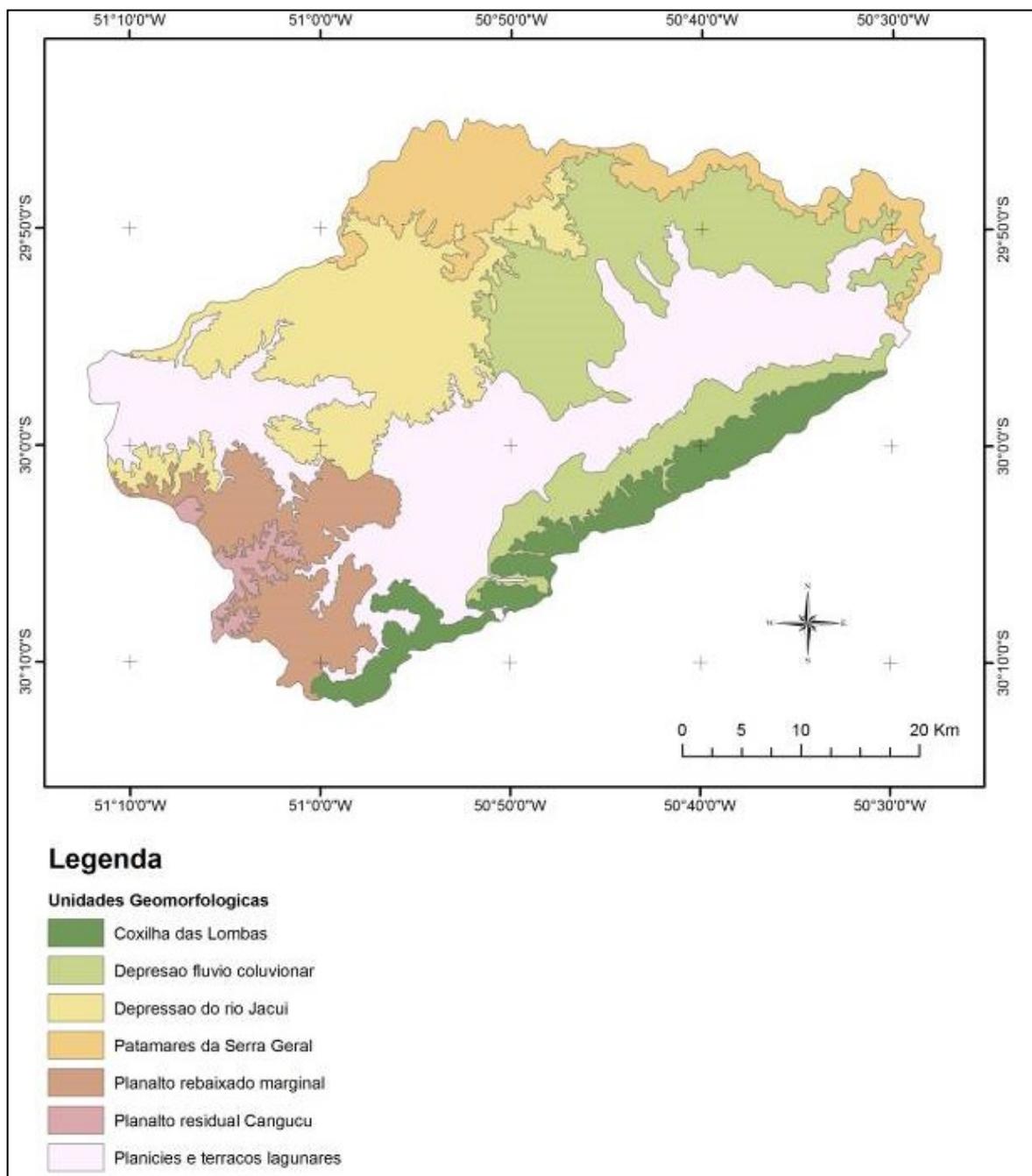


Figura 7- Mapa da Geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Gravataí. Fonte: ETCHELAR, 2014 modificado de PROTEGER, 1994.

Rubbo (2004), em sua pesquisa, sobre o potencial hidrogeológico do aquífero cenozoico, gerou um Modelo Numérico do Terreno (MNT) da região que estudou na bacia hidrográfica do Gravataí, na Figura 9 visualiza-se a representação do relevo pelo MNT. Observa-se um relevo aplainado na parte onde Rubbo delimitou o aquífero confinado e cotas mais altas na porção sudeste onde se encontra a região compartimentada como zona de recarga (Coxilha das Lombas).

Neste limite as cotas atingem valores de 150 metros. A variação do nível topográfico na área é de aproximadamente 20 metros. A parte mais baixa apresenta cotas no intervalo 20 a 30 e se estendem no sentido nordeste – sudoeste e as cotas mais altas encontram-se na lateral esquerda com cotas da ordem de 40 metros (RUBBO, 2004).

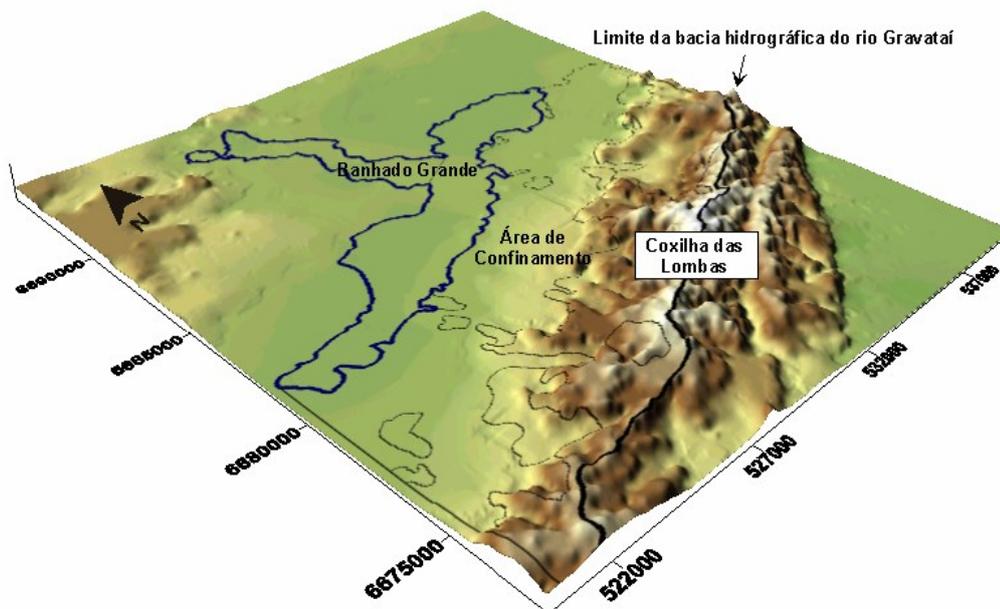


Figura 8- Modelo numérico do terreno de área da Bacia Hidrográfica do Gravataí.
Fonte: Rubbo, 2004

O MNT gerado por Rubbo, mesmo não se estendendo à totalidade da bacia demonstra o padrão de altimetria extremamente baixo de grande parte da região, que abrange a área de estudo desta pesquisa.

3.4 Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande

Em 1998 foi criado através do Decreto Estadual nº 38.971/1998 a Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande (APABG), com a finalidade de preservar as áreas úmidas da bacia hidrográfica do Gravataí e conciliar o uso sustentável da região.

Os objetivos da APA BG, segundo o Decreto Estadual nº 38.971/1998, consistem em:

- I - preservar o conjunto de banhados conhecidos pelos nomes de Banhado do Chico Lomã, Banhado dos Pachecos e Banhado Grande; II - compatibilizar o desenvolvimento socioeconômico com a proteção dos ecossistemas naturais ali existentes; III - conservar o solo e os recursos hídricos, com a implementação de estratégias de gerenciamento em nível de bacia; IV - recuperar as áreas degradadas

com vista à regeneração dos ecossistemas naturais; V - contribuir para a otimização da vazão do rio Gravataí; VI - proteger a flora e a fauna nativas, principalmente as espécies da biota, raras, endêmicas, ameaçadas ou em perigo de extinção; VII - proteger os locais de reprodução e desenvolvimento da fauna e da flora nativa para proteger o conjunto de banhados.

A APA BG ocupa 2/3 da bacia e possui uma área aproximada de 137.000 hectares (Figura 10), sendo cerca de 40% no município de Viamão, 33 % em Santo Antônio da Patrulha, 24% em Glorinha e 7% em Gravataí.

Os limites geográficos extremos da APA são: Norte: 29°45'58"S / 50°47'14" O, em Glorinha; Leste: 29°48'43"S / 50°27'55"O, em Santo Antônio da Patrulha; Sul 30°12'11"S / 50°58'10"O e Oeste 30° 7'47"S / 51° 5 '52"O, em Viamão (RIO GRANDE DO SUL, 2012).

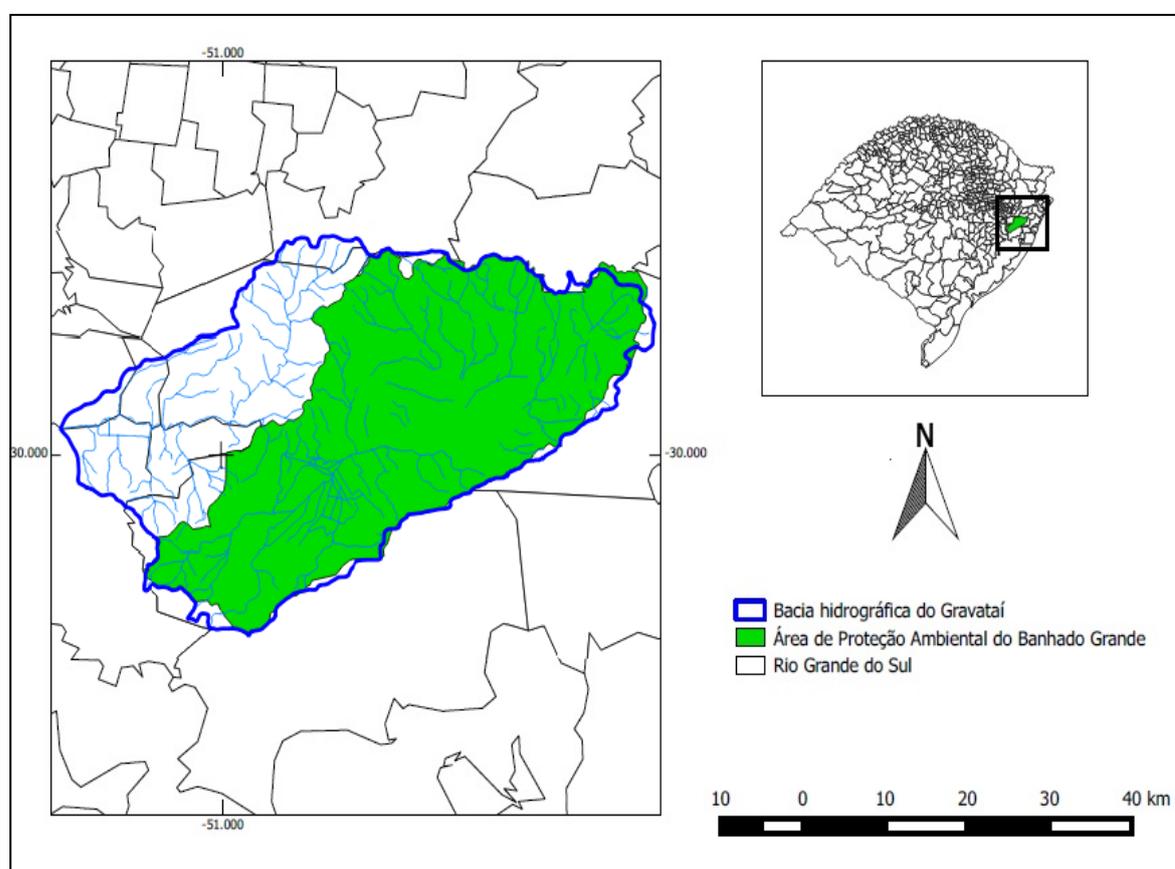


Figura 9 - Mapa de localização da APA do Banhado Grande na Bacia Hidrográfica do Gravataí.

Os banhados nesta bacia têm importância significativa na manutenção de recursos hídricos por abrigarem as nascentes do rio Gravataí. As áreas úmidas e os fragmentos de mata nativa, remanescentes na bacia, são fundamentais para a conservação da biodiversidade local e regional.

A APABG é uma das áreas úmidas mais importantes do Rio Grande do Sul. Situada

na depressão central da bacia, esses banhados são reguladores naturais do fluxo do rio Gravataí, e funcionam como “esponjas” que amortecem os picos das cheias provocadas pelas enxurradas de precipitação, acumulam a água durante as épocas de enchentes e a liberam durante os períodos de estiagem IPH (2002 *apud* GUASSELLI *et al.*, 2013).

Com base nas pesquisas de Scheren (2014), que constata os impactos da ocupação da planície de inundação do rio Gravataí, e de Etchelar (2014), que ressalta o acelerado processo erosivo no interior do Banhado Grande, evidencia-se a descaracterização dos recursos naturais ocorrida na região. Aos motivos atribuídos a estas modificações ressalta-se, a retificação do curso do rio Gravataí, a eliminação de extensões de mata para silvicultura, a drenagem para a agricultura e o aterramento para construção de residências. Além da falta de saneamento, despejo de águas residuais da agricultura, caça e pesca ilegal.

Segundo Guasselli *et al.* (2013), atualmente as áreas úmidas da bacia encontram-se significativamente alteradas. Desde a década de 40, a bacia tem sido densamente ocupada por áreas agrícolas para o cultivo de arroz, drenando suas áreas inundáveis e transformando os cursos d’água em uma malha de canais de irrigação.

Outra evidência ressaltada por Piccoli, *et al.* (2000), pode ser observada nos períodos de verão onde a bacia do rio Gravataí atinge uma situação limite no que se refere à disponibilidade de água, muito próxima do colapso no atendimento das demandas. Neste período é realizada a prática de irrigação do arroz (normalmente nos meses de dezembro a março), sendo este o maior consumidor de água na bacia.

Agrega-se a estas atividades, o reflorestamento com espécies exóticas como acácia e eucalipto, e a forma de uso do solo nas pequenas propriedades e sítios de lazer, que tem gerado como resultado um mosaico de diferentes unidades paisagísticas, ou seja, uma paisagem extremamente fragmentada.

Dentre os usos do solo na APA BG, encontram-se um sistema de agricultura orgânica no Assentamento Filhos de Sepé, do Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST) em uma área cedida pelo INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária).

O Assentamento existe desde 1998, tem uma extensão territorial de 11 mil ha, localizando-se no município de Viamão nas proximidades do Banhado dos Pachecos. O Assentamento é composto por cerca de 370 famílias e desde 2001 vem aumentando sua produção de arroz orgânico, em 2013 a área de cultivo orgânico ocupou cerca de 1500 ha.

No interior da APA BG, há uma Unidade de Conservação de Uso Integral, o Refúgio da Vida Silvestre Banhado dos Pachecos, criado em 2002. O refúgio abriga uma das mais

importantes nascentes do rio Gravataí e o Banhado dos Pachecos.

Segundo a SEMA/RS (2015), é o único local do Estado onde encontra-se o Cervo-do-pantanal (*Blastocerus dichotomus*); também vivem ali o Jacaré-de-papo-amarelo (*Caiman latirostris*) e aves como o Curiango-do-banhado (*Eleothreptus anomalus*), a Noivinha-de-rabo-preto (*Heteroxolominis dominicana*), a Veste-amarela (*Xnathosur flavus*), o Narcejão (*Gallinula undulata*), a Corruíra-do-campo (*Cistothorus platensis*), o Maçarico-real (*Theristicus caerulescens*), e a ema (*Rhea americana*).

Muitos destes estão incluídos na Lista Vermelha de animais ameaçados de extinção do Instituto União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais (UICN).

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O referencial teórico foi estruturado em seis tópicos que abrangem a temática da pesquisa. Inicialmente abordam-se os sistemas fluviais, suas dinâmicas, a formação de planícies de inundação, os padrões de canais e sua capacidade de erosão e equilíbrio. O segundo tópico aborda as retificações e seus impactos diretos e indiretos na bacia hidrográfica e nas áreas urbanas. Posteriormente no terceiro tópico discute-se o conceito e a aplicação da renaturalização para rios e cursos d'água, e o quarto tópico apresenta as técnicas de bioengenharia, amplamente difundidas e historicamente aplicadas. O quinto tópico abrange as geotecnologias e a aplicabilidade de suas ferramentas em estudos de cunho ambiental. E por último, no sexto tópico as bases legais para restauração e preservação de margens de rios e córregos no Brasil e no Rio Grande do Sul.

4.1 Sistema Fluvial

Um sistema fluvial pode ser considerado como qualquer sistema físico ou histórico de um rio. No primeiro enfoque, como sistema físico, aborda o funcionamento do rio, normalmente em determinados intervalos de tempo, enquanto no segundo enfoque, como sistema histórico de um rio, aborda diretamente as tendências evolutivas do mesmo. Significando que as mudanças que se processam no sistema fluvial ocorrem ao longo de variações na escala temporal (KNIGHTON, 1998),

A ação fluvial altera a dinâmica dos rios e modela as formas do relevo. Segundo Ab'Saber (2000), a planície fluvial, ou planície de inundação, é uma área de sedimentação ativa, oriunda do transbordamento das águas carregadas de sedimentos das margens dos rios. Planícies fluviais podem ser consideradas áreas de transporte e armazenamento temporário de sedimentos. Sendo formas oriundas da referida ação fluvial que podem ter definições diferentes de acordo com o enfoque do estudo.

Christofolletti (1980) traz algumas definições para planícies de inundação:

Topograficamente, pode-se dizer que planície constitui-se numa superfície relativamente uniforme, próxima ao rio; *Hidrologicamente* é definida como uma superfície sujeita a inundação periódica; *Geologicamente*, é a área do vale fluvial recoberta com materiais depositados pelas cheias; *Geomorfologicamente* trata-se de uma forma de terreno composta de material inconsolidado depositado pelo rio em épocas distintas.

As planícies fluviais estão intrinsecamente relacionadas com os mecanismos do canal. A planície de inundação surge como resposta ajustada à magnitude e frequência das cheias,

que se torna a principal responsável pelo controle da largura e das características geométricas da planície (PEREZ FILHO e CHRISTOFOLETTI, 1977).

Um fator determinante para o desenvolvimento das planícies de inundação e de seus depósitos é o padrão do canal. A ocorrência de uma inundação de certa magnitude promove diferentes efeitos na dinâmica do canal, dependendo da condição inicial do padrão do canal antes do evento. Os fatores físicos que determinam a organização dos processos de transporte, erosão e sedimentação presentes na água, combinam-se diferentemente ao longo da bacia de drenagem, produzindo distintos padrões de canais fluviais (CHRISTOFOLETTI, 1981). Estes padrões podem ser encontrados no mesmo rio, em rios diferentes e até mesmo em períodos distintos na mesma secção de um mesmo rio.

Os canais podem ser classificados em quatro tipos básicos: o retilíneo, o meandrante, o anastomosado e o entrelaçado, Figura 11. O canal retilíneo possui sinuosidade desprezível, em relação à sua largura, e geralmente está associado a planícies fluviais estreitas. Apesar de um canal ser retilíneo, a presença de carga detrítica na água provoca uma tendência à formação de soleiras e depressões. Dependendo de algumas condições, como velocidade do fluxo, gradiente e tamanho e quantidade de sedimentos, um canal retilíneo pode se transformar em um canal meândrico, ou mesmo anastomosado (SILVA, 1997). A presença desses canais com origem natural é muito rara, estando geralmente associados a obras antrópicas de regulagem de vazão e drenagens.

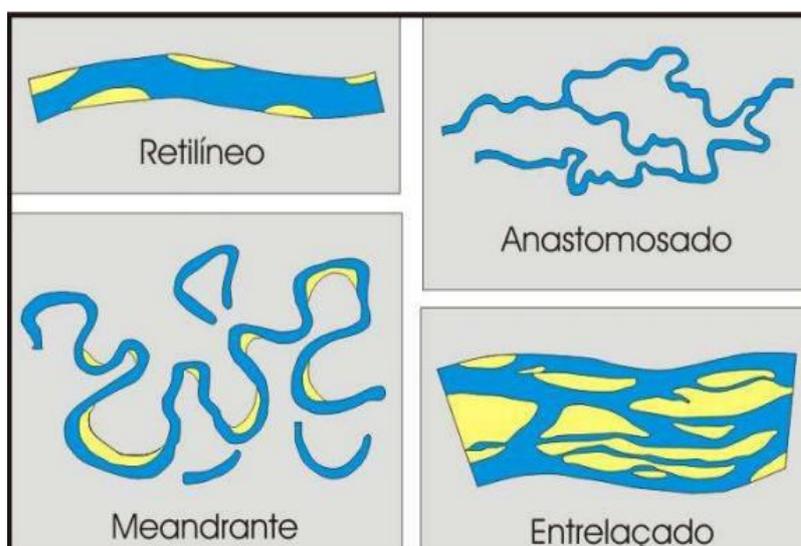


Figura 10– Quatro tipos básicos de canais. Fonte: Peroni (2003).

Os rios meândricos, de acordo com Guerra (1998), possuem elevada sinuosidade, e descrevem curvas harmônicas e semelhantes. Pelas características do fluxo, ocorre degrada-

ção nas margens côncavas e deposição nas margens convexas, que determinam o processo de divagação meândrica. O canal desloca horizontalmente suas curvas tanto a jusante como lateralmente. Essas formas meandantes representam um estado de estabilidade do canal. A área da planície ocupada pelos meandros atuais e demais paleoformas denomina-se faixa de meandros.

O desenvolvimento de meandros é, em parte, uma consequência da necessidade que o rio tem de aumentar seu comprimento, quando a declividade que requer para transportar o líquido e os sedimentos é menor que a declividade geral do leito, no sentido do escoamento. Os meandros são curvas que parecem não avançar em seu caminho, elas sofrem migração para a jusante com o tempo de acordo com a necessidade do rio em encontrar seu equilíbrio (SILVA, 2004).

Os canais meândricos, devido ao processo de divagação meândrica, apresentam mais deposições por acréscimo lateral do que vertical, promovendo rápida migração lateral do canal (CHRISTOFOLETTI, 1981). Em virtude dessa dinâmica são encontrados com maior frequência em áreas úmidas e cobertas pela mata ciliar.

O padrão anastomosado caracteriza-se por um canal ramificado em sucessivos canais menores, que se subdividem por pequenas ilhas ou barras arenosas. O grande volume de carga detrítica de fundo, aliado às condições de fluxo, promove o surgimento desses bancos de sedimentos ou ilhotas. Devido à baixa resistência de suas margens, entre os períodos de cheia e vazante, as dimensões e posições dos canais se alteram, provocando uma indefinição de suas margens (PEIXOTO, 2007).

Segundo Peroni (2003), os rios entrelaçados caracterizam-se pelo amplo domínio de carga de fundo de granulação grossa, grande variabilidade de descarga e facilidade de erosão nas margens. A formação desse sistema se dá pela variação de descarga, isso possibilita a formação de depósitos de barras longitudinais, os quais obstruem a corrente e ramificam o fluxo.

Condições hidrológicas e geomorfológicas interagem para determinar padrões e processos fluviais em várias escalas. Em pequena escala espacial, o padrão de movimento da água durante uma inundação sazonal, por exemplo, produz áreas de solos aeróbicos e anaeróbicos sobre a planície de inundação, que se diferem na dinâmica de nutrientes e decomposição. Feições topográficas de grande escala como as planícies de inundação, assim como os terraços, refletem um ajuste do rio na busca do equilíbrio, e podem ter se formado por processos relacionados com glaciação/deglaciação, mudanças do nível do mar (ou níveis de base),

movimentos tectônicos, oscilações climáticas e outros fenômenos desta ordem de escala (WARD & STANFORD, 1995).

Na ótica de um sistema, a capacidade de erosão das margens de um rio, bem como o transporte e deposição de sedimentos dependem, entre outros fatores, da vazão e da natureza das correntes fluviais, refletindo em uma condição estável (equilibrada) do canal fluvial. Qualquer modificação rompe com esta estabilidade, repercutindo de imediato nas condições de erosão, transporte e deposição até chegar a uma nova condição de equilíbrio (CHRISTOFOLETTI, 1980).

As modificações no uso do solo através dos desmatamentos e do aumento das superfícies impermeáveis, como também, as constantes mudanças na morfologia dos canais, através de obras de engenharia, vêm alterando drasticamente os cursos dos rios urbanos (VIEIRA e CUNHA, 2008).

4.2 Retificação

A retificação de rios, conhecida também como canalização, por muitos anos foi apontada como solução para os problemas de inundação urbana e aumento da vazão para abastecimento humano e irrigação. De acordo com Porto *et al.* (1993), entretanto, apesar da retificação ter como objetivo o escoamento rápido da água sem transbordamento do canal, as obras acabam cobrindo vários canais urbanos com placas de cimento e apenas transferindo, de acordo com Tucci (1995), os pontos críticos de inundação de um lugar para outro na bacia.

A retificação de rios sem estrutura cimentada é uma opção utilizada para mitigar o impacto da inundação que foi transferida do meio urbano para outros pontos da bacia. Segundo Brookes (1987, *apud* Vieira e Cunha, 2008), a retificação comporta dois tipos de impactos: o direto e o indireto, o primeiro induzido pela modificação do canal e o segundo como resultado da conectividade do sistema fluvial, ou seja, uma repercussão da mudança em um dado local pode ser transmitida sobre uma ampla área, especialmente em direção a jusante.

Conforme Vieira e Cunha (2008) afirmam, o impacto direto modifica o canal principalmente por retificação, alargamento, aprofundamento e estreitamento dos cursos d'água. De acordo com Ramos (1995), um tipo de intervenção direta muito comum é o que altera a declividade natural do rio, seja pela retificação do traçado, ou pela construção de barramentos.

Já os impactos indiretos, como citado por Knighton (1998), modificam a descarga e/ou carga de sedimentos transformando as características naturais do rio. De acordo com Cunha

(1995), as intervenções refletem imediatamente no padrão dos canais, na forma da seção transversal e no perfil longitudinal dos rios, transformando suas características naturais.

De acordo com Vieira e Wilson Jr. (2005), a retificação do leito de um rio implica em que, para uma mesma energia potencial, o rio tenha um menor percurso a percorrer. Assim, muitos efeitos são percebidos (Figura 12), com destaque para:

Diminuição da frequência de extravasamento de cheias pequenas e médias; Aumento das vazões das áreas de jusante; Diminuição da biota aquática e terrestre, gerando empobrecimento do ecossistema; Erosão das áreas de jusante; Redução do perfil com encurtamento do rio e aprofundamento do leito; e interrupção da conexão entre margens.

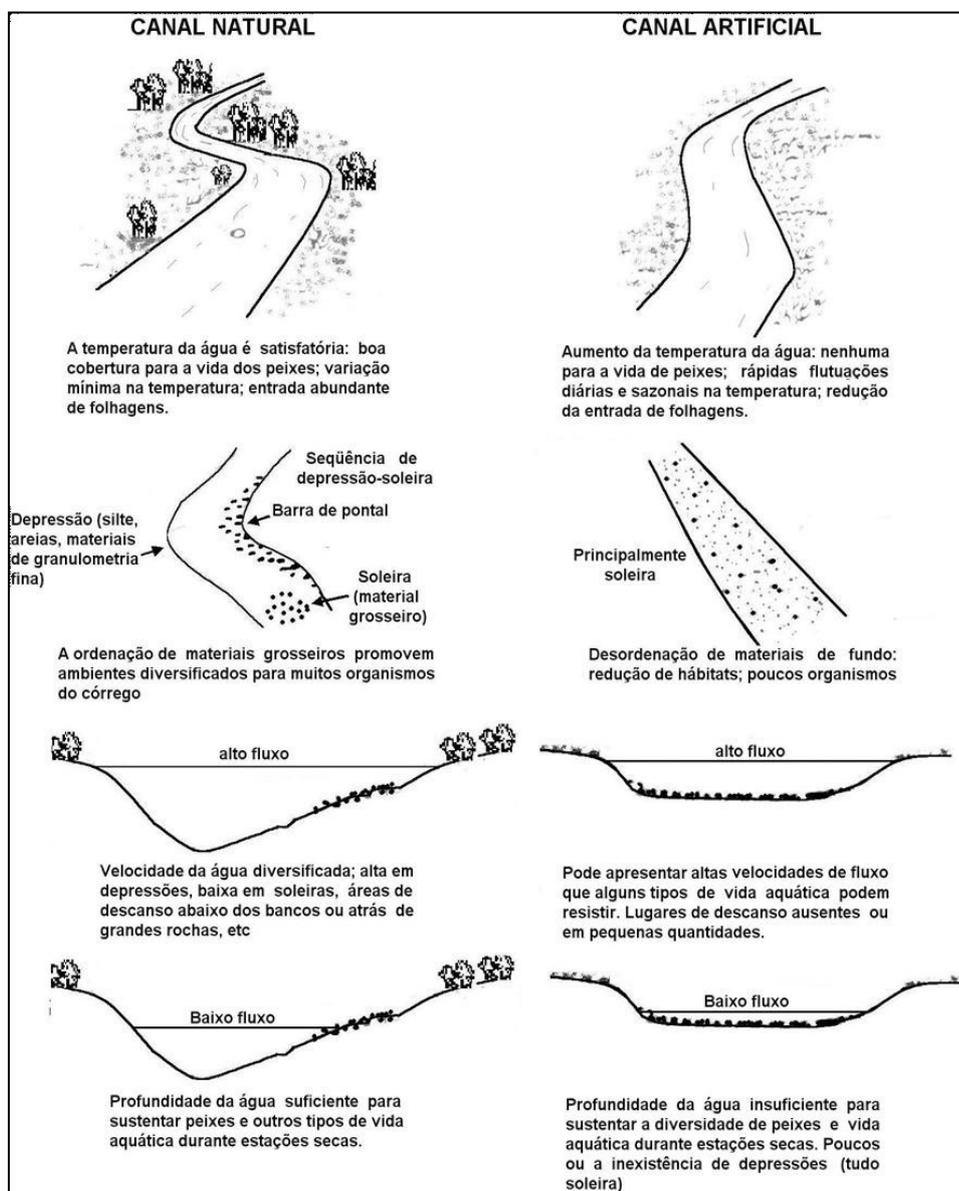


Figura 11- Comparação entre a morfologia de curso natural e de um curso fluvial modificado.

Fonte: SANDER *et al.* (2012 adaptado de BROOKES, 1996).

A retificação, ou canalização, de cursos d'água ocorre mais frequentemente em zonas urbanas com o objetivo de aumentar a área habitável e drenar as águas pluviais, com a construção de canais cimentados. Já nas zonas rurais a canalização não prioriza as técnicas de cimentação e objetiva geralmente a drenagem de áreas úmidas, visando o aumento da área cultivável e o bombeamento para irrigação e dessedentação de animais. Essas obras de canalização em conjunto com ações de desmatamento para extração de madeira ou para implantação de agricultura, por exemplo, levam a uma maior produção de escoamentos superficiais e de sedimentos na bacia (VIEIRA e WILSON JR., 2005).

Com a modificação significativa do padrão de escoamento, o rio sofre com vazões de pico, redução das vazões de base, redução do tempo de concentração da bacia e perda de ecossistemas fluviais. A perda desses ecossistemas reflete em um impacto preocupante, visto que, de acordo com Richards *et al.* (2002), a dinâmica do canal também está diretamente ligada ao surgimento de novas superfícies para colonização e regeneração. Rios em condições naturais sofrem variações de vazão, que levam à renovação de sua morfologia típica e das áreas inundáveis. Assim, o ecossistema fluvial é determinado por uma grande variedade de núcleos biológicos, estruturas e condições específicas, que se inter-relacionam (VERÓL, 2013).

Ainda de acordo com Veról (2013), no passado, a retificação dos rios meândricos (Figura 13) era muito empregada, com o objetivo de aproveitamento de áreas para agricultura, urbanizações, construção de rodovias e ferrovias e a minimização do efeito local das cheias.

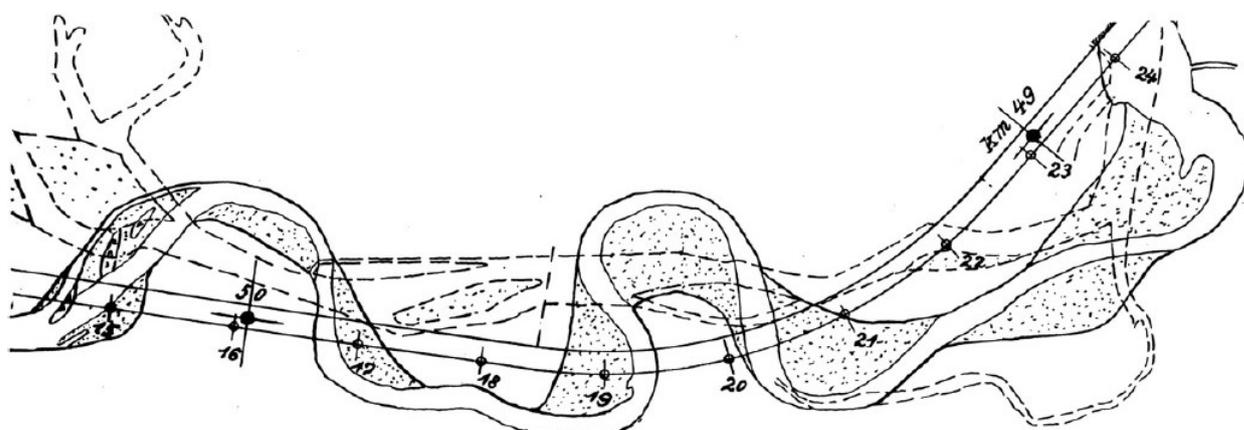


Figura 12– Projeto de retificação de meandros de um rio na Alemanha. Fonte: Selles et al. (2001).

Os efeitos decorrentes desse tipo de intervenção logo apareciam, ou seja, a abordagem clássica que atribui aos rios características de canais estáveis e fixos, com várias obras de defesa contra as cheias (diques, proteção das margens, etc.), na maioria dos casos provou não ser a melhor solução, ao longo do tempo. De fato, os prejuízos estão aumentando e enormes quantidades de dinheiro são gastos a cada ano para reparar estes danos e para realizar novas obras hidráulicas, numa espiral interminável de custos crescentes.

Atualmente o debate em torno do uso dos recursos hídricos, de acordo com Sepúlveda (2010), é intenso. Pode-se dizer que vivemos uma situação de conflito pelo uso dos cursos d'água, principalmente quando nos deparamos com as intervenções adotadas nas áreas urbanas.

Para alguns, a destinação desses cursos d'água deve ser aquela de manter suas funções ecológicas e as características mais próximas das condições naturais. Contrariamente, temos aqueles que, a partir de paradigmas já superados, entendem que os cursos d'água em áreas urbanas devem desempenhar sua função hidráulica de drenagem das águas pluviais, ou seja, têm a única função de drenar essas águas das nossas cidades. Ainda segundo Sepúlveda (2010), a adoção de soluções visando atender exclusivamente a essa função hoje nos traz as inundações nas grandes e médias cidades brasileiras, modelo que se mostrou insustentável.

Acerca deste debate surge a implementação de um conceito recente em termos de recuperação ambiental de rios, a renaturalização.

4.3 Renaturalização

Após o fim da Segunda Guerra Mundial iniciou-se um processo de (Re)construção de paradigmas, conceitos e cidades. Ainda baseado no princípio higienista estabeleceram-se os primeiros planos de renovação urbana, marcando o início de uma era baseada no prefixo “re”.

De Vasconcellos e De Mendes (2003) buscam estabelecer diálogos frente a utilização errônea e equivocada de muitos conceitos com o prefixo “re” inerentes a projetos de intervenções em centros urbanos com características ambientais e conservacionistas.

O prefixo re começa a ser empregado nas novas definições, representando referências explícitas às preexistências. O re é uma estratégia que considera (ou finge considerar) a inclusão do Tempo na análise do Espaço, sem, contudo, explicitar um significado e uma metodologia para tal. Aparece aí o modismo oportunista, as imprecisões de definição e da própria metodologia a ser adotada. Misturam-se os conceitos, pois esses foram transportados de um campo de conhecimento para outro. (DE VASCONCELLOS e DE MENDES, 2003, p.62).

O emprego destas nomenclaturas utilizando o “re” foram exaustivamente inseridas nos textos acadêmicos, institucionais públicos e privados. O uso dessas terminologias foi utilizado “indiscriminadamente e sem grande preocupação com sua conceituação mais precisa” (PASQUOTTO, 2010 apud JR SIMÕES, 1994).

A conceituação dos termos utilizados em projetos e obras de cunho mitigatório de passivos ambientais em cursos d’água consiste-se em uma grande lacuna na legislação brasileira. De acordo com Alves (2003), essa situação promoveu o surgimento de um novo processo que busca a recuperação dos recursos naturais dentro de áreas urbanas deterioradas ou degradadas, denominado de “renaturalização” (Renaturalization), sendo este, “uma tentativa de restabelecimento, por meio de medidas de configuração do biótopo, de uma condição natural, ou quase natural, de um espaço paisagístico danificado por intervenções humanas”.

Nos últimos 16 anos, dezenas de rios europeus, da Inglaterra à República Tcheca, passando por Alemanha, Espanha e Suécia, estão sendo devolvidos a seu curso natural. A medida foi fruto de uma determinação da Diretiva de Trabalhos sobre Água da União Europeia, em 2000, que determinou que os países do bloco retornassem todos seus rios a um “bom estado” até 2015. Isso significa que os rios não deveriam mais ser usados como depósito de esgoto industrial. Também não poderiam mais ser canalizados e concretados para navegação. O resultado, de acordo com especialistas, foi que engenheiros europeus pararam de tentar despoluir os rios e conter enchentes usando concreto. Eles decidiram recuperá-los trazendo os rios de volta a seus cursos naturais (FREITAS, 2016).

Ainda de acordo com Freitas (2016), depois que um grande alagamento no rio Reno, em 1995, atingiu grandes cidades na França, na Bélgica, na Holanda, em Luxemburgo e na Alemanha, alguns engenheiros começaram a repensar a eficiência do modelo de barragens e retificação. A Holanda, famosa por sua engenharia de barragens, chegou à conclusão de que um rio em cheia encontrará o ponto mais fraco de uma barragem ou de um assoreamento e irá rompê-los, não importa quão altas essas construções sejam. A partir disso a estratégia virou outra: permitir os alagamentos e dar espaço para que o rio voltasse a seu curso natural.

Sendo assim, a renaturalização de rios pode ser entendida como um processo que envolve a multi e a interdisciplinaridade de vários ramos dos saberes e, o que é mais importante, a condução participativa do processo (SAUNDERS & NASCIMENTO, 2006).

Binder (2001), afirma que o conceito de renaturalização quando utilizado para recursos hídricos, têm por objetivos: “recuperar os rios e córregos de modo a regenerar o mais

próximo possível a biota natural, através do manejo regular ou de programas de renaturalização e preservar as áreas naturais de inundação impedindo usos que inviabilizem tais funções”. Ou de acordo com Souza e Kobiyama (2003), define-se como o processo de trazer ao rio sua condição mais natural ou original possível.

Neste processo é importante que o rio retorne às condições de um ecossistema de águas correntes naturais. Rios são considerados naturais quando não poluídos e quando possuem capacidade natural de modificar seu leito e curso, ou seja, quando possuem dinâmica de fundo, dinâmica de margens e dinâmica de áreas de inundação (BINDER, 2001).

Na maioria das vezes, entende-se como o retorno das águas correntes que foram tecnicamente modificadas podendo também tratar-se da restauração do curso “ondulante” (meandros) original e da recomposição vegetal de suas margens (CALDERARI, 2012).

Saunders & Nascimento (2006) apontam algumas medidas gerais necessárias para uma renaturalização, tais como: buscar a morfologia mais natural dos rios; arborizar e/ou estabelecer a vegetação espontânea marginal; restabelecer a continuidade dos cursos d’água para fauna migratória; restabelecer os locais para desova e biótopos aquáticos; dentre outras. A renaturalização pode depender de muitos fatores, inclusive da intensidade e extensão do esquema de retificação. A renaturalização também depende do melhoramento do habitat, contudo, isso pode ser naturalmente, ou artificialmente induzido.

De acordo com Binder (2001), muitos são os benefícios da renaturalização, tais como: redução ou fim de alagamentos, já que o rio pode voltar a correr em seu curso natural e não precisa “escapar” da rota; restauração do ecossistema local, incluindo fauna e flora, além das rotas de migração dos peixes; melhora na qualidade da água; Restauração do valor recreacional do rio; e queda na poluição gerada por erosão e sedimentos.

Pode-se propor a recomposição dos substratos dos rios e de suas margens por meio de iniciativas que utilizem materiais naturais, recomposição da biota aquática, conservação de áreas naturais de inundação e investimentos em projetos ambientais e educação ambiental.

De acordo com Selles *et al.* (2001), a recuperação dos cursos d’água até a sua forma original, quase sempre, necessita de grandes áreas e isso pode tornar muito onerosa e praticamente impossível de se realizar. Entretanto, através dessas técnicas, sempre há possibilidades de melhorar a situação ecológica de rios retificados, através de projetos de renaturalização adotando as seguintes medidas:

Permitir que o rio desenvolva um curso mais natural e volte a formar meandros. Depois de certo tempo, os processos erosivos fluviais se estabilizariam e assim,

facilitam o ressurgimento da biota, e conseqüentemente a revitalização do rio. Em comparação à situação anterior (rio retificado), necessita-se de mais áreas marginais. A mata ciliar melhora as condições ecológicas, hidrológicas e morfológicas. Por isso, nesses trechos de rios deve-se proteger ou plantar mata de espécies nativas (SELLES *et al.*, 2001).

Os objetivos da renaturalização são alcançados à medida que o plano de renaturalização considera, simultaneamente, os conhecimentos de engenharia hidráulica e técnicas de bioengenharia, em seu desenvolvimento. A renaturalização de um rio, não significa a volta a uma paisagem original não influenciada pelo homem, mas corresponde ao desenvolvimento sustentável dos rios e da paisagem em conformidade com as necessidades e conhecimentos contemporâneos (BINDER, 2001).

Em áreas rurais ou mais naturais, muitas vezes a degradação fluvial se refere à remoção de vegetação ripária ou da erosão da bacia, promovida por cultivos agrícolas ou obras de canalização dos rios, sendo assim, com os cuidados apropriados, o corredor fluvial pode ser restaurado (VERÓL, 2013).

A renaturalização de rios originalmente meandrantés, e posteriormente canalizados consiste em melhorar os raios de curvatura do rio retificado devolvendo o equilíbrio ecológico para o ecossistema.

Na Figura 14 podemos visualizar as 3 fases do processo de renaturalização: Fase I - aonde é realizada a disposição de áreas marginais ao rio (compra ou desapropriação de terrenos ocupados), deslocamentos das construções existentes nas margens transformação do uso do solo em faixa marginal de proteção, aumento da calha por meio de obras transversais (o ideal é modificar uma lateral da calha por vez) e iniciar o plantio de mudas, principalmente nas baixadas inundáveis; Fase II – Aonde ocorre a observação do desenvolvimento natural, permitindo a sucessão natural, modificação da outra lateral da calha e intervenções com métodos de engenharia ambiental quando necessário; e na Fase III – Observar-se o processo de renaturalização em desenvolvimento e manutenção do sistema (SELLES *et. al*, 2001).

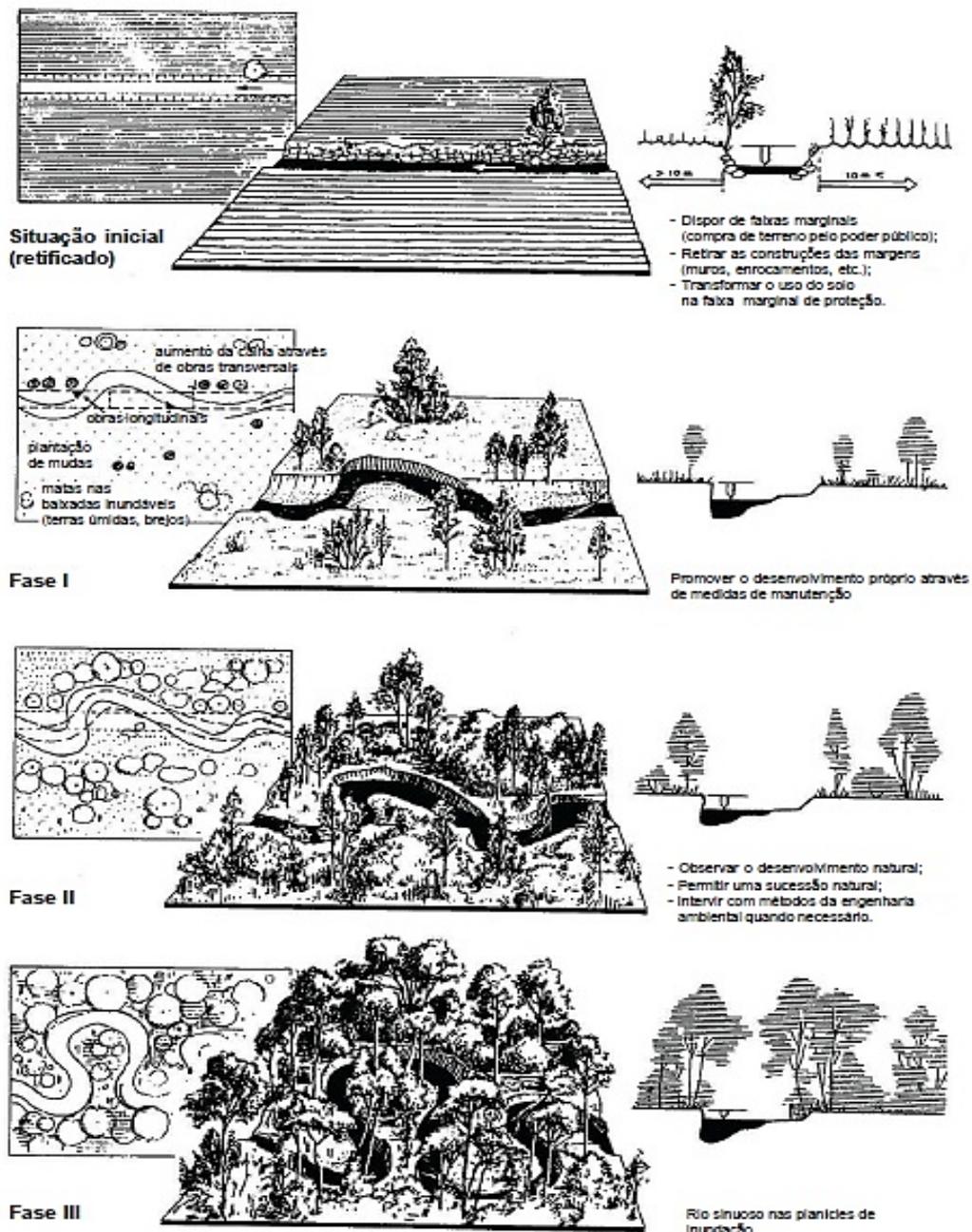


Figura 13– Representação esquemática da evolução de rio retificado em rio renaturalizado.
Fonte: Selles *et al.*, 2001.

Neste contexto, de acordo com o que podemos observar na Figura 15, espera-se a melhora do controle dos processos erosivos, das condições de escoamento e a recuperação das áreas de várzea através da evolução do processo de renaturalização de um rio retificado (BINDER, 2001).

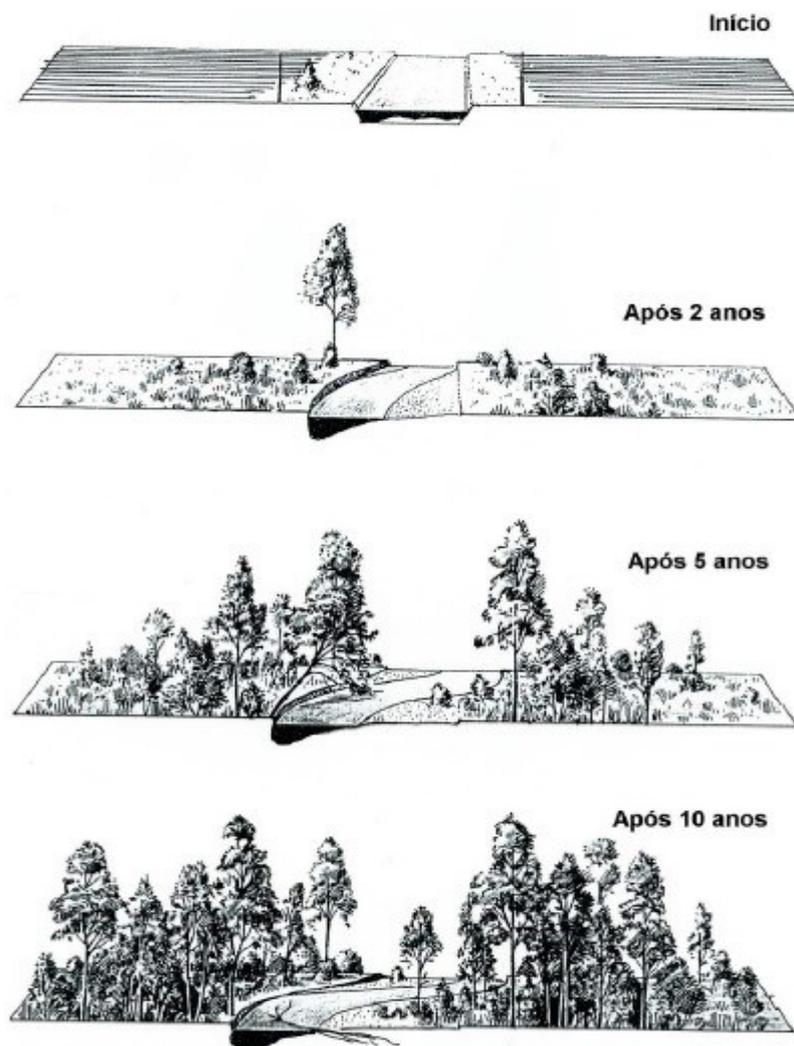


Figura 14– Evolução temporal do processo de renaturalização de um rio retificado.

Fonte: Selles et al., 2001.

Além disso, de acordo com Richter *et al.* (2003) e Costa (2011), a reconstrução das curvas e meandros do rio propicia heterogeneidade, um dos princípios básicos para o desenvolvimento de nichos ecológicos. Permitindo a melhora dos processos ecossistêmicos, oportunizando a recuperação da biota e o desenvolvimento sustentável dos rios e da paisagem em conformidade com as necessidades locais.

Um projeto de renaturalização abrange várias etapas. O primeiro passo para a renaturalização ou restauração ecológica é a escolha de um modelo de restauração, baseado em técnicas e métodos pré-existentes. De acordo com Robson *et al.* (2011), existem muitos modelos conceituais para restauração ecológica que determinam um sistema de referência e através de técnicas de bioengenharia e nucleação buscam chegar em um estado pré-determinado.

Esses modelos aplicam-se com ótimos resultados em áreas florestais. Já para ambientes mais dinâmicos, como rios e cursos d'água, existem modelos que integram as ações de bioengenharia. Os referidos modelos propõem a renaturalização e o reestabelecimento de condições físicas e ecossistêmicas sem delimitar um sistema de referência estático, mas sim um ponto ideal de “chegada” de acordo com as características dinâmicas do ambiente.

Um dos modelos indicados para restauração de cursos d'água é o modelo de recuperação *Recovery Cascade* (Recuperação em Cascata). Esse modelo identifica alguns aspectos gerais de recuperação após a renaturalização. Estes aspectos identificados podem ocorrer em sequência, de tal modo que todo o processo de recuperação pode ser bloqueado por uma única barreira. Neste modelo se divide as ações em etapas e propõe-se metas para cada uma dessas etapas, visando ultrapassar cada barreira e concretizar a recuperação proposta. (ROBSON *et al.*, 2011).

Após a escolha do modelo, determinam-se as técnicas de bioengenharia a serem utilizadas. Que segundo Araújo Filho *et al.* (2013) variam de acordo com a análise das características do talude marginal e da morfologia do canal em cada trecho.

4.4 Bioengenharia

Pequenas intervenções físicas no leito e canal, de acordo com Sutili (2004), apoiadas ou não por medidas vegetativas, podem alterar características como a velocidade da água e a tensão de erosão suportada pelo leito, controlando os processos fluviais e proporcionando um direcionamento do sistema à renaturalização.

Essas intervenções encontram-se dentro do campo da bioengenharia de solos, que consiste no uso de elementos biologicamente ativos (como vegetação) junto a elementos inertes (como madeira) em obras ou pequenas intervenções de estabilização de solos, margens e sedimentos.

As técnicas de bioengenharia são antigas, originadas nas civilizações suméria e romana. Registros mostram o uso deste tipo de medida na China desde o século XIX, onde gravetos eram usados para estabilizar margens. No início do século XX, a China passou a usar técnicas similares para controle de erosão e inundações ao longo do rio Amarelo. Os países europeus, especialmente a Alemanha, utilizam soluções de bioengenharia no solo a mais de 150 anos. Nos Estados Unidos, tais medidas tiveram maior difusão a partir de 1930 (SILVA e PIRES, 2007).

Entretanto, segundo os autores, no pós-segunda guerra, com o crescimento de maquinário pesado para uso da terra e o desenvolvimento de novas técnicas estruturais de estabilização de margens e controle de erosão, as práticas de bioengenharia praticamente desapareceram.

A partir de 1980, de acordo com Brasil (2003), principalmente nos Estados Unidos e Europa, as técnicas de bioengenharia têm sido utilizadas e reconhecidas cada vez mais como excelentes alternativas no combate à erosão.

Binder *et al.* (1983) já afirmavam que ao invés de utilizar materiais artificiais, deveríamos recorrer a bioengenharia como meio de proteção das margens dos cursos de água.

As técnicas de bioengenharia, biotecnia, podem ser divididas em dois grupos, os de obras transversais e os de obras longitudinais. O primeiro grupo age principalmente na redução da velocidade da água através do desenvolvimento de um perfil de compensação que modifica a inclinação original do leito forçando o depósito de sedimentos, consolidando o leito e estabilizando as margens. O segundo grupo tem como funções reconstruir, proteger e estabilizar as margens. Isso pode ser conseguido tanto com o revestimento vegetal e/ou físico das margens, como pela construção de râmpolas ou espigões transversais (ambas, obras semelhantes às barragens, mas que não chegam a atravessar toda a seção transversal do curso de água) (DURLO e SUTILI, 2005).

Muitas são as técnicas de bioengenharia que combinam medidas germinativas com medidas vegetativas e materiais inertes. No Quadro 2, Durlo e Sutili (2005) apresentam uma síntese das principais técnicas de bioengenharia.

Quadro 2- Síntese das principais técnicas de Bioengenharia.

Nome	Breve descrição	Característica principal (função)
Métodos vegetativos		
1. Estacas	Estacas simples, com cerca de 40 cm, que são cravadas no talude.	Fácil implementação, preparo e transporte do material vegetal. Resultados menos imediatos. As estacas podem ser facilmente levadas pela força da água.
2. Feixes	Ramos longos, amarrados, formando feixes. São usados parcialmente enterrados e fixados com estacas e pedras, dispostos ao longo da margem.	Além do efeito normal, esperado pelo desenvolvimento da vegetação, produz imediatamente uma proteção física. É a forma ideal para ser usada entre os vãos das estruturas de madeira.
3. Banquetas	Degraus transversais à inclinação do talude são preenchidos com estacas, que são, por vezes, presas com madeira e/ou pedras e, ao final cobertas com solo.	Ideal para taludes artificiais, como os que resultam da construção de estradas, e onde se queira criar um efeito de retenção dos sedimentos que descem da encosta.
4. Esteiras	Ramos no seu máximo comprimento são dispostos acompanhando a inclinação do talude e comas suas bases dentro da água, firmemente	Restringe-se a taludes fluviais e requer uma grande quantidade de material vegetal. Quando possível de ser implantado, produz

	presas por pedras e/ou troncos. Pilotos de madeira com varas de bambu ou arame são usados para fixar os ramos contra o talude, sendo tudo coberto por uma fina camada de solo.	os efeitos protetivos mais rápidos. Muito eficiente em taludes nos quais a força da água é de impacto frontal. Logo após a implantação já suporta tenções muito altas.
5. Tranças	Ramos longos tem suas bases encravadas no solo e são trançados entre pilotos (vivos ou inertes).	Produz ótimos efeitos quando usado para proteger a linha da água em pequenos cursos e para reter sedimentos em taludes que não sofram impacto frontal da água.
6. Leivas	Leivas, normalmente de gramíneas, são transplantadas para a área, que é completamente recoberta ou o plantio pode ser feito em faixas ou quadrículas.	Pode produzir um efeito estético e de proteção quase imediato. É caro e não muito importante para taludes fluviais de grande instabilidade.
Métodos germinativos		
1. Sementes	Sementes são lançadas manualmente sobre o talude, previamente modelado.	Suficiente para locais com pequena inclinação. Em taludes fluviais, é normalmente uma medida complementar.
2. Geotêxteis	Malhas construídas com restos culturais ou fibras vegetais degradáveis são impregnadas de sementes e adubos e fixadas, com estacas, contra o talude.	Uma das alternativas mais caras, mas produz estabilização rápida. Pode ser usada em taludes muito íngremes e bastante degradados.
3. Hidrosemeadura	Sementes são misturadas à água, cola e adubo e lançadas mecanicamente sobre o talude.	Método dispendioso técnica e economicamente. Rápido e fácil de ser implantado quando se dispõe dos recursos.
4. Mudas	Mudas são produzidas em viveiros e, quando adquirem o tamanho ideal, são plantadas no talude.	É importante para as espécies que não se reproduzem vegetativamente bem.

Fonte: Durlo e Sutili, 2005.

Durlo e Sutili (2005), em sua obra “Bioengenharia: manejo biotécnico de cursos da água”, aconselham o uso de diferentes técnicas de plantio e de materiais, na dependência da inclinação do talude, como demonstrado na Figura 16.

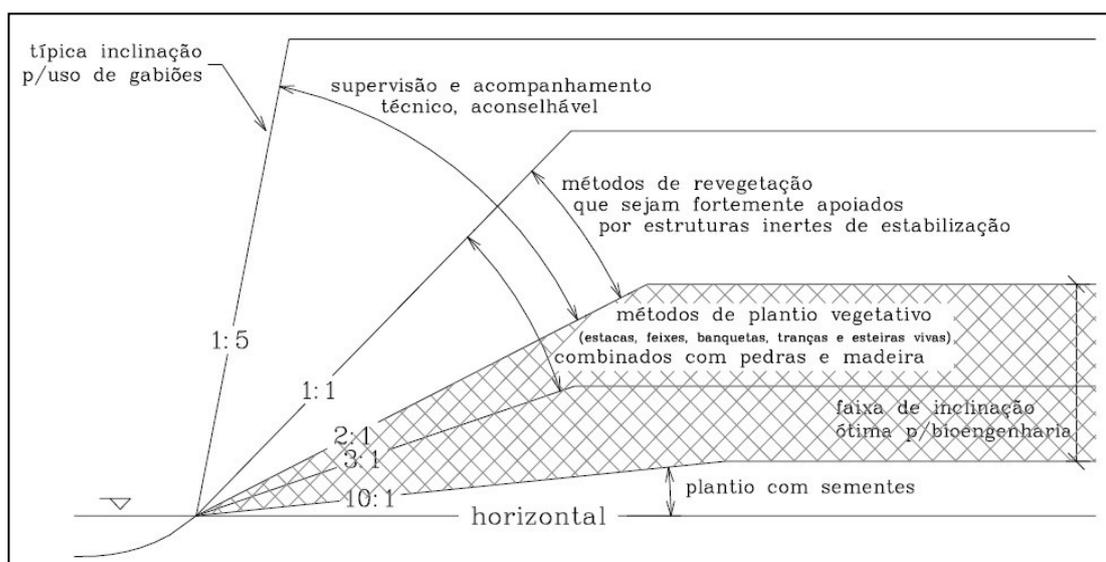


Figura 15- Determinação do método apropriado em função da inclinação da margem. Fonte: FISRGW (1998, apud Durlo e Sutili, 2005).

O efeito proporcionado por essas técnicas e, os resultados conseguidos ficam na dependência tanto do tipo de material e modelo de construção, bem como das espécies vegetais e forma de revegetação que se combina às estruturas (SUTILI, 2007).

Para a renaturalização em cursos d'água as técnicas de bioengenharia são fundamentais para garantir intervenções de baixo impacto e resultados de reestabelecimento das áreas de preservação permanente nas margens.

4.5 Geotecnologias em estudos ambientais

A utilização de ferramentas de geoprocessamento no processo de identificação de áreas passíveis de recuperação e/ou renaturalização é pouco empregado no âmbito de cursos d'água. A relevância da utilização destas ferramentas reflete na facilidade de se realizar análises temporais e visuais possibilitando uma melhor compreensão da dinâmica hídrica do local, facilitando o planejamento de acordo com as características de cada corpo hídrico.

Para Moreira (2005), as imagens de alta resolução espacial podem ser usadas em quase todos os ramos que já usam imagens de satélite e outros que sofriam com as limitações das baixas resoluções. Algumas das aplicabilidades das imagens são a elaboração de mapas urbanos, mapas de arruamento, cadastro urbano e rural, apoio em um Sistema de Posicionamento Global (GPS), uso e ocupação do solo, meio ambiente em grandes escalas, arquitetura, urbanismo e paisagismo, regularização de propriedades, agricultura de precisão, projetos de desenvolvimento sustentável, turismo, perícias em questões ambientais e outros.

Dangermond (1992) conceitua os Sistemas de Informações Geográficas como um conjunto de hardware, software e dados geográficos projetados eficientemente para adquirir, armazenar, atualizar, manipular, analisar e visualizar todas as formas de informações geograficamente referenciadas. O SIG faz parte de um grupo maior de tecnologias chamado de geoprocessamento.

Para Burrough e McDonnell (1998), o SIG é mais que um simples automatizador de tarefas existentes, ele propicia ambos, um arquivo de dados espaciais na forma original e uma ferramenta para a exploração de interações entre processos e modelos em fenômenos espaciais e temporais.

Um SIG pode ser utilizado em estudos relativos ao meio ambiente e recursos naturais, na pesquisa da previsão de determinados fenômenos ou no apoio a decisões de planejamento, considerando a concepção de que os dados armazenados representam um modelo do mundo real (BURROUGH, 1986).

Grigio (2003) também destaca que o geoprocessamento pode ser utilizado em análise ambiental para estabelecer comparações de uma mesma paisagem entre dois ou mais períodos de tempo. Entretanto, as paisagens respondem a múltiplas perturbações e seus efeitos são, na maioria das vezes, complexos e difíceis de serem previstos, entretanto, os SIG's vêm auxiliando dando suporte ao planejamento da paisagem.

Com relação ao Sensoriamento Remoto, as utilizações de imagens de satélites e radar podem auxiliar no processo de classificação de padrões das paisagens e possibilitar a realização de um monitoramento, valendo-se da característica temporal das imagens (GRIGIO, 2003).

Como afirmado por Mascarenhas *et al.* (2008), o avanço tecnológico das últimas décadas favoreceu o desenvolvimento de vários satélites de monitoramento terrestre-ambiental, os quais possibilitam, em escala global, regional ou local, a coleta de dados (quantitativos e qualitativos) sobre o grau de degradação ao meio ambiente, incluindo o acompanhamento de biomas ameaçados de extinção, alterações climáticas, níveis de poluição da água e da atmosfera, dentre outras medições possíveis.

No que concerne à vegetação, o uso de índices de vegetação permite monitorar e quantificar as suas condições biofísicas e distribuição espacial. Ultimamente, a técnica é aplicada, em diversas escalas de análise, para o acompanhamento da cultura agrícola, umidade do solo, ocorrências de estiagens, etc. LIU (2006 apud MARCARENHAS *et al.*, 2008).

Relativamente aos recursos hídricos, essa tecnologia já possibilita o monitoramento do estado de conservação da qualidade da água e dos processos hidrológicos envolvidos, tais como o percurso da água subterrânea e superficial, processos erosivos, além de estimativas de inundação das bacias hidrográficas (MARCARENHAS *et al.*, 2008).

A disponibilidade atual de dados de sensoriamento remoto em várias resoluções temporais, espaciais e espectrais, inclusive com dados históricos de quase 30 anos, para o caso do sistema sensor TM/Landsat 5, permite propor o desenvolvimento de metodologias para monitorar e compreender sistemas ambientais que façam uso dessa tecnologia (BARBOSA, 2005).

Ainda de acordo com Barbosa (2005), os resultados do uso dessa metodologia precisam ser, entretanto, cotejados com dados de campo que permitam aferir o grau de melhoria que a incorporação da mesma traz à compreensão do problema. Vale ressaltar que, devido à especificidade dos problemas em estudos desta natureza, a incorporação de SR não é operacional. Há ainda um grande número de desafios metodológicos a serem vencidos antes

que a tecnologia de sensoriamento remoto possa ser utilizada rotineiramente em estudos dessa natureza. Dentre as limitações operacionais ao uso de dados de sensoriamento remoto pode-se destacar a frequência de aquisição de dados face à dinâmica dos sistemas aquáticos e a obtenção de imagens livres de cobertura de nuvens.

Neste contexto, de acordo com Ribeiro *et al.* (2015), o estudo das estimativas dos parâmetros biofísicos de albedo da superfície, NDVI, EVI, SAVI, IAF, NDWI e Temperatura de superfície têm se sobressaído no processo investigativo das mudanças ambientais e monitoramento das áreas degradadas.

Dentre os métodos e técnicas de processamento de imagens de sensoriamento remoto com vistas à análise hidrológica, destaca-se o Índice da Diferença Normalizada de Água (Normalized Difference Water Index – NDWI), um método desenvolvido por McFeeters (1996) com o intuito de delinear feições presentes no ambiente aquático, e realçar a presença das mesmas nas imagens. Este método é derivado do Índice da Diferença Normalizada de Vegetação (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index).

McFeeters (1996) modificou a fórmula do NDVI invertendo as variáveis e usando a banda verde ao invés da banda vermelha, a fim de obter melhores resultados voltados à água, considerando assim o NDWI como ferramenta para delinear características da água, enquanto simultaneamente elimina características do solo e da vegetação terrestre. Trabalhos como o de Borges *et al.* (2015) demonstram a utilização da metodologia de NDWI para monitoramento hidroviário de fluxo do rio Araguaia a partir de imagens Landsat 8.

4.6 Critérios legais

De acordo com Costa (2011), não existe legislação específica no Brasil que determine explicitamente a revitalização ou renaturalização de um corpo hídrico degradado. O Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), determinado pela legislação refere-se normalmente a atividades de mineração e outras formas de extrativismo, e é previsto no EIA/RIMA do empreendimento.

Casos de retificação ou canalização de cursos d'água projetados para fins viários ou controle de enchentes são permitidos pela legislação e têm previsto medidas como a criação de parques fluviais como forma de revitalizar as áreas alteradas, evitando a ocupação pela população de baixa renda (COSTA, 2011).

Ainda de acordo com o autor, após uma ação lesiva, não existe nada que obrigue o agressor a recuperar o dano e que determine o modelo de recuperação, devendo isso ser feito

normalmente por meio de um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) ou acordos propostos pelo Ministério Público ou Prefeituras Municipais.

As ações que levam a processos e projetos de revitalização fundamentam-se então nas leis e decretos voltados para coibir crimes ambientais, como a supressão de matas ciliares e nativas, aterramento de banhados e corpos d'água, entre outras, e sugerem a recuperação das áreas degradadas de diversas maneiras. No âmbito da legislação brasileira, a seguir, é apresentado um conjunto de leis e normas que regulamentam a conservação e recuperação de margens ciliares.

Dentre as áreas protegidas e garantidas por lei para a conservação da biodiversidade e manutenção das margens ciliares, são definidas: a Área de Preservação Permanente (APP) e a Reserva Legal (RL).

Segundo a Lei Federal 12.651 de 2012 (o Novo Código Florestal), entende-se por Área de preservação permanente e reserva Legal:

“Área de Preservação Permanente: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (Art. 3º; §II); Reserva legal: área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada nos termos do art. 12, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa (Art. 3º §III)”.

A recuperação de áreas naturais se faz presente no código florestal brasileiro e em alguns outros instrumentos jurídicos (DURIGAN, *et al.* 2010). Por exemplo, a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001 que se manteve com o novo Código Florestal é expressa ao dizer que:

“Art. 44. O proprietário ou possuidor de imóvel rural com área de floresta nativa, natural, primitiva ou regenerada ou outra forma de vegetação nativa em extensão inferior ao estabelecido nos incisos I, II, III e IV do art. 16, ressalvado o disposto nos seus §§ 5º e 6º, deve adotar as seguintes alternativas, isoladas ou conjuntamente: I - recompor a reserva legal de sua propriedade mediante o plantio, a cada três anos, de no mínimo 1/10 da área total necessária à sua complementação, com espécies nativas, de acordo com critérios estabelecidos pelo órgão ambiental estadual competente; II - conduzir a regeneração natural da reserva legal; III - compensar a reserva legal por outra área equivalente em importância ecológica e extensão, desde que pertença ao mesmo ecossistema e esteja localizada na mesma micro-bacia, conforme critérios estabelecidos em regulamento. § 1º Na recomposição de que trata o inciso I, o órgão ambiental estadual competente deve apoiar tecnicamente a pequena propriedade ou posse rural familiar. § 2º A recomposição de que trata o inciso I pode ser realizada mediante o

plantio temporário de espécies exóticas como pioneiras, visando a restauração do ecossistema original, de acordo com critérios técnicos gerais estabelecidos pelo CONAMA. § 3º A regeneração de que trata o inciso II será autorizada, pelo órgão ambiental estadual competente, quando sua viabilidade for comprovada por laudo técnico, podendo ser exigido o isolamento da área. § 4º Na impossibilidade de compensação da reserva legal dentro da mesma micro-bacia hidrográfica, deve o órgão ambiental estadual competente aplicar o critério de maior proximidade possível entre a propriedade desprovida de reserva legal e a área escolhida para compensação, desde que na mesma bacia hidrográfica e no mesmo Estado, atendido, quando houver, o respectivo Plano de Bacia Hidrográfica, e respeitadas as demais condicionantes estabelecidas no inciso III. § 5º A compensação de que trata o inciso III deste artigo, deverá ser submetida à aprovação pelo órgão ambiental estadual competente, e pode ser implementada mediante o arrendamento de área sob regime de servidão florestal ou reserva legal, ou aquisição de cotas de que trata o art. 44-B. § 6º O proprietário rural poderá ser desonerado, pelo período de trinta anos, das obrigações previstas neste artigo, mediante a doação, ao órgão ambiental competente, de área localizada no interior de Parque Nacional ou Estadual, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva Biológica ou Estação Ecológica pendente de regularização fundiária, respeitados os critérios previstos no inciso III deste artigo (NR)”.

Além disso, a Política Nacional de Meio Ambiente, já previa como seus objetivos a restauração e recuperação de áreas degradadas:

“VI - à preservação e restauração dos recursos ambientais com vistas à sua utilização racional e disponibilidade permanente, concorrendo para a manutenção do equilíbrio ecológico propício à vida; VII - à imposição, ao poluidor e ao predador, da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados e, ao usuário, da contribuição pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos” (Art. 4º -Lei nº 6.938 de 31/08/81).

Como salientado por Moras Filho *et al.* (2014), a estratificação da legislação brasileira diversas vezes implica na existência de um sistema legislativo complexo e que, nem sempre, funciona de modo integrado, ocorrendo inúmeros conflitos normativos federativos que comprometem a efetividade da proteção ao meio ambiente.

A Lei Federal 12.651/12 define que:

“A vegetação situada em Área de Preservação Permanente deverá ser mantida pelo proprietário da área, possuidor ou ocupante a qualquer título, pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado. Tendo ocorrido supressão de vegetação situada em Área de Preservação Permanente, o proprietário da área, possuidor ou ocupante a qualquer título é obrigado a promover a recomposição da vegetação, ressalvados os usos autorizados previstos nesta Lei (Art. 7º; § 1º).”

Já segundo a Lei Estadual 11.520/2000:

“No caso de degradação de área de preservação permanente, poderá ser feito manejo visando a sua recuperação com espécies nativas, segundo projeto técnico aprovado pelo órgão competente (Art. 155; § 2º).”

Desta forma, no Rio Grande do Sul fica a critério do órgão ambiental regular e aprovar os projetos de recuperação das APP's, mas em caráter de proteção ambiental e possibilitando ações de restauração e renaturalização o Novo Código Florestal Brasileiro define, no seu art. 61, inciso 14 que:

Em todos os casos previstos neste artigo, o poder público, verificada a existência de risco de agravamento de processos erosivos ou de inundações, determinará a adoção de medidas mitigadoras que garantam a estabilidade das margens e a qualidade da água, após deliberação do Conselho Estadual de Meio Ambiente ou de órgão colegiado estadual equivalente”.

A Instrução Normativa 429 de 2011 do CONAMA determina uma metodologia a ser utilizada para recuperação das APP's, a resolução determina que:

“A recuperação de APP poderá ser feita pelos seguintes métodos: condução da regeneração natural de espécies nativas; plantio de espécies nativas; e plantio de espécies nativas conjugado com a condução da regeneração natural de espécies nativas (Art. 3º)”.

Esta norma não especifica quais métodos e medidas devem ser adotados em cada caso, ficando a critério do responsável técnico definir no projeto de recuperação da área degradada as medidas a serem adotadas, dependendo este projeto da aprovação do órgão ambiental competente para ser implementado.

O Código Estadual do Meio Ambiente define, no seu art. 54, que toda e qualquer área de preservação permanente ou de reserva legal será considerada de relevante interesse social e não ociosa.

E ainda prevê no seu art. 156, que

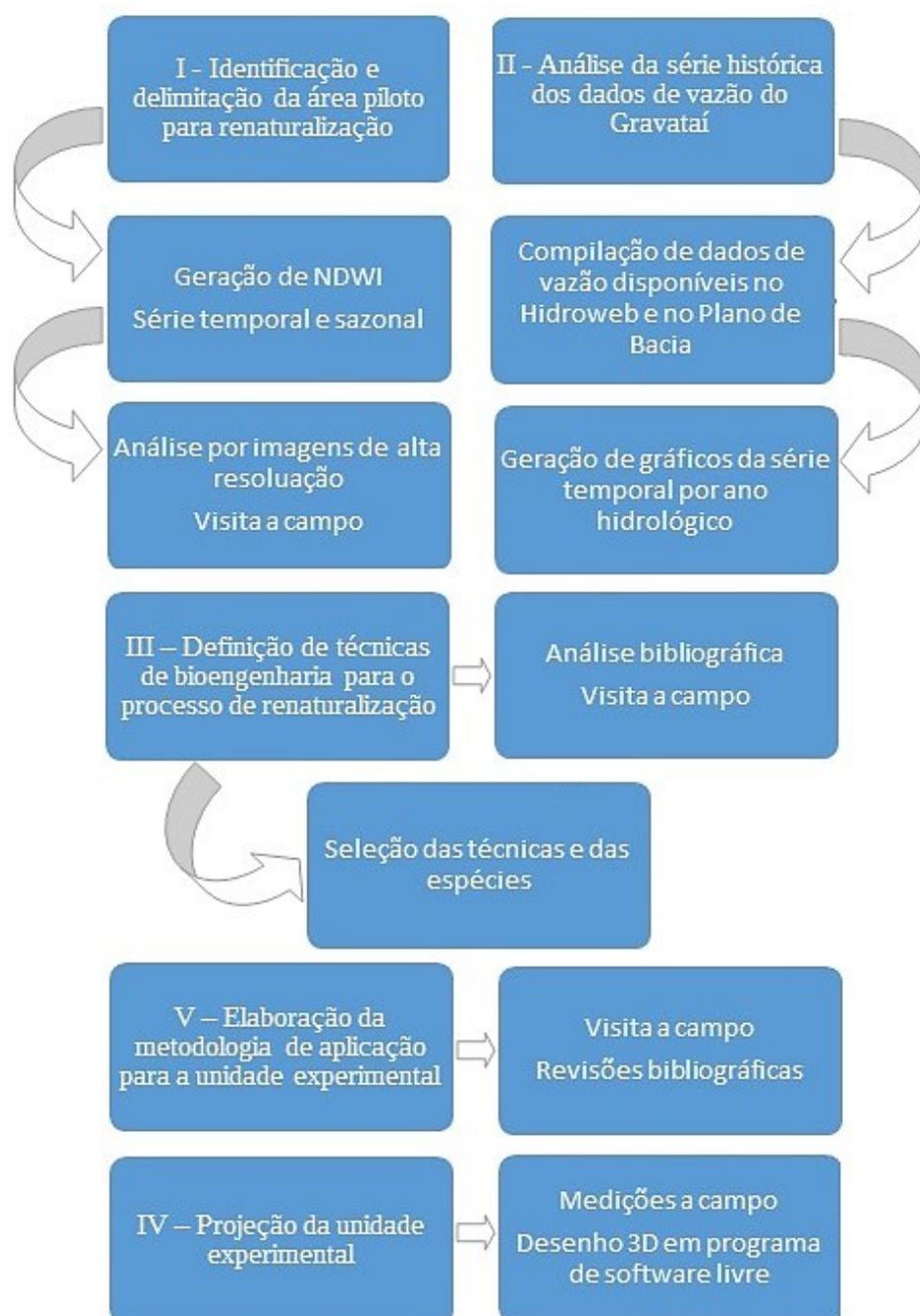
O Poder Público poderá declarar de preservação permanente ou de uso especial a vegetação e as áreas destinadas a: I - proteger o solo da erosão; II - formar faixas de proteção ao longo de rodovias, ferrovias e dutos; III- proteger sítios de excepcional beleza ou de valor científico, histórico, cultural e ecológico; IV - asilar populações da fauna e flora ameaçadas ou não de extinção, bem como servir de pouso ou reprodução de espécies migratórias; V - assegurar condições de bem-estar público; VI - proteger paisagens notáveis; VII - preservar e conservar a biodiversidade; VIII - proteger as zonas de contribuição de nascentes.

Segundo Monteiro (2013), embora haja uma ampla legislação sobre o tema ambiental, nem sempre as condicionantes legais são respeitadas e, por vezes, o desrespeito se dá em razão da falta de clareza das próprias leis (ou das diferentes interpretações que a legislação faculta).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais e procedimentos metodológicos utilizados para a elaboração da proposta de renaturalização do trecho retificado do rio Gravataí. O desenvolvimento da pesquisa, visando atender aos objetivos propostos, será dividido em cinco etapas de acordo com Fluxograma 1. Como parte inicial desta pesquisa foi realizada uma revisão bibliográfica abrangendo as discussões conceituais sob o tema, embasando a escolha das técnicas e procedimentos para sua realização.

Fluxograma 1 – Etapas metodológicas



5.1 Identificação e delimitação da área piloto para renaturalização

Para realização da Etapa 1 foram utilizadas técnicas de processamento digital e análise visual em imagens Landsat em uma escala temporal e sazonal. As imagens foram adquiridas através do banco de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), disponíveis no endereço <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Para o processamento das imagens e elaboração de *layout* foram utilizados os softwares SAGA 2.1 e QGIS 2.4, softwares disponibilizados com licenças de código aberto.

Foram adquiridas imagens Landsat 5 TM referentes aos anos de 1984, 1994, 2004, e 2010 sob os meses de outubro, janeiro, outubro e dezembro respectivamente no recorte da área retificada do rio Gravataí. Os meses escolhidos referem-se à abrangência de uma maior sazonalidade para identificação dos meandros ativos bem como, a disponibilidades de imagens nítidas sem a presença de nuvens sob a área. A partir das imagens foi aplicado o índice de diferença normalizada da água – *Normalized Difference Water Index* (NDWI) utilizando do programa SAGA 2.1. A aplicação do NDWI tem como objetivo identificar, ao longo do trecho retificado, áreas de planície de inundação ainda preservadas. O índice de diferença normalizada da água ressalta a lâmina d'água delineando ambientes de águas abertas e contrastando o limiar entre vegetação terrestre e solos da lâmina d'água.

Segundo McFeetrs (1996) a aplicação do NDWI, permite: a) maximizar a reflectância típica da água utilizando o comprimento de onda do verde; b) minimizar a baixa reflectância dos corpos de água no infravermelho próximo; e c) realçar o contraste entre a água e a cobertura vegetal, proporcionada pelo infravermelho próximo. Segundo Ji *et al.* (2009), a concepção do índice espectral de água foi baseada no fato de que a água absorve energia em comprimentos de onda do infravermelho próximo (NIR) e ondas curtas de infravermelho (SWIR). O NDWI é obtido através das bandas do verde (V) e do infravermelho próximo (IVp) do satélite Landsat 5:

$$NDWI = (TM2 - TM4) / (TM2 + TM4)$$

Onde: TM2 corresponde ao comprimento de onda do verde; TM4 ao infravermelho próximo. O valor de NDWI varia de -1 para 1. McFeeters (1996) definiu zero como o limiar. Isto é, o tipo de cobertura é a água se $NDWI \geq 0$ e é não água se $NDWI < 0$ (BRUBACHER e GUASSELLI, 2013).

Através da aplicação do NDWI foi possível determinar um recorte de imagem sob a área com meandros ativos na planície. Após essa identificação aplicou-se o índice em duas

imagens Landsat selecionadas em um período chuvoso e um período seco de um mesmo ano (fevereiro e outubro de 2004) sob o recorte da planície ativa identificada anteriormente. Dessa forma foi possível delinear a planície de inundação preservada, possibilitando uma identificação visual mais detalhada da potencial área de estudo.

Após determinar-se o recorte e a localização da área potencial foram utilizadas imagens disponíveis no banco de imagens de alta resolução espacial do software Google Earth, versão 7.1, históricas e atuais (2004-2016), para reconhecimento da planície utilizando melhor resolução espacial das imagens, identificação de pontos potenciais para renaturalização e planejamento de campo.

Após identificação da área potencial, e através do cruzamento de dados de revisão bibliográfica e informações obtidas na Fundação Municipal de Meio Ambiente de Gravataí (FMMA) verificou-se que em 3 de novembro de 1981 foi criada, através da Lei Municipal Nº 65 a Reserva Ecológica do Banhado Grande no Município de Gravataí. Essa reserva tem a extensão de 7.340 hectares, e abrangência sobre a área preservada identificada a partir das imagens.

Após a identificação e determinação do local foram realizadas visitas a campo para delimitação da área com equipamento GPS, medição das margens e fotos, para análise das técnicas de bioengenharia a serem empregadas no local.

Em campo foram obtidos pontos correspondentes ao início, meio e fim do meandro navegado, bem como outros dois pontos referentes a canais de irrigação abandonados que deverão receber intervenções durante a aplicação da unidade experimental de renaturalização.

5.2 Análise da série histórica dos dados de vazão do rio Gravataí

Os dados analisados na Etapa II foram obtidos através do banco de dados da Agência Nacional das Águas disponível em <http://hidroweb.ana.gov.br/Estacao.asp?Codigo=87399000> e do Plano de Bacia do Gravataí disponível em <http://www.comitegravatahy.com.br/index.php/comite-gravatahy-documentos/category/3-plano-de-bacia>.

Das estações fluviométricas ao longo do curso do rio Gravataí, apenas duas dispõem de uma série temporal relativamente longa, sendo a estação Passo das Canoas, Figura 16 (complementada com dados de sua estação auxiliar, cujo nome é igual) com dados desde 1940 e a estação Jusante Frigorífico com dados de 1947-1980. Devido à amplitude da série

temporal abrangendo um período maior pré-retificação e pós-retificação, por localizar-se mais próximo à área de estudo e por ter seus dados modelados no Plano de Bacia foi escolhida para a análise a estação Passo das Canoas, situada no município de Gravataí.

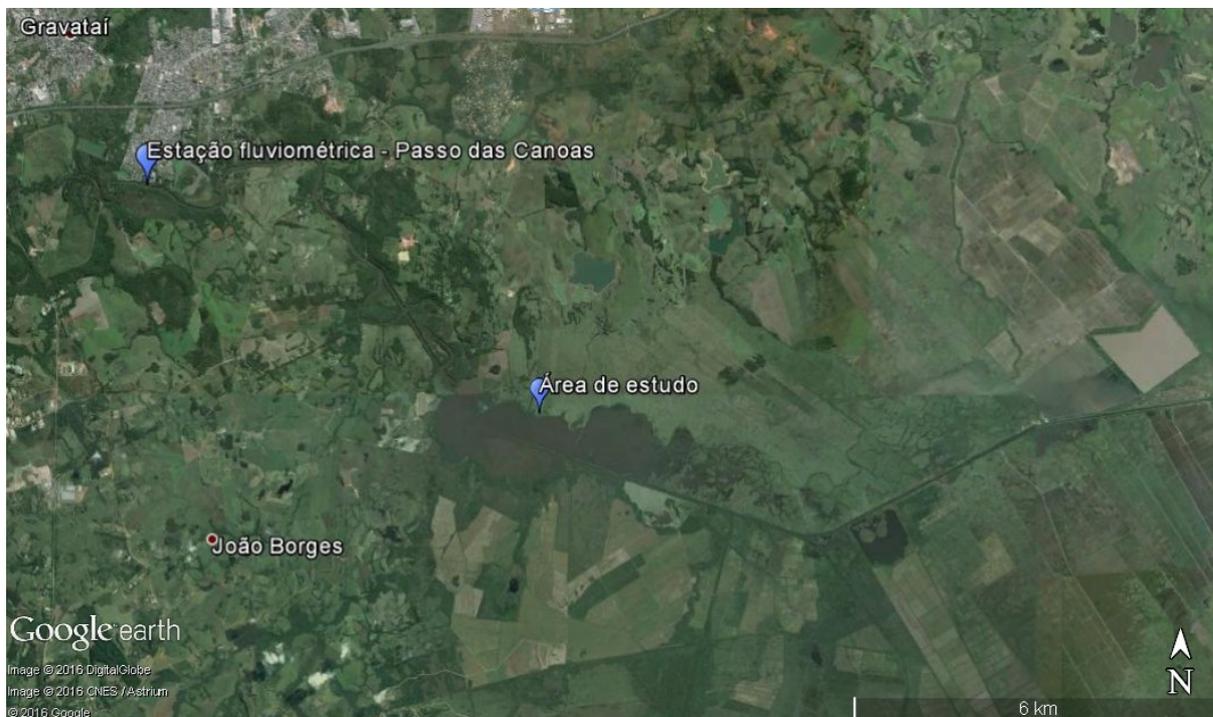


Figura 16 - Localização da estação fluviométrica Passo das Canoas

Das séries disponíveis no Hidroweb apenas os anos de 2002, 2006 e 2007 encontram-se completas, para utilização dos dados na construção da série histórica utilizou-se os dados da modelagem pela curva-chave calculada e disponível no Plano de Bacia do Gravataí, originando a série histórica de vazão de 1940 a 2009.

Buscando analisar se houveram alterações na vazão sofridas pela retificação, foram analisados aos dados de vazão disponíveis de 1940 a 2009, utilizando-se das ferramentas disponíveis no programa Excel versão 2015 para geração de gráficos de vazões médias, vazões mínimas e máximas do período que compreende o momento pré-retificação de pós-retificação.

5.3 Definição das técnicas de bioengenharia e seleção das espécies vegetais

Ao almejar a renaturalização do rio Gravataí em seu trecho retificado, propõem-se a instalação de uma área modelo de pesquisa com o objetivo de um experimento de controle, visando a condução do fluxo do canal retificado para os meandros reativados através de

algumas intervenções no leito do canal utilizando-se de técnicas de bioengenharia.

A elaboração do experimento de controle se fez em três fases: (1) a seleção das técnicas para embasar a parte estrutural do experimento (2) escolha das plantas a serem utilizadas nas biotécnicas; (3) a elaboração de uma metodologia de instalação e monitoramento da área modelo.

5.3.1 Seleção das técnicas de bioengenharia

Muitas são as técnicas existentes dentro do campo da bioengenharia, seus usos e implantações variam de acordo com a morfologia do canal, com as áreas disponíveis para implantação e com objetivos da proposta de restauração/renaturalização.

Dentre as técnicas mais utilizadas em projetos de restauração, recuperação e renaturalização fluvial, visando a utilização em projetos de canais originalmente meandrantés, destacam-se as seguintes: o enrocamento vegetado; a técnica de entrelaçamento; e a técnica de paliçadas.

No enrocamento vegetado, seguindo a metodologia aplicada por Araújo Filho (2013), camadas de rochas são colocadas acima e abaixo do nível da água (Figura 17) para atingir a cota máxima e a cota mínima do rio. Entre os espaços das pedras são plantadas mudas de espécies preferencialmente nativas e fixadas estacas com espaçamento de 1 x 1m para seu crescimento, visando proporcionar uma proteção na base e garantir o desenvolvimento da vegetação e estabilização do talude.

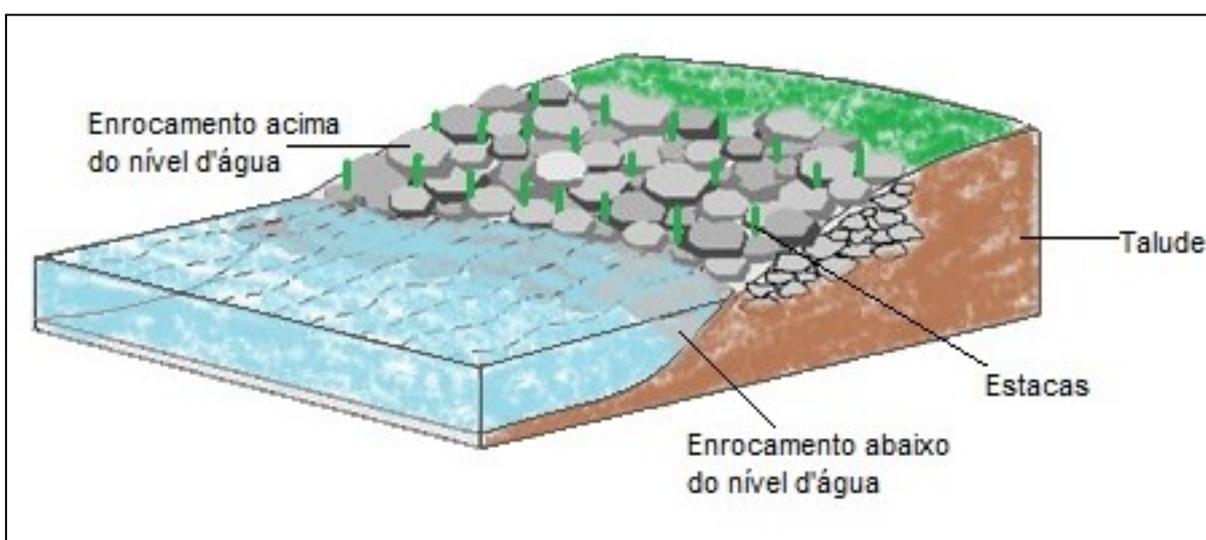


Figura 17- Enrocamento vegetado, visualização esquemática de distribuição das pedras e estacas. Fonte: Modificado de NATURALEA, 2012.

A técnica de entrelaçamento, de acordo com Lawa (1997 apud Selles *et al.*, 2001) consiste em dispor transversalmente troncos de madeira trançando entre feixes de material vegetal (Figura 18).

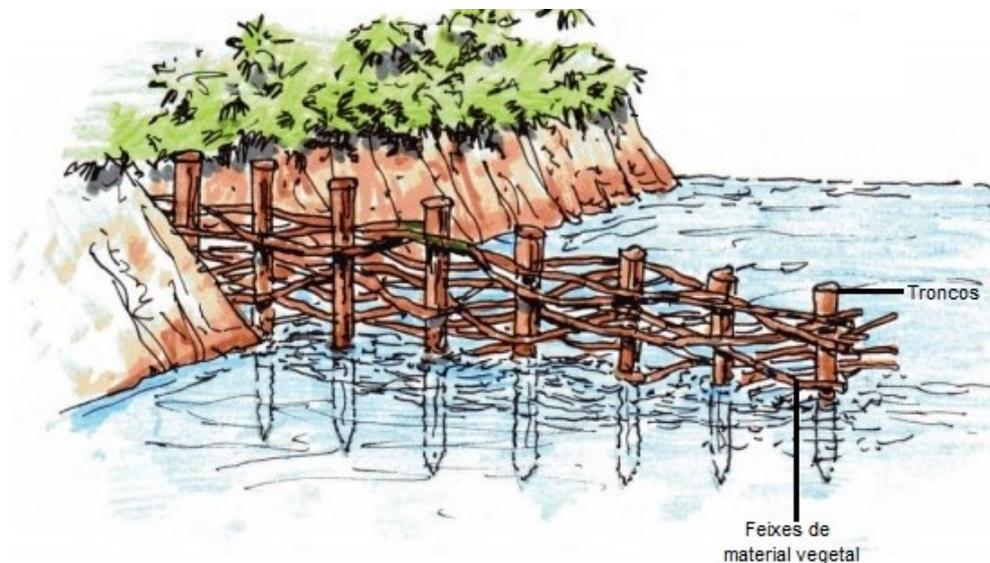


Figura 18– Desenho esquemático da técnica de entrelaçamento.
Fonte: Modificado de LAWA (1997 apud SELLES *et al.*, 2001).

Nesta técnica os ramos dos feixes servem para diminuir a velocidade do fluxo da água e, assim, a erosão da margem. Permite assim efeitos de deposição e melhoria nas margens, proporcionando uma revegetação mais rápida. Segundo Silva e Pires (2007), a redução da velocidade do escoamento tem como objetivo principal a contenção de sedimentos e material orgânico para controlar processos erosivos e aumentar a diversidade de “habitats”.

A biotécnica de paliçadas, Pereira Neto (2012), pode ser aplicada com troncos de madeira ou sacos de sedimentos. As paliçadas de madeira constituem-se pela disposição de um ou mais troncos horizontais visando o barramento do fluxo de determinados níveis de água ou sedimentos, variando de acordo com a altura da paliçada.

As paliçadas de madeira (Figura 19) são anteparos que devem ser aplicados em locais onde houver maior necessidade de retenção de sedimentos, ou controle de fluxo. São constituídas de peças de madeira tratada, ou troncos roliços (para garantir proteção contra fungos) enterradas lado a lado no solo, dispostas de modo a dar estabilidade. Suas dimensões são definidas em função da necessidade do local em termos de carregamento que deverá suportar futuramente (PEREIRA NETO, 2012).



Figura 19- Técnicas de paliçada em cursos d'água. Fonte: Engenharia Natural, 2007.

As paliçadas ou barramentos constituídos de sacos de areia (Figura 20) ou resíduo de rocha possuem a função de barrar o fluxo d'água e diminuir a velocidade de fluxo, podendo redirecioná-lo de acordo com os objetivos de aplicação. A técnica consiste em preencher os sacos, geralmente de ráfia ou material semelhante e resistente com resíduo de rocha, rochas ou areia grossa.

Uma vez preenchidos, os sacos são costurados na boca (fechados) e no sentido longitudinal e transversal, compartimentalizando, pois desta forma, evita-se o deslocamento do substrato para a parte inferior do saco quando os mesmos são fixados no talude (a fixação se dá por meio de estacas de madeira, bambu ou metal SILVA (1998 apud FERNANDES, 2004).



Figura 20– Paliçada/barramento de sacos de areia para redirecionamento do fluxo d'água. Fonte: Naturalea, 2012.

5.3.2 Seleção das espécies a compor o experimento

Segundo Marchiori (2004 apud Sutili, 2007), junto aos cursos d'água as plantas reófitas (ou reófilas) formam uma comunidade adaptada para suportar a força da correnteza ou eventual submersão por ocasião de enchentes. Compondo uma comunidade singular de arbustos e arvoretas pequenas, geralmente são conhecidas pelos nomes de “sarandi” ou “amarilho”, e apresentam ampla distribuição geográfica no Estado do Rio Grande do Sul: *Sebastianiaschottiana*, *Terminaliaaustralis*, *Cephalanthusglabratus*, *Phyllanthussellowianus* (Figura 21A-B), *Pouteriasalicifolia*, *Calliandrabrevipes*, *C. tweediei*, *C. parvifolia* e *Salixhumboldtiana* (Figura 21E-F). Outra característica dessa comunidade é o denso sistema radicular, sendo também todas estas espécies de pequeno porte, com exceção da última, possuindo caules delgados e flexíveis, morfologicamente adequados à reofilía.



Figura 21– A-B) *Phyllanthussellowianus*; C-D) *Salixrubense* E-F) *Sebastiania schottiana*
Fonte: Adaptado de DENARDI, 2007.

Uma espécie indicada para utilização em ribaltas é a espécie *Sebastiania schottiana*, conhecida no Rio Grande do Sul como Sarandi-negro, Espinho-de-olho, Sarandi vermelho. Branquilha. Reitz (1988) destaca que o Branquilha é altamente adaptado à reofilia, suporta variações extremas de umidade ou seca (sendo seletiva higrófila até xerófila), dispõe de um denso sistema radicial e de caules rijos, embora flexíveis, capazes de suportar a força da água nas enchentes. O Branquilha cresce à margem de rios e até mesmo de cachoeiras. Como espécie reófila, assume grande importância ecológica, auxiliando na fixação de barrancos e na perenização dos cursos de água.

Marchiori (2000) descreve a espécie como: arbusto totalmente glabro, de 3 a 4 metros de altura, com ramos longos, pouco ramificados, espinescentes e muito flexíveis (Figura 21C-D).

5.4 Projeção da unidade experimental de renaturalização

Após as análises das imagens, visitas a campo e medições foi delineado, primeiramente em esboço, uma projeção para a unidade experimental unindo as técnicas e materiais selecionados. Para a projeção foi utilizado o software Google SketchUp, disponibilizado com licenças de código aberto, desenvolvido para a criação de elementos e cenários em 3D para Windows e Mac.

No Google SketchUp, foram traçados os elementos estruturais do experimento, bem como os materiais vegetais de preenchimento e os sacos de areia. Com a projeção 3D do experimento concluída foi sobreposta uma imagem feita em campo do local de instalação do experimento para melhor visualização da projeção da unidade experimental

5.5 Elaboração de uma metodologia de aplicação para a unidade experimental

A elaboração da metodologia para a aplicação e monitoramento da unidade experimental baseou-se em revisões bibliográficas, análise de técnicas utilizadas e resultados de pesquisas com experimentos como o de brotação de espécies adaptadas as condições de planície de inundação. Foram realizadas visitas a campo por terra e por água, medições de margem, registros fotográficos, e planejamento de rotas para o monitoramento.

6. RESULTADOS

Os processos metodológicos aqui desenvolvidos buscam somar e embasar uma série de estudos que vem sendo realizados na região da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí. Além de consistirem uma ferramenta metodológica para aplicação em demais bacias hidrográficas visando a renaturalização de canais não cimentados.

6.1 Identificação e delimitação da área piloto

O produto da aplicação do índice para a identificação de áreas potenciais (Figura 22) possibilitou melhorar a visualização do canal retificado do rio Gravataí com destaque para a lâmina d'água. Nessa abordagem tornou-se possível identificar uma região de planície de inundação do trecho retificado do rio onde há meandros pré-canalização que ainda se encontram conservados.

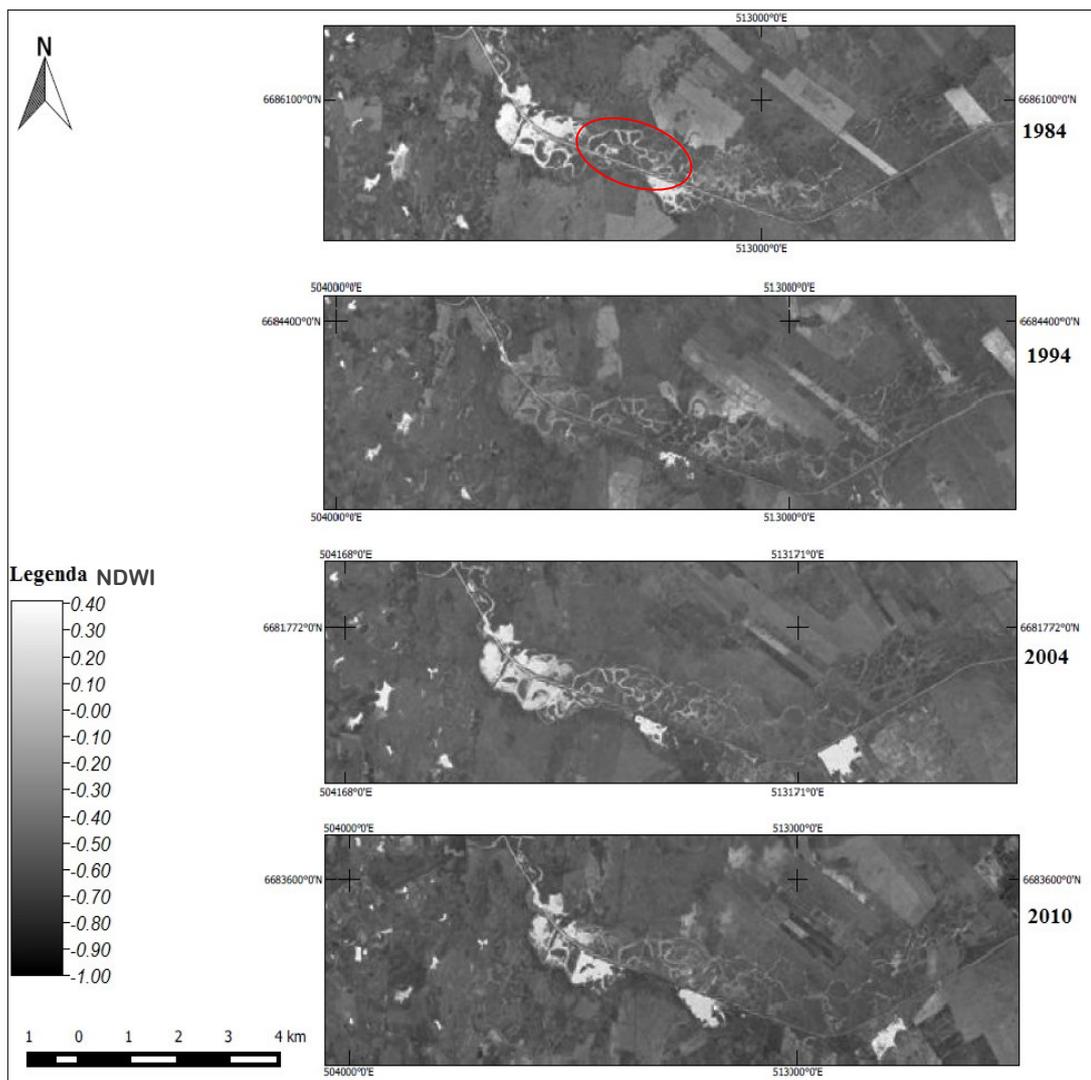


Figura 22- Índice de Diferença Normalizada da Água em série temporal de imagens Landsat.

O NDWI apresentou classes com valores de -1 até 0,4. Os valores positivos de NDWI (>0) correspondem aos corpos hídricos, ressaltando a presença de fluxo e massa d'água nos meandros preservados da referida planície. Os valores negativos de -0,10 a -1,00 referem-se as demais áreas de uso agrícola e do entorno.

Ainda é possível observar o comportamento do fluxo do rio (círculo destacado), que mesmo após a retificação de seu curso continuou a circular pelos meandros preservados, essa quantidade de água mantida em circulação foi fundamental para conservação dos mesmos.

Através da aplicação do índice delineou-se uma área de recorte para as imagens, facilitando a identificação e análise visual da área potencial. Utilizando-se deste recorte foram selecionadas duas imagens Landsat em um período chuvoso e um período seco de um mesmo ano (fevereiro e outubro de 2004) aplicando-se o NDWI. Como resultado, (Figura 23), foi possível delinear a planície de inundação preservada, possibilitando uma identificação visual mais detalhada da potencial área de estudo.

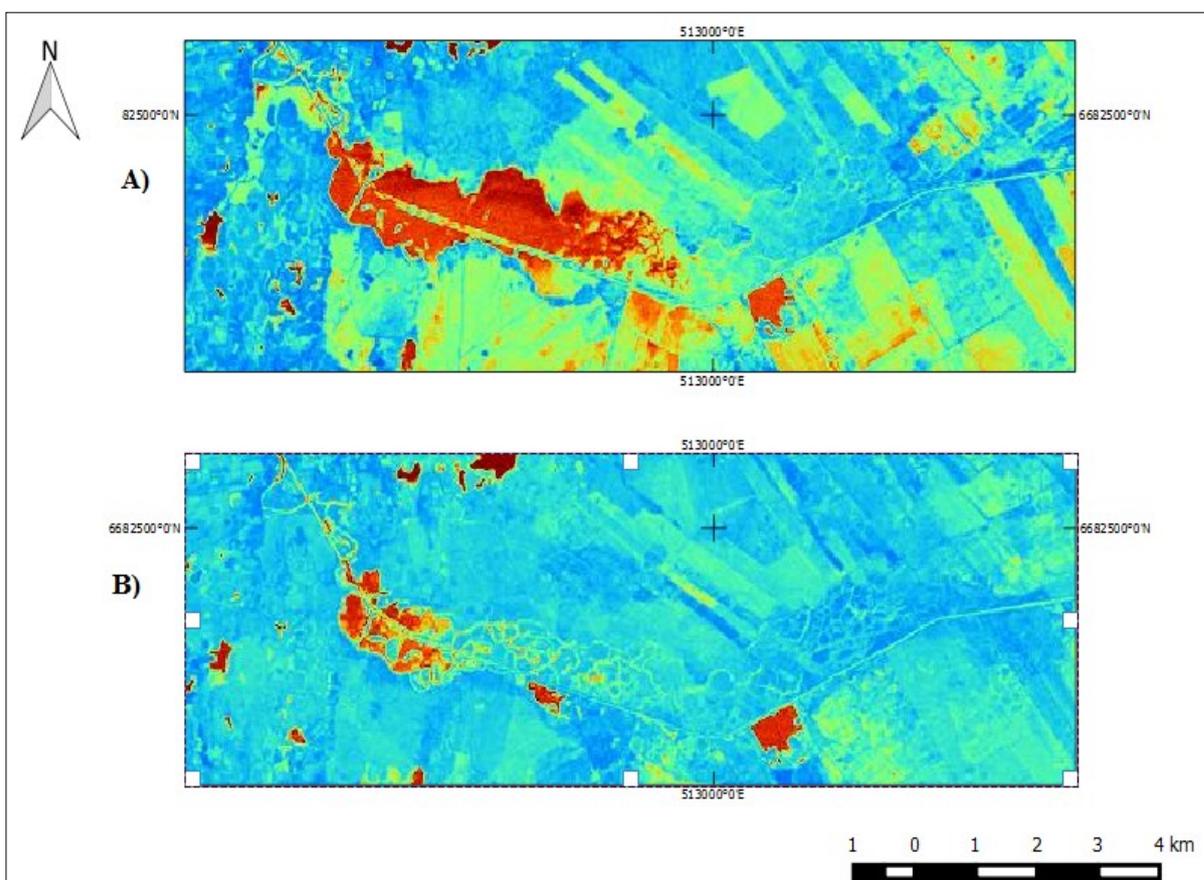


Figura 23– Identificação da planície de inundação preservada, NDWI em período chuvoso (A) 08/10/2004, e em período seco (B) 11/02/2004.

Através da identificação da planície preservada na imagem com aplicação de NDWI contornou-se a área da planície em uma imagem de alta resolução espacial, conforme a Figura 24, verificando que a planície possui uma extensão de aproximadamente 5 km, correspondendo a 20% de área preservada de todo o leito do canal retificado.



Figura 24- Extensão do canal retificado do rio Gravataí em azul e planície de inundação preservada destacada em verde. Fonte: Google Earth, 2014

O rio tende a se espriar naturalmente, e como analisado apenas na área preservada isso se tornou possível. Por ser um dos pontos naturais de extravasamento do rio, nenhuma atividade agrícola conseguiu ser implantada pelo constante estado de inundação em que essa área se encontra, favorecendo a preservação do local.

Através de conversas com moradores locais e técnicos da Fundação Municipal de Meio Ambiente de Gravataí, verificou-se que esta área é conhecida pela população e agricultores da região como Lagoa da Anastácia (Figura 25 e 26). Acredita-se que por possuir essa dinâmica de baixa altimetria e longos períodos de inundação tornou-se visualmente conhecida como Lagoa da Anastácia, servindo como ponto de referência dos antigos pescadores e moradores locais. O que favoreceu a preservação local, visto que acreditando ser uma “Lagoa” os agricultores não expandiram sua área de cultivo sob a planície.

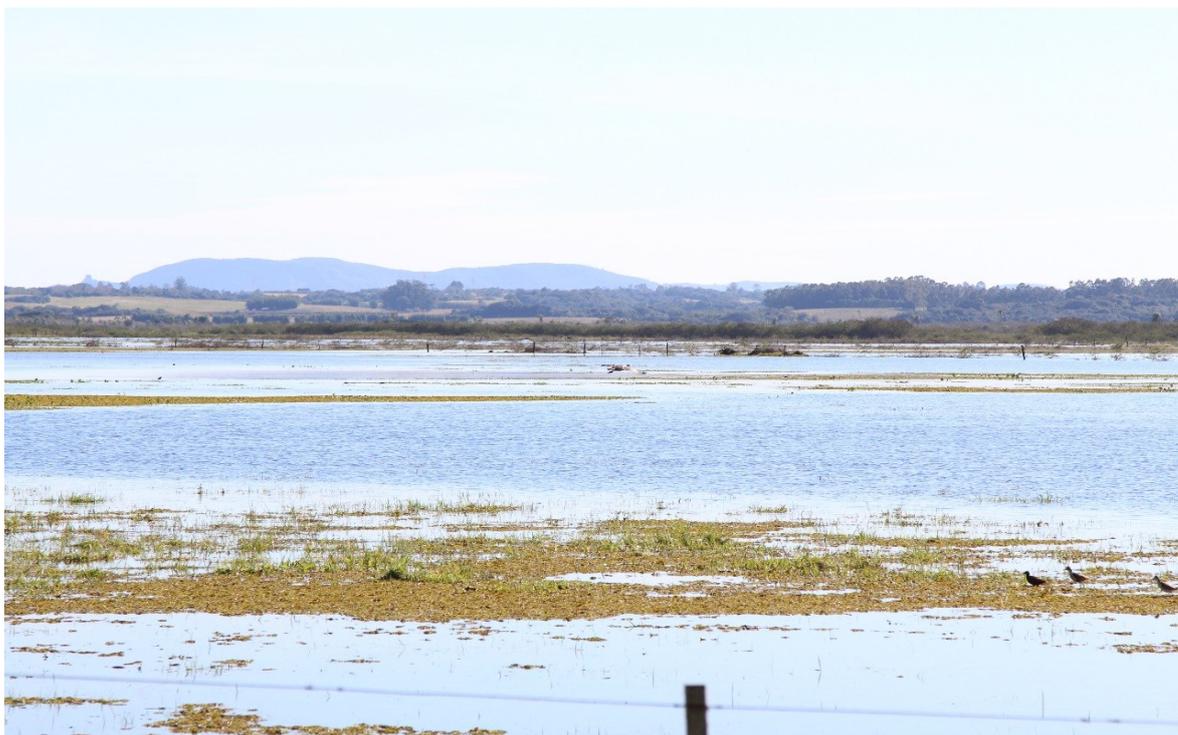


Figura 25– Planície de inundação preservada. Foto: Autor, 2016.



Figura 26– Presença de avifauna na planície de inundação preservada. Foto: Autor, 2016.

Após a identificação da área potencial trabalhou-se na identificação, em uma escala menor, dos meandros ativos nesta planície de inundação preservada. Através do Google Earth e da ferramenta de imagens históricas pode-se visualizar a trama de meandros ativos, Figura 27, e identificar o meandro com maior potencial inicial de renaturalização conforme demonstrado na Figura 28.



Figura 27- Meandros ativos na planície de inundação preservada no leito do rio. Fonte: Google Earth, 2016.



Figura 28- Meandro com potencial de renaturalização na planície de inundação, fluxo de circulação dos meandros em destaque pelas setas. Fonte: Google Earth, 2016.

O meandro em questão possui uma extensão maior que os demais e um fluxo de água intenso. Esse fluxo, principalmente em período de grande inundação, permitiu romper a barreira do canal, forçando a reconexão dos demais meandros ao fluxo do rio. Em alguns pontos seu leito atinge cerca de 40 metros de largura, demonstrando a estabilização e permanência ativa de seu fluxo.

Como destacado na Figura 29, a área potencial encontra-se no interior de uma Unidade de Conservação Municipal, a Reserva Ecológica do Banhado Grande. Entretanto, a Reserva Ecológica do Banhado Grande nunca foi de fato implementada e segue em discussão ante seu enquadramento sob as novas categorias do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) e do Sistema Estadual de Unidades de Conservação (SEUC).

Os limites originais da Reserva estavam inseridos em mais de um município (Gravataí e Glorinha). Isso dificultou o seu processo de implantação, visto que um dos municípios não reconhecia os limites da Reserva já que esta foi criada quando antes de sua emancipação. Novos limites já foram delineados, e dessa forma a Reserva deverá possuir uma extensão de 20 Km² e abranger toda a área potencial identificada. Espera-se que a relevância ambiental desta área e a identificação de seu potencial para renaturalização do rio Gravataí se some às justificativas da urgente implantação e regularização desta UC.

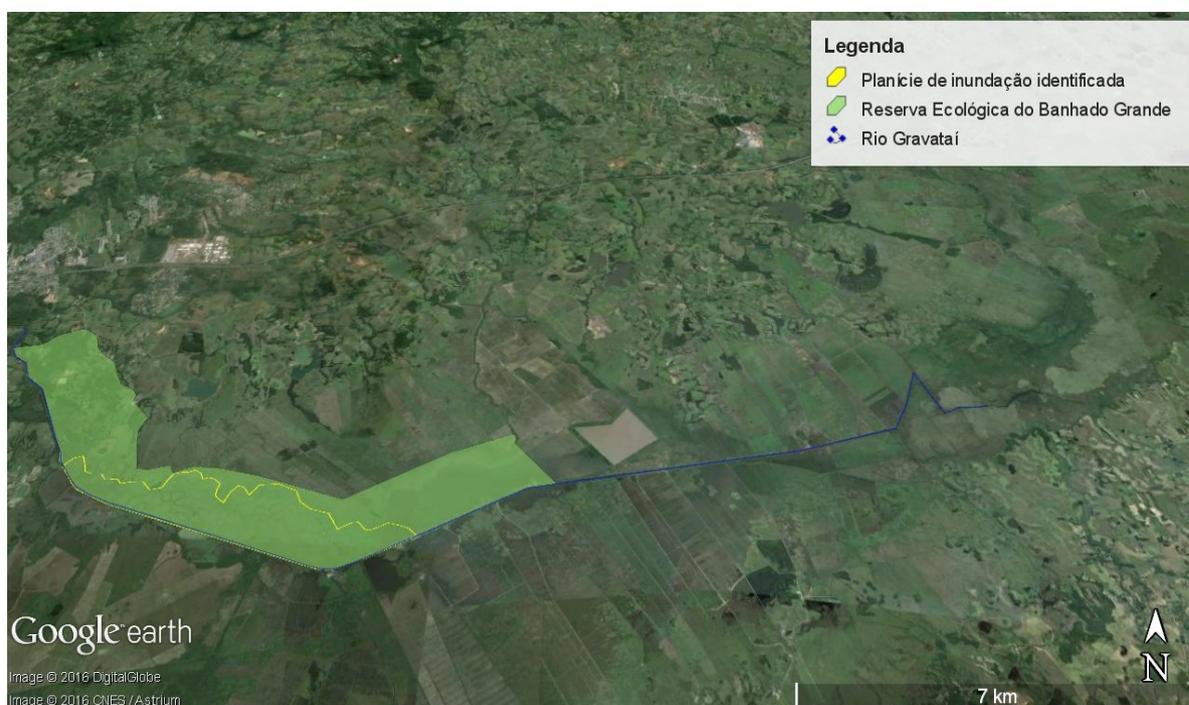


Figura 29– Sobreposição da área da Reserva Ecológica do Banhado Grande com a área de planície de inundação com potencial de renaturalização.

Em campo, Figuras 30 e 31, se observa a vegetação ao longo do canal retilíneo, bem como a área de conexão dos meandros com o rio.



Figura 30– Vista do canal com vegetação consolidada em suas margens retificadas. Foto: Autor, 2016.



Figura 31– Área de conexão dos meandros ao fluxo retilíneo do canal. Foto: Autor, 2016.

6.2 Análise dos dados de vazão

A caracterização das disponibilidades hídricas de uma bacia pode ser realizada através de estatísticas das séries de vazões observadas ou simuladas, como: vazões médias diárias, vazão média anual, média de longo período, vazões de permanência de 50%, 80%, 90% e 95% no tempo.

Para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí, foram realizados testes e modelagens estatísticas para a bacia. Essas análises, entretanto, foram dirigidas de forma a justificar a necessidade da construção de barramentos cimentados ao longo do rio Gravataí.

Em 1985, um relatório do DNOS analisou a série de vazões do período de 1940-1981, afirmando que a retificação do canal, nesse período, não havia implicado em alterações no regime hídrico, nem no aumento da vazão no sentido a jusante do canal.

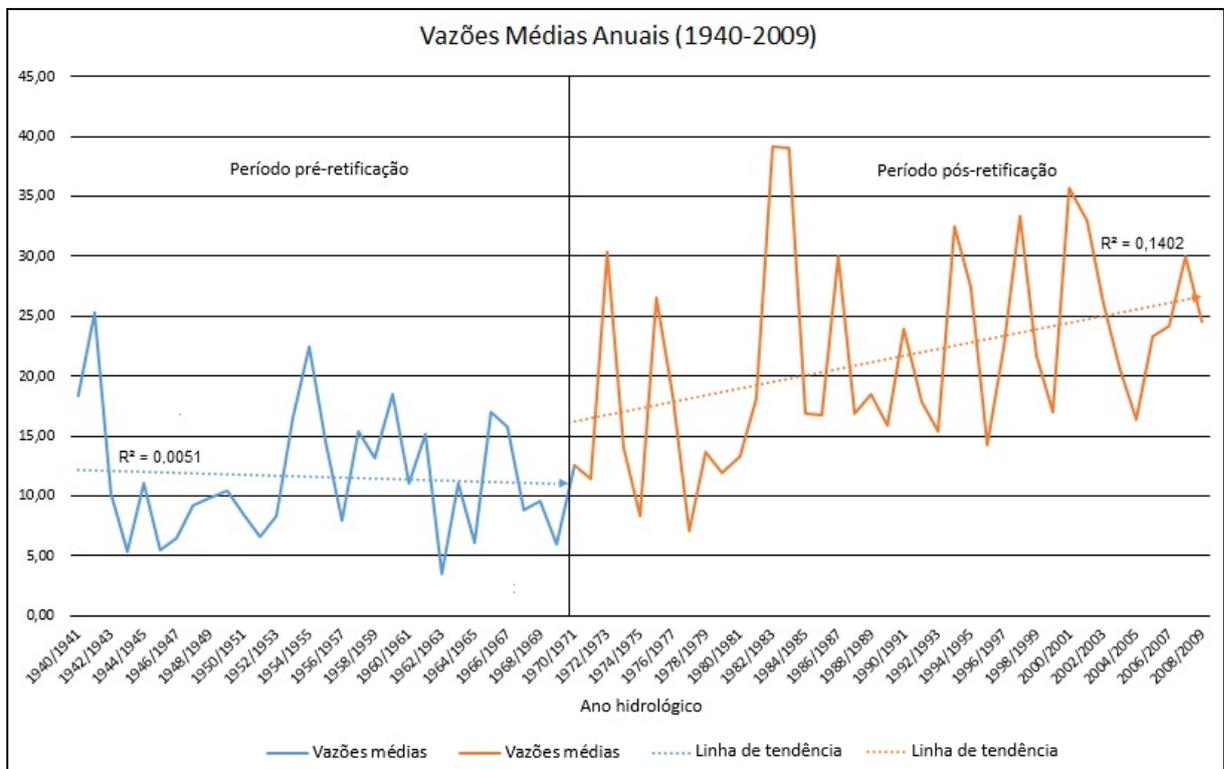
Visando uma análise comparativa dos resultados obtidos em 1985, foi realizada a tabulação dos dados de vazão de 1940-2009 e construído os gráficos de vazão demonstrando o período pré-retificação e a tendência do aumento da vazão pós-retificação.

Em geral, obras de retificação resultam em alterações, no que concerne principalmente às vazões extremas. As vazões máximas aumentam, por maior facilidade de escoamento, e as vazões mínimas ficam mais frequentes, pela eliminação das áreas úmidas que supriam as vazões durante períodos sem precipitações.

O Gráfico 3 de vazões médias anuais demonstra a tendência de aumento no valor das vazões exponencialmente a partir do período pós-retificação (a partir de 1971/1972).

A retificação do Gravataí ocorreu no final da década de 60, entre 1967 e 1969. Nota-se que as vazões médias têm uma variação considerável ao longo do ano, a vazão média máxima ocorreu no ano hidrológico de 1982/1983 em um valor de 39,10 m³/s, já a vazão média mínima ocorreu no ano hidrológico de 1962/1963 com 3,49 m³/s.

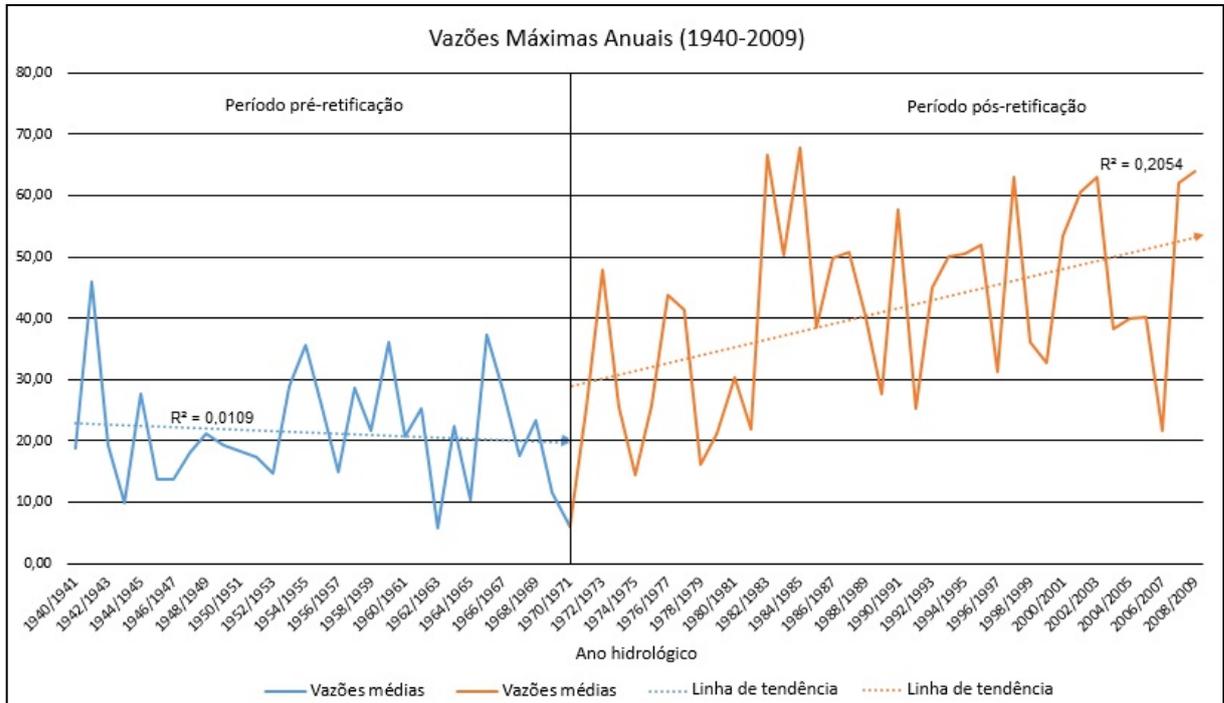
Gráfico 3 - Vazões Médias Anuais do período de 1940-2009



Ao observar o Gráfico 4 de vazões máximas anuais pode-se perceber também uma tendência de aumento dos valores de vazão no período pós-retificação. As vazões máximas aumentaram pela facilidade de escoamento proporcionada pela retificação, pois o curso do rio antes circulava em um padrão de curvas que amorteciam e diminuam a velocidade de escoamento e com a retificação o curso retilíneo favoreceu o aumento da velocidade de escoamento da água.

O maior valor de vazão anual encontrada refere-se ao ano hidrológico de 1984/1985 com 68,51 m³/s, já o menor valor da série de vazões máximas foi encontrado no ano hidrológico de 2006/2007 com 21,28 m³/s.

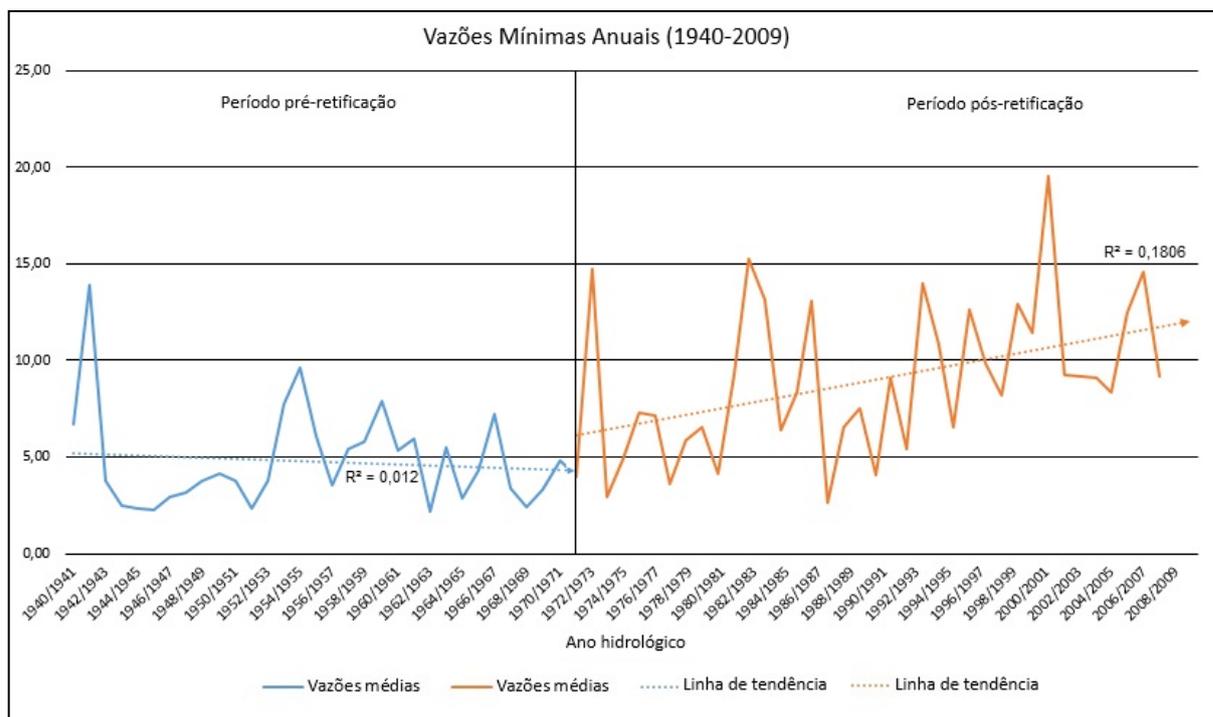
Gráfico 4 - Vazões Máximas Anuais no período de 1940-2009



O Gráfico 5 das Vazões Mínimas Anuais demonstra também uma leve alteração no padrão pré e pós retificação, no período de 1971 a 1972 verifica-se o valor máximo das vazões mínimas estudadas. De acordo com Borges (2013), em um estudo considerando os dados pluviométricos da Região Metropolitana de Porto Alegre, no período de 1970 a 2012 destacou-se como mais chuvosos os anos de 1972, 1984, 1986, 1987, 2003 e 2009. Justificando os elevados valores que se destacam no gráfico.

A mínima das vazões mínimas foi identificada no ano de 1988 com 2,62 m³/s. Verificou-se através dos dados disponíveis no Plano de Bacia e no banco de dados da Metsul Meteorologia que o ano de 1988 foi de estiagem e muito seco em toda a região da Grande Porto Alegre.

Gráfico 5 - Vazões Mínimas Anuais no período de 1940-2009



Ao analisar-se o comportamento padrão das vazões, nos três gráficos, em uma escala temporal maior (69 anos) podemos comprovar o aumento das vazões após a retificação do rio Gravataí. Na medida em que o objetivo inicial do DNOS ao retificar o Gravataí era justamente o aumento da velocidade de escoamento da água e a drenagem do Banhado Grande, podemos afirmar que, infelizmente, essa intervenção vem cumprindo fielmente seus objetivos de criação.

A bacia do Gravataí sofre inúmeros impactos decorrentes da pressão antrópica destes, as inundações urbanas são as mais notáveis ao atingir grande parte da população a jusante do rio. Assim sendo, os passivos ambientais do canal retificado do Gravataí tornaram-se mais relevantes do que o cumprimento do objetivo proposto pelo DNOS com sua abertura.

A variação tão extrema das vazões dá margem a necessidade de se repensar o traçado do curso retificado do Gravataí. O trecho retilíneo favorece ainda mais o escoamento acelerado da montante para jusante, impedindo o Banhado Grande de cumprir sua função na bacia de “esponja” ao absorver os grandes picos de pluviosidade e liberar a água de forma lenta, conforme demandado. Desta forma, para o Gravataí a melhor intervenção deve ser focada na descanalização deste rio, ou seja, a retomada do seu curso mais próximo ao natural (meândrico).

Ao se renaturalizar um rio a velocidade de fluxo da água diminui ao encontrar curvas em seu traçado, sendo assim, a tendência demonstrada na análise histórica dos dados de vazão comprova a necessidade de renaturalização do trecho retilíneo do Gravataí.

6.3 Pontos para intervenção no experimento

Foram selecionados 4 pontos, na área da reserva municipal, Figura 32, para instalação do experimento por possuírem potencial de renaturalização, conforme verificado na análise de imagens e visitas a campo.



Figura 32– A: Localização dos pontos selecionados para instalação do experimento de renaturalização; B: Área da reserva municipal de Gravataí, em implantação.

Após as análises de imagens verificou-se a campo os locais selecionados como potenciais para receberem as intervenções visando a renaturalização. O ponto 1, (Figura 33) localiza-se na conexão do leito do canal retificado com a entrada do fluxo de água para os meandros.



Figura 33– Ponto 1, foto em campo demonstrando a conexão do canal para com os meandros.
Foto: Autor, 2015.

Este ponto foi selecionado por apresentar melhor potencial de reconexão do fluxo do canal aos meandros. Em campo verificou-se que a profundidade do canal no trecho em que adentra os meandros diminui, e fica em torno de 1 a 1,5 metros. Em período de estiagem o nível de água nesse trecho baixa tanto que fica impossível a navegação de barcos nesse trecho. O canal apresenta-se assoreado pelo fluxo de sedimentos que se depositam ao início da curva do fluxo meândrico.

Sendo assim, selecionou-se este ponto para instalação da unidade experimental, baseada em biotécnicas, visando o fortalecimento da conexão meândrica e o fechamento do trecho do canal assoreado. As intervenções de bioengenharia terão por objetivo a garantia de reconexão do fluxo do canal retilíneo aos meandros adjacentes da planície, expandindo a área de circulação do rio e diminuindo a velocidade de fluxo da água através de suas curvas.

Ainda durante as análises das imagens constatou-se a existência de dois canais de drenagem construídos, que visivelmente afetam a dinâmica da circulação da água pelos meandros, drenando-os e direcionando novamente o fluxo para o canal retilíneo. Em campo, (Figura 34 e 35) pode-se constatar o impacto da drenagem destes canais, visto isso considerou-se a possibilidade de intervenção nos mesmos.

Para tanto foi verificado com moradores locais que ambos canais não são mais utilizados para irrigação de lavouras, estando atualmente abandonados. Dessa forma, sugere-se pequenas intervenções pontuais para barramento do fluxo de água em determinados níveis no trecho desses canais, visando o fortalecimento da conexão meândrica e a não drenagem dos mesmos.

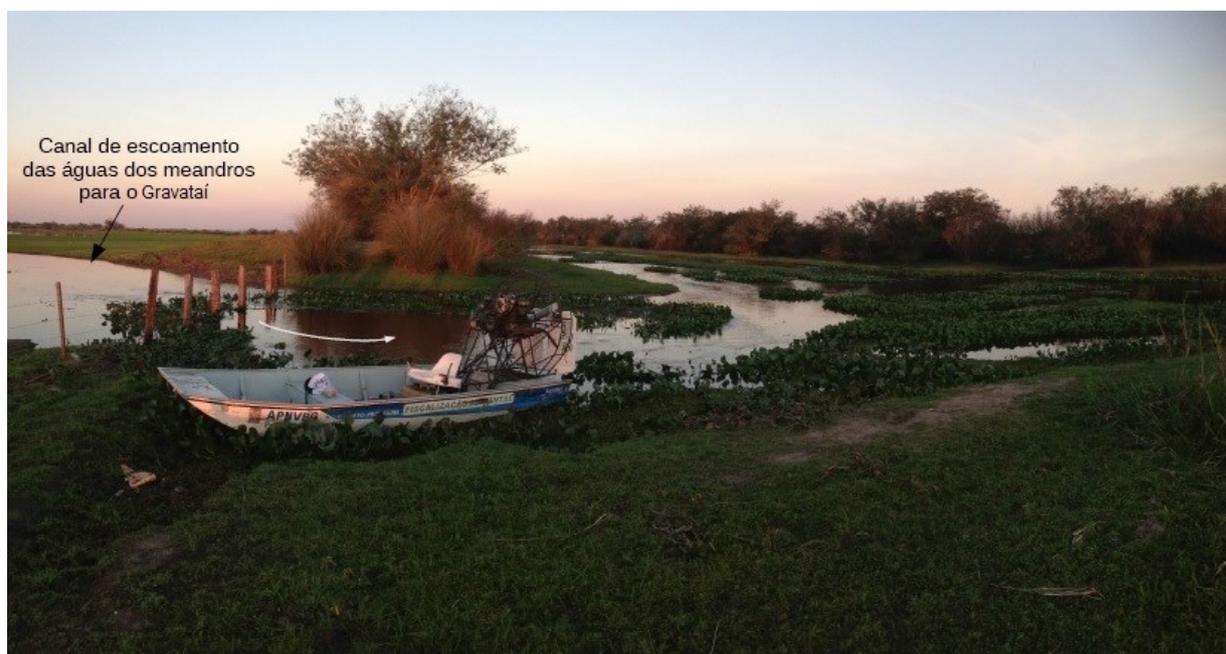


Figura 34 – Canal de drenagem abandonado e meandros na planície, local de intervenção dos pontos 2 e 3. Foto: Autor,2015.

O Ponto 4, (Figura 35) apresenta assoreamento na saída da curva do meandro para a entrada do canal de drenagem, à vista disso projeta-se apenas a estabilização desse processo de assoreamento com a intervenção de fechamento do fluxo para o canal.



Figura 35– Ponto 4, canal de escoamento dos meandros com início de um processo de assoreamento. Fonte: Google Earth, 2015.

Os pontos selecionados e as técnicas associadas a cada um encontram-se no quadro 3, abaixo:

Quadro 3 – Apresentação da localização dos pontos e técnicas de bioengenharia

Pontos	Localização	Técnicas de bioengenharia a serem aplicadas
1	Lat. 30°0'26.67"S Long. 50°53'49.83"O	Técnica de entrelaçamento e disposição de sacos de areia.
2	Lat. 30°0'2.44"S Long. 50°54'14.67"O	Técnica de paliçada disposta transversalmente
3	Lat. 30°0'16.83"S Long. 50°54'21.92"O	Técnica de paliçada disposta transversalmente
4	Lat. 30°0'33.33"S Long. 50°52'2.94"O	Técnica de paliçada disposta transversalmente

6.4 Projeção da unidade experimental

A renaturalização de rios originalmente meandantes e posteriormente canalizados consiste em melhorar os raios de curvatura do rio retificado devolvendo o equilíbrio ecológico para o ecossistema, diminuindo a velocidade de escoamento do fluxo da água através das curvas. Aumentando assim a biodiversidade e proporcionando a recuperação da zona de amortecimento de cheias, diminuindo as inundações a jusante.

Apesar de ser um tema ainda recente no Brasil, a renaturalização surge como uma alternativa sustentável e de baixo custo para mitigação dos impactos de obras de retificação não cimentadas, como o caso do rio Gravataí. A relevância desta pesquisa expõe a fragilidade dos ecossistemas abrangidos nesta bacia, onde apesar de existirem muitos mecanismos de proteção há uma carência de estudos e informações de cunho científico.

A aplicação do modelo Recovery Cascade (recuperação em Cascata) para a região do canal do Gravataí possibilitou identificar as principais barreiras para a recuperação/renaturalização dos meandros do Gravataí, as quais consistem no canal retificado e na mata ciliar consolidada no leito desse canal. Os benefícios da superação destas barreiras podem ser divididos em ambientais (diminuição da vazão de pico, controle da erosão e preservação dos banhados) e sociais (melhoria no abastecimento público e diminuição de cheias).

A partir da união das técnicas selecionadas e das análises a campo do local para instalação, elaborou-se a projeção da unidade experimental. Na Figura 36 apresenta-se três perspectivas da unidade experimental.

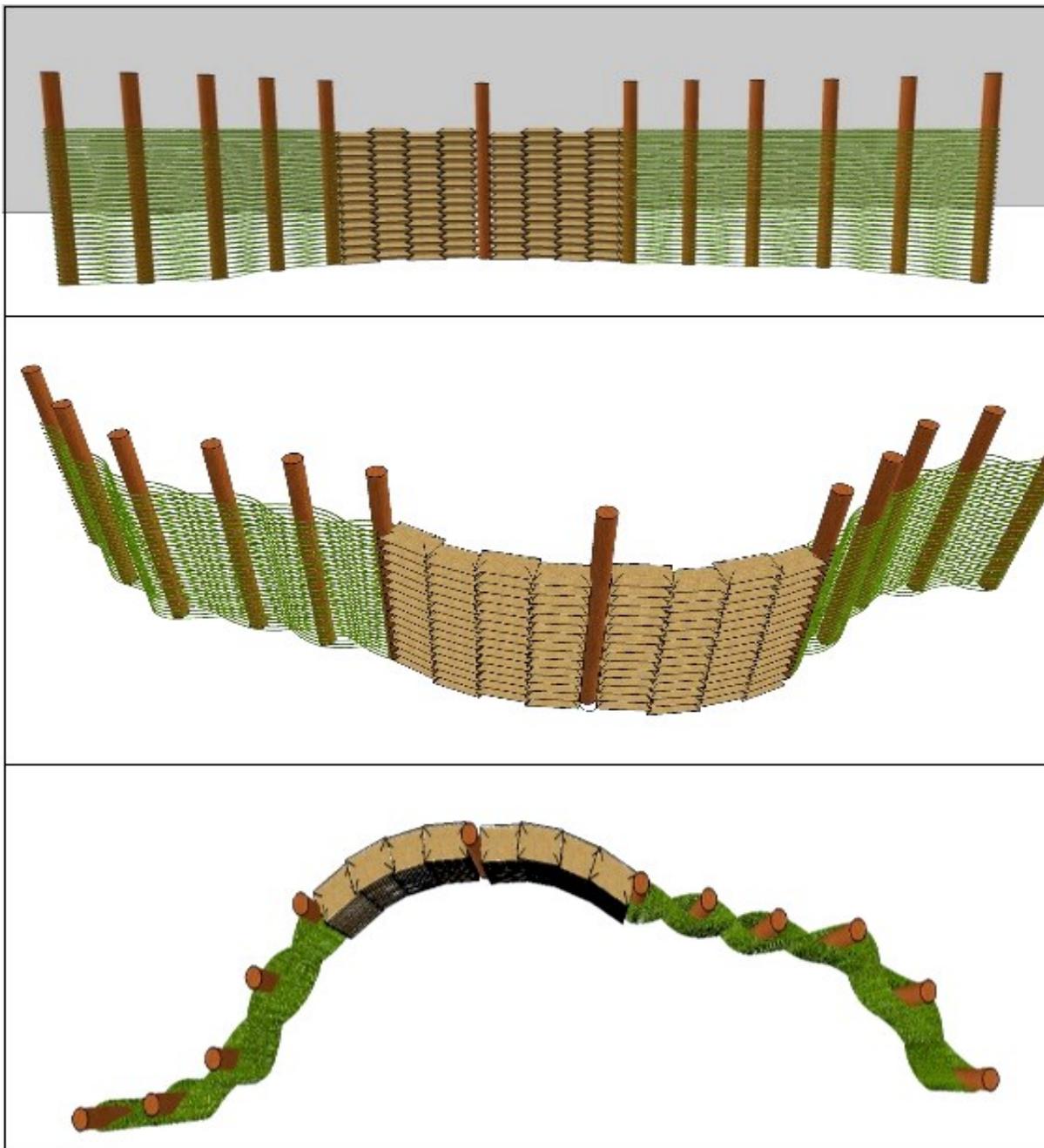


Figura 36– Projeção tridimensional da unidade experimental, unindo as técnicas de bioengenharia selecionadas. Elaborado em conjunto com Ébelson Jessé da Silva Rosa²

² Acadêmico de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Feevale

O desenvolvimento da unidade experimental busca a consolidação/fortalecimento da ligação num trecho do canal retificado com os meandros, buscando redirecionar o fluxo d'água e assim reativar os antigos meandros do curso do rio. A reativação desses meandros visa a mitigação dos impactos locais causados pela retificação, diminuindo a velocidade da água através das curvas e proporcionando um aumento da biodiversidade local e territorial.

O experimento terá um traçado curvilíneo, como apresentado na projeção, Figura 37, visando a proteção das margens (entrelaçamento) com a trança-viva e o redirecionamento do fluxo através do posicionamento das sacas de areia.



Figura 37– Sobreposição da projeção com a foto do local para instalação da unidade experimental.

O entrelaçamento deve ser construído em uma extensão de 9 metros na margem esquerda e 7,5 metros na margem direita, os troncos (4 metros de altura) deverão ser fixados em uma distância de 1 metro entre si, onde o material vegetal será “trançado” garantindo a estabilidade das margens, (Figura 38).

Para aumentar a estabilidade no redirecionamento do fluxo inseriu-se a técnica de sacas de areia na construção da unidade experimental. As sacas deverão ser dispostas em uma extensão de 6 metros de largura por 3 metros de altura, (projeção de 2 metros submersos e 1 na linha da água) apoiadas por um tronco principal, visando bloquear em determinados níveis do rio a passagem de água para o curso do canal retificado. Direcionando assim o fluxo de água para os meandros, mas possibilitando também em períodos de cheia a passagem de água ao trecho retificado do curso do rio.

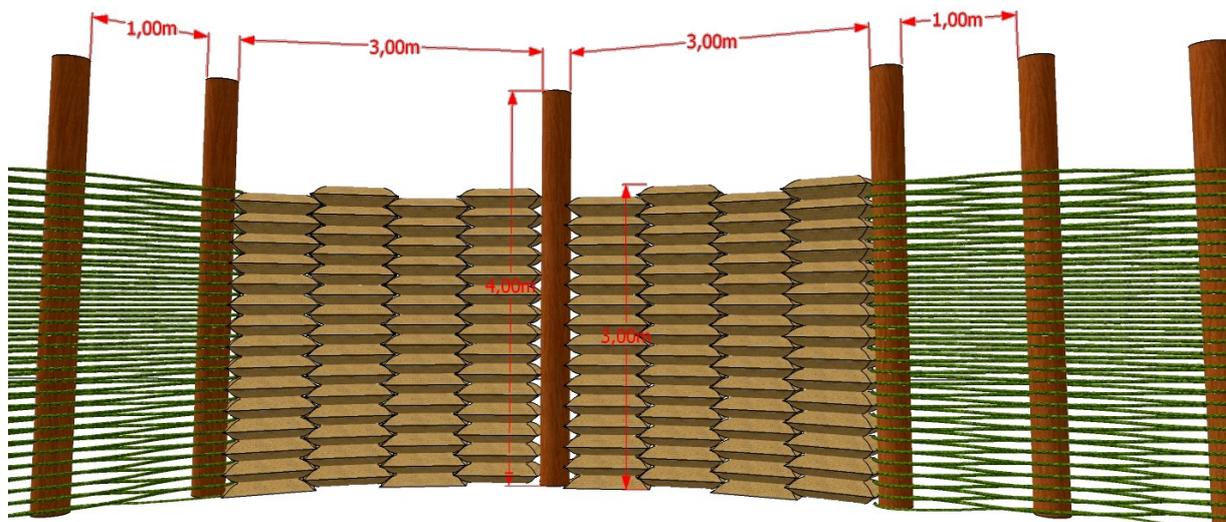


Figura 38– Projção das medidas da unidade experimental.

6.5 Processo metodológico para instalação do experimento

A instalação do experimento deverá ser realizada em duas fases: as ações físicas e as ações de monitoramento. Seguindo as seguintes etapas:

6.5.1 Ações físicas

I. Limpeza do trecho do canal a receber o experimento e levantamento da vegetação:

De acordo com Sutili (2005), a limpeza é tomada no sentido técnico e engloba a retirada de blocos singulares de pedras, conjuntos de seixos e materiais vegetais, depositados que se encontram dentro do leito ou em posições que dificultem o livre fluxo das águas.

A recolocação destes seixos, como material de enchimento no enrocamento vegetado, em posições onde está ocorrendo desbarrancamentos, representa uma medida que proporciona maior segurança às margens. O material vegetal retirado, tais como, troncos, árvores e galhadas, poderá ser utilizado também para correções de problemas no próprio leito, de acordo com as características locais (SUTILI, 2005).

II. Controle da erosão, contenção de margens e instalação da unidade experimental:

Conforme selecionado anteriormente e de acordo com a metodologia de Araújo Filho (2013), para o controle da erosão aplicar-se-á a técnica de enrocamento vegetado onde deve-se colocar camadas de rochas acima e abaixo do nível da água para atingir a cota máxima e a cota mínima do rio. Entre os espaços das pedras deverão ser plantadas estacas produzidas com a porção do meio e da base do ramo de *Phyllanthus sellowianus* (Sarandi-branco) e *Salix rubens* L. (Salseiro ou Vime), e fixadas estacas com espaçamento de 1m x 1m para crescimento das mudas.

O enrocamento vegetado é uma biotécnica utilizada na base do talude, na faixa entre as cotas máxima e mínima do leito do canal, visando proporcionar uma proteção na base e garantir o desenvolvimento da vegetação e estabilização do talude. Conforme Abelho (2012) o plantio na margem externa dos meandros promove a estabilidade do canal impedindo a acentuação das curvas. A margem externa dos meandros fica assim com maior declive enquanto que a margem interna tem declive mais suave permitindo a inundação lateral.

Sutili *et al.* (2004) realizaram um experimento para testar a eficiência na utilização de duas espécies nativas do Rio Grande do Sul em um ambiente de margem. Os autores testaram a capacidade de brotação de estacas produzidas a partir de três porções do ramo (ponta, meio e base) das duas espécies, plantadas em faixas, em diferentes posições na margem de um curso de água. A primeira faixa situava-se na parte baixa do barranco, próxima a linha de água, seguida pelas outras, margem acima, até aproximadamente 5 m do nível da água. A resposta das duas espécies foi bastante parecida, embora o Sarandi-branco tenha apresentado um número total de estacas pegadas (vivas), ligeiramente maiores que o do vime, após 60 dias. Ambas as espécies tiveram um desenvolvimento mais adequado quando foram utilizadas estacas produzidas a partir da base dos ramos, portanto, mais grossas. Quanto à posição em relação ao nível da água, independentemente da origem (base, meio ou ponta) do material vegetal, nota-se que, para o Sarandi-branco e para o Vime, a proximidade com a linha de água teve influência positiva para o índice de pega.

Essas espécies foram escolhidas para fazer parte do experimento por apresentarem maior eficiência para brotamento em proximidade com a linha de água, tendo em vista sua aplicação na margem de um curso d'água em planície de inundação. Além de serem espécies nativas e amplamente distribuídas no Rio Grande do Sul. A construção do enrocamento de pedras poderá ser realizada manualmente.

Para o redirecionamento do fluxo, no ponto 1 (Lat. 30°0'26.67"S e Long. 50°53'49.83"O), selecionado para a instalação do experimento, deverá ser aplicada a técnica de bioengenharia de entrelaçamento que consiste na formação de “tranças” de material vegetal envoltos entre troncos de madeira que podem ser tanto vivos ou inertes. Na figura 39, o traçado em amarelo demonstra o local a ser aplicada a técnica.



Figura 39 - Ponto 1: em amarelo local para construção da trança-viva, em vermelho local das sacas de areia para redirecionamento do fluxo.

Para a instalação devem ser utilizados 23 troncos de madeira tratada de cerca de 4 metros de altura, e galhos de árvores dando preferência ao *Salix Rubens* devida a resistência e flexibilidade dos seus galhos. A trança-viva auxiliará na consolidação da condução do fluxo do rio para os meandros. No local traçado em vermelho serão colocadas sacas de areia, protegidas por troncos de madeira, para redirecionamento do fluxo do canal aos meandros.

Para execução da instalação são necessários os seguintes materiais: pedras, troncos, material vegetal seco (a ser retirados do leito do rio), sacas, resíduo de rocha para enchimento das sacas, luvas, botas, pás, GPS e câmera fotográfica.

III. Intervenção nos canais de drenagem abandonados na planície de inundação:

Conforme observado a partir das imagens de satélite e verificado em campo, há alguns canais de drenagem abandonados no leito da planície de inundação. Estes canais deverão

receber uma intervenção para impedir que o fluxo de água, que passa por eles, acelere o processo de escoamento das águas da planície de inundação. Dois destes canais destacaram-se por cortarem o fluxo de água dos meandros e dificultar o processo de ativação dos meandros da planície.

Nos pontos 2, 3 e 4 deve-se aplicar a técnica de bioengenharia de paliçadas (Figura 40), tendo por objetivo impedir o fluxo pelos canais de irrigação abandonados, favorecendo a passagem de água pelos meandros e sua reconexão na planície de inundação. Esses canais de irrigação mesmo não sendo mais utilizados continuam atendendo sua finalidade de drenagem, o que prejudica a circulação da água pelos meandros já que promovem um escoamento rápido e retilíneo da água depositada em períodos de inundação.

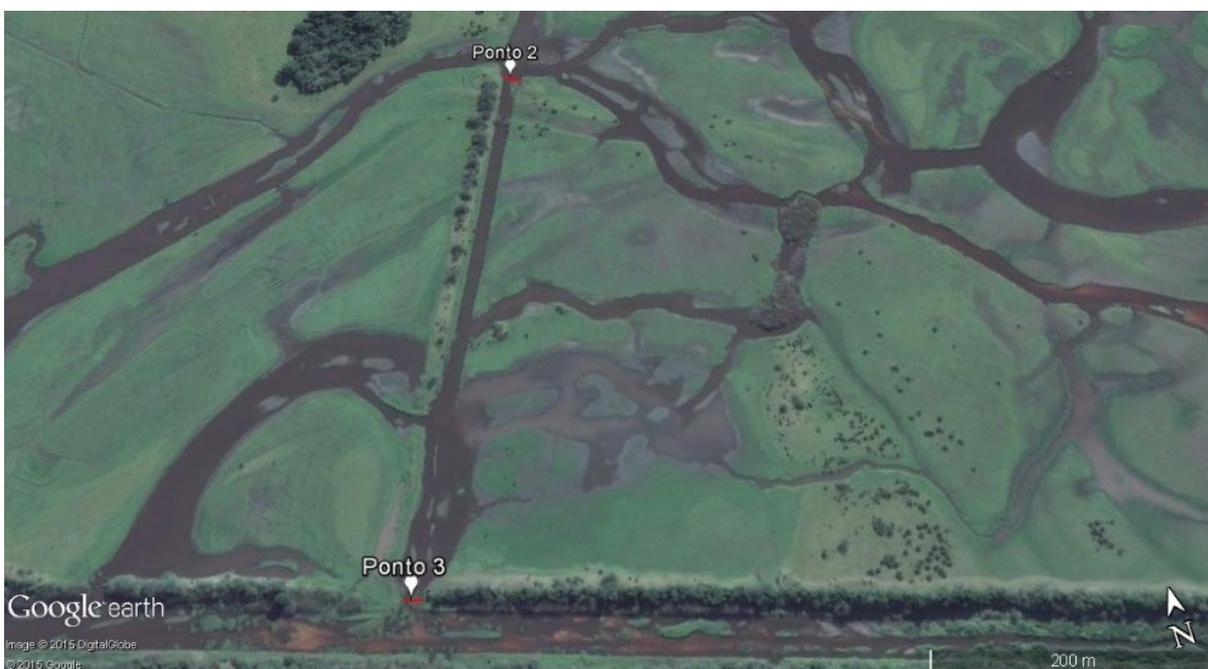


Figura 40 - Pontos 2 e 3: locais para instalação das paliçadas.

No ponto 2 (Lat. 30°0'2.44"S e Long. 50°54'14.67"O), deverá ser colocada uma paliçada de aproximadamente 15 metros disposta transversalmente no leito do canal de irrigação. No ponto 3 (Lat. 30°0'16.83"S e Long. 50°54'21.92"O) deve-se colocar 2 troncos de 6 metros para compor a paliçada horizontalmente, já no ponto 4, figura 41, (Lat. 30°0'33.33"S e Long. 50°52'2.94"O) uma paliçada de aproximadamente 3 metros de largura deve ser implantada.



Figura 41 - Ponto 4: local para instalação de paliçada.

6.5.2 Ações de monitoramento

A última etapa da implementação da unidade modelo de renaturalização consiste no monitoramento do rio através da mensuração de alguns parâmetros (turbidez, sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão, vazão, pH, condutividade elétrica, poluentes) e das obras de bioengenharia, bem como a manutenção das mesmas.

O estabelecimento da vegetação na margem do canal depende de vários fatores ambientais externos. Para o sucesso da implementação do experimento de renaturalização os procedimentos de avaliação e monitoramento da vegetação deverão ser realizados de acordo com os indicadores selecionados, (Quadro 4) na metodologia de Melo (2010).

Para o monitoramento do rio propõem-se a mensuração da vazão no ponto fluviométricos no trecho retificado para avaliar o comportamento do trecho submetido a renaturalização. Visto que, segundo Benigno *et al.* (2003), a quantidade de água que passa nesta parte canalizada do rio deverá voltar a passar pelo leito antigo, podendo, caso o leito antigo não apresente uma área hidráulica suficiente, vir a transbordar.

Quadro 4 - Indicadores de avaliação e monitoramento para projetos de restauração/renaturalização de matas ciliares

Manutenção					
Indicador		Nível de Adequação		Recomendação	Periodicidade
	1	2	3		
Mortalidade	Até 10%	Entre 10 e 20% ou menor, localizada em reboleiras	Entre 10 e 20% localizada em clareiras ou acima de 20% dispersos na área	Analisar causa da mortalidade e adotar medidas necessárias de controle de doenças, pragas ou adequação de espécies às condições ambientais	Mensal no 1º semestre, trimestral a partir do 2º semestre.
Ataque de formigas	Até 10%	Entre 10 a 20% das árvores ou mudas parcialmente desfolhadas ou até 10% em totalmente desfolhadas	Mais de 20% das árvores ou mudas parcialmente desfolhadas ou mais de 10% em totalmente desfolhadas	Analisar espécie infestante, condições climáticas e adotar técnica de controle. Realizar replantio de mudas em caso de mortalidade	Mensal no 1º semestre, trimestral a partir do 2º semestre
Matocompetição na coroa das mudas	Ocorrência em até 10% da coroa	Observa-se ocorrência de competidoras em área entre 10 e 30% das coroas	Observa-se ocorrência de competidoras em área entre maior que 30% da áreas das coroas	Analisar espécie infestante, condições climáticas e priorizar região da coroa das mudas para adoção de medidas manuais ou químicas de controle de infestantes de mudas	Mensal no 1º semestre, trimestral a partir do 2º semestre
Matocompetição na entrelinha	Menor que 30% da área	Ocorrência de competidoras em área equivalente a 30-50% da área	Mais de 50% de matocompetição dispersa nas entrelinhas	Analisar espécie infestante, condições climáticas e priorizar região da coroa das mudas para adoção de medidas manuais ou químicas de controle de infestantes de mudas	Mensal no 1º semestre, trimestral a partir do 2º semestre

Fonte: Adaptado de Melo, 2010.

As análises para o monitoramento da água deverão ser realizadas periodicamente, a cada 90 dias (monitoramento trimestral), através da coleta de dados e das medições de cor,

turbidez, bem como, coleta de água para a análise dos sedimentos em suspensão. O monitoramento da vazão deverá ser realizado conforme a coleta de dados de vazão da estação Passo das Canoas podendo ser estimada, para as datas em que não ocorrer mensuração, através dos dados de cotas diários da estação.

Como afirmado por Sutili (2005), é preciso ter em mente, que as obras de bioengenharia não alcançam sua total efetividade logo após a implantação. Primeiro, há que se aguardar a pega e o desenvolvimento radicial e aéreo das plantas. Nesta fase, podem ser necessárias intervenções de reposição vegetal e/ou tratos culturais. Somente após a fase de implantação, cuja duração depende de diversos fatores, é que as obras começam a desempenhar integralmente sua ação corretiva e duradoura sobre o problema que se pretende solucionar.

6.6 Análises e Considerações

A bacia hidrográfica do rio Gravataí abrange um dos conjuntos de áreas úmidas mais importantes para a conservação e preservação das espécies endêmicas e para a regulação do regime hídrico da Região Metropolitana de Porto Alegre. É nos seus banhados que se encontram os últimos remanescentes de Cervos do Pantanal e algumas outras espécies características destes ambientes, além da rota de aves migratórias que se refugiam e se alimentam nestes locais.

Infelizmente ao longo dos anos, através da pressão antrópica para expansão urbana e aumento da produção agrícola, as áreas úmidas vêm sofrendo impactos muito significativos que refletem em processos erosivos acentuados no interior do Banhado Grande e a perda de reservatórios naturais de água. As áreas úmidas atuam como esponjas, absorvendo o excesso de precipitações e liberando nos períodos mais secos, mas com a drenagem dessas áreas a funcionalidade deste serviço ambiental está ficando comprometida.

Ao analisar-se o mapa do relevo da APA BG (Figura 42) observa-se que toda a extensão das áreas úmidas se localiza no interior do mesmo compartimento de relevo (Planície Fluviomarina e Fluviolagunar), toda esta área vem sendo estudada como corredor de ligação entre os ambientes de banhado presentes na bacia. Acredita-se que a localização dos mesmos neste compartimento garantiu a manutenção e preservação das espécies que, antes da expansão orizícola, circulavam entre os banhados.

Bem como a própria conservação dos fragmentos de áreas úmidas e de áreas de inundação, como a área potencial deste estudo, por suas tipologias de solo semelhantes e de difícil manejo para a agricultura.

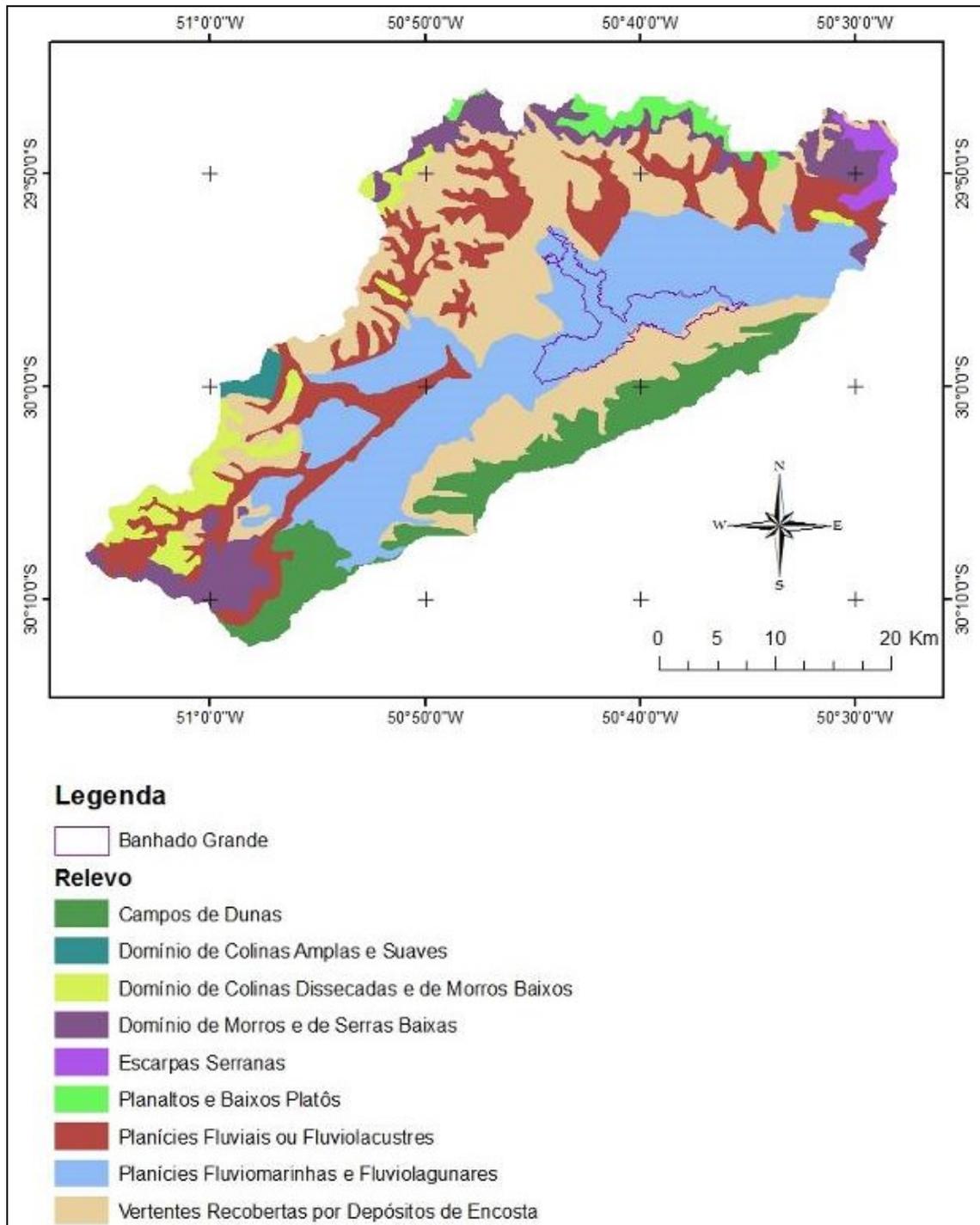


Figura 42- Mapa do relevo da área da APA do Banhado Grande. Fonte: ETCHELAR, 2014 modificado de CPRM, 2008.

A aplicação os preceitos do modelo de recuperação *Recovery Cascade* (recuperação em cascata) na região de estudo, encontrou-se duas principais barreiras para a recuperação/renaturalização dos meandros do Gravataí: o canal retificado e a mata ciliar consolidada no leito desse canal. Os benefícios da superação destas barreiras podem ser divididos em ambientais (diminuição da vazão, controle da erosão e preservação dos banhados) e sociais (melhoria no abastecimento público e diminuição de cheias).

Busca-se através dos debates iniciados com essa pesquisa fortalecer o estabelecimento e a recategorização como unidade de conservação da Reserva Ecológica do Banhado Grande. A unidade criada em 1981 busca seu reconhecimento como UC para iniciar as medidas de restrição de usos e manejo da terra no seu interior. A área da reserva abrange em sua totalidade o último remanescente de planície de inundação preservada do leito retificado do Gravataí, o que torna sua implementação urgentemente necessária.

A ferramenta metodológica aqui gerada pode ser replicada em outras áreas que visem a renaturalização de canais retificados e não cimentados. Para o processo de renaturalização ter sucesso é preciso estar em consonância, em nível estadual municipal e regional, com os planos diretor, planos de saneamento, programas de proteção ambiental, plano de zoneamento e plano de bacia assim como com os programas ambientais.

7. CONCLUSÕES

A aplicação de ferramentas de geoprocessamento no processo de identificação de áreas potenciais de renaturalização demonstrou-se muito eficaz. A metodologia utilizada correspondeu aos objetivos propostos de realçar áreas com lâmina d'água no decorrer da planície de inundação do leito do trecho retificado do Gravataí.

Desta forma conclui-se que, a metodologia aqui aplicada poderá ser replicada em demais estudos que visem a identificação de locais com potencial de recuperação/renaturalização em leitos de cursos d'água retificados.

Ressalta-se que a metodologia de aplicação do NDWI foi utilizada em um canal não cimentado, onde há possibilidade de expansão lateral do leito do canal sem implicar em desapropriação de loteamentos. Em áreas urbanas há de se analisar alternativas de mitigação para os impactos da canalização cimentada quando não houver possibilidades de descanalização do curso d'água. O uso de ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento se mostram bastante adequadas ao planejamento e gestão dos cursos hídricos e planícies inundáveis.

Os softwares utilizados para a manipulação das imagens e projeção do experimento são de licença aberta, gratuitos e disponíveis na rede. Ambos demonstraram ótima performance como ferramenta para o processo de planejamento de renaturalização. A escolha de softwares de licença aberta baseou-se principalmente no fato de consolidar ferramentas de acesso universal para subsidiar mecanismos de gestão de áreas potenciais para municípios e organizações ambientais não governamentais.

A partir dos resultados da análise da série histórica de vazões do rio Gravataí conclui-se que há uma tendência de aumento da velocidade do fluxo da água no momento pós-retificação do canal. Este aumento de vazão está diretamente relacionado a retificação do curso meândrico do rio, que ao facilitar o escoamento e não possuir curvas (meandros) para amortizar esse fluxo favorece o aumento da velocidade da água e por consequência implica em diversos impactos na bacia.

A população clama por uma solução, o banhado clama pelo fim da sua drenagem e assim, em busca da conciliação de um rio impactado, conclui-se que o processo de renaturalização consiste na intervenção mais adequada ao leito deste rio retificado. Visto que, as áreas potenciais destacadas neste estudo demonstram potencial de reconexão do curso antigo do rio ao fluxo d'água.

Assim sendo, a renaturalização associada às técnicas de bioengenharia buscará favorecer

a redução da velocidade d'água, e por consequência mitigar os processos erosivos. Reduzindo também as vazões máximas pela ampliação da planície de inundação e menor velocidade de escoamento pelas curvas dos meandros.

Após décadas de exploração aos recursos hídricos e afastamento dos cursos d'água, inúmeras cidades vêm buscando uma mudança de paradigmas ao tentar se conciliar com seus rios, promovendo de forma sustentável uma reaproximação e mitigação dos passivos ambientais da herança das grandes obras higienistas.

Apesar de ser um tema ainda recente no Brasil, a renaturalização surge como uma alternativa sustentável e de baixo custo para mitigação dos impactos de obras de retificação não cimentadas, como o caso do rio Gravataí.

A partir dos resultados obtidos com a aplicação do índice e da metodologia proposta delineou-se uma nova tecnologia de recuperação de planícies de inundação baseadas nos preceitos sustentáveis da bioengenharia.

Favorecendo *feedbacks* positivos tanto do ponto de vista ecológico como social, ao possibilitar à população o conhecimento dos benefícios da preservação desses ambientes. Utilizando-se também da unidade experimental para, em campo, demonstrar a comunidade o processo de retorno do rio ao seu curso natural e os serviços ambientais ali envolvidos.

REFERENCIAS

- AB'SABER, A. N. O suporte geocológico das florestas beiradeiras (ciliares). In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. de F. Matas Ciliares: conservação e recuperação. São Paulo: Edusp/Fapesp, cap. 1. p. 15-43, 2000
- ABELHO, M. Ecologia II: Ecossistemas fluviais-19 de fev. de 2012. 29 f. Notas de Aula. Arquivo digital.
- ALVES, M. P. A recuperação de rios degradados e sua reinserção na paisagem urbana: a experiência do rio Emscher na Alemanha. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- ARAUJO FILHO, R. N. et al. Implantação de técnicas de bioengenharia de solos no controle da erosão no baixo São Francisco, estado de Sergipe. **Scientia Plena**. Sergipe, vol. 9, Num. 7, 2013.
- BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento remoto da dinâmica de circulação da água do sistema planície de Curuaí/Rio Amazonas. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2005.
- Benigno, E., Saunders, C., & Wasserman, J. C. Estudo dos Efeitos da Renaturalização no Regime Hídrico do Baixo Curso do Rio São João. Universidade Federal Fluminense - Consórcio Intermunicipal Lagos São João - WWF. Niterói. 2003.
- BINDER, W. et al. Natural River Engineering – characteristics and limitations. **Garden und Landschaft**, vol. 2, p. 91-94, 1983.
- BINDER, W. Rios e Córregos, Preservar - Conservar – Renaturalizar: A Recuperação de Rios, Possibilidades e Limites da Engenharia Ambiental. SEMADS: Rio de Janeiro, 2001.
- BORGES, F.F. Análise das Dinâmicas Fluviométricas e Hidrométricas e os Eventos de Inundação na Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso. In: XXV SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRGS, 2013. Porto alegre: 2013.
- BORGES, R. et al. Aplicação do índice da diferença normalizada da água (NDWI) na delimitação de fluxos de sedimentos em suspensão no Rio Araguaia: avaliação das imagens Landsat 8 para o monitoramento hidroviário. 2015. João Pessoa. Anais... In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR). São José dos Campos: INPE, p. 6022-6029, 2015.
- BORGES, R. F. et al., Mapeamento de Áreas Úmidas Através de Dados de Sensoriamento Remoto e Técnicas de Geoprocessamento na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Bom Jardim – MG. Universidade Federal de Pernambuco, 2009.
- BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 02 set. 1981.

_____. Lei n 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n^{os} 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n^{os} 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n^o 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 28 mai. 2012.

_____. Medida Provisória N^o 2.166-67, de 24 de Agosto de 2001. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 24 ago. 2001.

_____. Ministério do Exército, Diretoria de Obras de Cooperação. Utilizando a Bioengenharia, 2013. Boletim Técnico. Disponível em: <http://www.exercito.gov.br/06OMs/Diretori/doc/bol_tec/bioengenharia.htm>. Acesso em: 25 jan 2015.

BRENNER, V. C.; GUASSELLI, L. A. Análise da viabilidade do processo de renaturalização de um trecho do canal retificado do rio Gravataí, Rio Grande do Sul, Brasil. V SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS DO PANTANAL. Campo Grande, p. 593-601, 2015.

BRUBACHER, J. P.; GUASSELLI, L. A. Mapeamento da área inundável da planície do rio dos Sinos a partir do índice NDWI, São Leopoldo – RS, 2013. Foz do Iguaçu. Anais... In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR). São José dos Campos: INPE, p. 4540-4547, 2013

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R.A. Principles of geographical information systems. Oxford, Oxford University Press, 1998.

BURROUGH, P.A. Principles of geographical information systems for land resouces assessment. Oxford, Clarendon Press, p.193, 1986.

CALDERARI, E. S. A reinserção dos cursos de água em áreas urbanas. Estudo de caso: Microbacia do Córrego Jataí-Uberlândia/MG. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia Fluvial. São Paulo: Edgar Blucher Ltda., p. 313, 1981.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 2 ed. p. 188, 1980.

COLLISCHONN, B. et al. Modelagem Hidrológica de Uma Bacia com Uso Intensivo de Água: Caso do Rio Quaraí-RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 119-133, 2011.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n^o 429, de 28 de fevereiro de 2011. Dispõe sobre a metodologia de recuperação das Áreas de Preservação Permanente - APPs. **Diário Oficial [do] Estado do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, 02 mar. 2011.

COSTA, R. C. Parques fluviais na revitalização de rios e córregos urbanos. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande, 2011.

COSTA, R. C. Parques fluviais na revitalização de rios e córregos urbanos. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Ciências Humanas e da Informação. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2011.

CUNHA, S. B. Impactos das Obras de Engenharia sobre o Ambiente Biofísico da Bacia do Rio São João (Rio de Janeiro-Brasil). Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1995.

DANGERMOND, J. What is a Geographic information System (GIS)? In: JOHNSON, A. I.; PETTERSSON, C. B.; FULTON, J. L. Geographic Information Systems (GIS) and Mapping – Practices and Standards. Philadelphia: ASTM STP 1126, Eds. American Society for Testing and Materials. p.11-17, 1992

DARONCH, M. C.; PRADO, R. J. O impacto da rizicultura e pecuária sobre os banhados do jacaré e grande-município de São Borja/RS. VI SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA. Goiânia, 2006.

DE VASCONCELLOS, L. M.; DE MELLO, M. C. F. Terminologias em busca de uma identidade. **Revista de Urbanismo e Arquitetura**, v. 6, n. 1, 2003.

DENARDI, L. Anatomia e Flexibilidade do Caule de Quatro Espécies Lenhosas Para o Manejo Biotécnico de Cursos de Água. Tese (Doutorado em Manejo Florestal) – Centro de Ciências Rurais. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

DURIGAN, G. et al. Normas jurídicas para a restauração ecológica: uma barreira a mais a dificultar o êxito das iniciativas? **Revista Árvore**. Viçosa, v. 34, n. 3, p. 471-485, 2010.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J. Bioengenharia: Manejo biotécnico de cursos de água. Porto Alegre: EST Edições, 2005.

ENGENHARIA NATURAL. Obras de Bioengenharia de Solos, 2007. Disponível em: <http://bioengenhariadesolos.blogspot.com.br/2007_03_01_archive.html>. Acesso em: Abr. 2015.

ETCHELAR, C. B. Análise do processo erosivo no Banhado Grande, município de Glorinha-RS. Trabalho de Conclusão de Curso. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

FERNANDES, L. S. Avaliação de mantas comerciais na vegetação de talude em corte de estrada. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2004

FREITAS, A. Contra alagamentos e poluição, países devolvem aos rios seu curso natural, 2016. Disponível em: <<https://www.nexojornal.com.br/expresso/2016/01/28/Contra-alagamentos-e-polui%C3%A7%C3%A3o-pa%C3%ADses-devolvem-aos-rios-seu-curso-natural>>. Acesso em: 30 de jan. 2016.

FUNDAÇÃO ZOOBOTÂNICA DO RIO GRANDE DO SUL. Diagnóstico do meio biótico (vegetação, aracnofauna e avifauna) e mapeamento da cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Gravataí. MUSEU DE CIÊNCIAS NATURAIS. Porto Alegre, p. 118. 2001.

GRAVATAÍ (RS). Lei nº 65, de 03 de Novembro de 1981. Cria a Reserva Ecológica do

Banhado Grande no Município de Gravataí. **Gabinete do Prefeito Municipal de Gravataí**, Gravataí, Poder Executivo, 03 de nov. 1981.

GRIGIO, A. M. Aplicação de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica na determinação da Vulnerabilidade Natural e Ambiental do Município de Guamaré (RN): simulação de risco às atividades da Indústria Petrolífera. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica) – Centro de Ciências Exatas e da Terra. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

GUASSELLI, L. A.; ETCHELAR, C. B.; BELLOLI, T. F. Os impactos do cultivo de arroz irrigado sobre as áreas úmidas da Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande do rio Gravataí – RS, 2013. Foz do Iguaçu. Anais... XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR). São José dos Campos: INPE, p. 447-452, 2013.

GUERRA, A. J. T. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 3ª ed, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS/IPH. **Estudo do processo erosivo em área de banhado na bacia hidrográfica do Rio Gravataí**. Porto Alegre, 2010.

Ji, L. et al. Analysis of Dynamic Thresholds for the Normalized Difference Water Index. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 75, n. 11, p.1307-1317, 2009.

KNIGHTON, D. Fluvial forms & processes: a new perspective. New York: Oxford University, 1998.

LEITE, M. G. Análise espaço-temporal da dinâmica da vegetação no Banhado Grande, Bacia Hidrográfica do rio Gravataí, RS. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

LIU, W. T. H. **Fundamento teórico. Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Editora UNIDERP, p. 1-26, 2006.

MARCHIORI, J. C. **Dendrologia das Angiospermas – das Bixáceas às Rosáceas**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2000.

MASCARENHAS, L. M.; FERREIRA, L. G.; FERREIRA, M. E. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na bacia do rio Araguaia. In: **Revista Sociedade & Natureza**. Uberlândia, v. 21, n. 1, p. 5-18, 2008.

MCFEETERS, S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v.17, n.7, p.1425-1432, 1996.

MELO, A.G., Guia para Monitoramento de Reflorestamentos para Restauração. Circular Técnica 1. Secretaria do Meio Ambiente, Departamento de Proteção da Biodiversidade. São Paulo: SMA, 2010.

MONTEIRO, J. S. et al. Permanent Preservation Areas and their environmental services. **Journal of Biotechnology**. Vol. 4, p. 299-309, 2013.

MORAS FILHO, O. et al. CONAMA e código florestal: jurisprudência ao legislar concorrentemente. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**. São Paulo, 2014.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3 ed.atual e ampl. Viçosa: Editora Universidade Federal de Viçosa, 2005.

NATURALEA. Espacios Fluviales. Terra Alta, 2012. Disponível em: <<http://www.naturalea.eu/es/ip-espaisfluvials:Cos2>>. Acesso em: jan. de 2015.

OLIVEIRA, M.; AGRA BALBUENO, R. SENNA, R. M. Levantamento florístico de fragmentos florestais na bacia hidrográfica do rio Gravataí, Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia. Série botânica**, v. 60, n. 2, p. 269-284, 2005.

PASQUOTTO, G. B. Renovação, revitalização e reabilitação: reflexões sobre as terminologias nas intervenções urbanas. **Revista Complexus – Instituto Superior De Engenharia Arquitetura E Design** – CEUNSP, Salto/SP, Ano. 1, N.2, P. 143-149 , 2010.

PEIXOTO, J. M. A. Monitoramento da dinâmica da geomorfologia fluvial da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, por meio de técnicas de sensoriamento remoto. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2007.

PEREIRA NETO, A. F. Bioengenharia no controle de processos erosivos de áreas de hidrelétricas – o caso da PCH Costa Rica (MS). São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 2012.

PEREZ FILHO, A.; CHRISTOFOLETTI, A. Relacionamento entre ordem e largura de planícies de inundação em bacias hidrográficas. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, v. 34, n. 17, p. 112- 119, 1977.

PERONI, R. Geologia Física. Área 3, Aula 15. Apostila digital, Geologia de Engenharia I. UFRGS. Departamento de Engenharia de Minas, 2003.

PICCOLI, A. S. B. Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí. *Anais do Congresso Interamericano de Engenharia*, Porto Alegre, p. 1-9, 2000.

PORTO, R. et al. Drenagem urbana. In: **Hidrologia: ciência e aplicação**. ABRH. Porto Alegre, v. 4, p. 805-848, 1993.

PROGRAMA TÉCNICO PARA O GERENCIAMENTO DA REGIÃO METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE - PROTEGER. Fundação de Planejamento Metropolitano e Regional (METROPLAN) e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 1994.

RAMOS, C. L. Erosão Urbana e Produção de Sedimentos. In: **Drenagem Urbana**. ABRH. Porto Alegre, vol. 5, p. 241-275, 1995.

REITZ, P. R. Euforbiáceas. In: REITZ, P. R. (Org.). *Flora Ilustrada Catarinense*. Itajaí: Herbário Barbosa Robrigues, 1988.

RIBEIRO, E. P. et al. Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças ambientais na bacia hidrográfica do rio Pajeú. **Revista de Geografia**, Recife, v. 32, n. 1, p. 221-246, 2015.

RICHARDS, K. et al. Geomorphic dynamics of floodplains: implications and a potential modeling strategy. **Freshwater Biology**. vol 47, p. 559-579, 2002.

RICHTER, B. D.; MATHEWS, R.; HARRISON, D. L.; WIGINGTON, R. Ecologically sustainable water management: managing river flows for ecological integrity. **Ecological Applications**, 2003.

RIO GRANDE DO SUL. Decreto Estadual 38.971, de 23 de outubro de 1998. Cria a Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande, e dá outras providências. **Diário Oficial [do] Estado do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, 23, out. 2013. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Decreto/D5758.htm>. Acesso em: jan. 2015.

_____. Lei Estadual nº 11.520, de 03 de agosto de 2000. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. **Diário Oficial [do] Estado do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, 03 ago. 2000.

_____. **Plano de recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Gravataí**. Secretaria Estadual do Meio Ambiente, Porto Alegre, 2012.

ROBSON, B. J. et al. An outcome-based model for predicting recovery pathways in restored ecosystems: The Recovery Cascade Model. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 9, p. 1379-1386, 2011.

ROSSATO, M. S. **Os Climas no rio Grande do Sul: Variabilidade, Tendências e Tipologia**. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 2011.

RUBBO, M. **Análise do potencial hidrogeológico do aquífero cenozoico Da bacia hidrográfica do Rio Gravataí – RS**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, Porto Alegre, 2004.

SANDER, C. et al. Intervenções antrópicas em canais fluviais em áreas urbanizadas: rede de drenagem do igarapé caranã, Boa Vista/RR. **Acta Geográfica**, v. 6, n. 12, 2012.

SAUNDERS, C.; NASCIMENTO, E. Proposta para renaturalização de rios da Bacia Hidrográfica do Rio São João - RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 2006. Florianópolis. Anais... Florianópolis: UFSC, 2006.

SCHEREN, R. S. Urbanização na planície de inundação do Rio Gravataí-RS. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.

SELLES, I. M. et al. Revitalização de Rios-orientação técnica. Rio de Janeiro: SEMADS, 2001.

SEMA/RS. Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Rio Grande do Sul. Secretaria do Ambiente e do Desenvolvimento Sustentável, 15 set. 2010. Disponível em:

<<http://www.sema.rs.gov.br/>>. Acesso em: 05 jan. 2015.

SEPÚLVEDA, R. Qual revitalização queremos?. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE REVITALIZAÇÃO DE RIOS. Belo Horizonte: Instituto Guaicuy, 2010.

SILVA, C. L. Aspectos Neotectônicos do Médio Vale do Rio Mogi Guaçu: região de Pirassununga. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 1997.

SILVA, P. J. Estrutura para identificação e avaliação de impactos ambientais em obras hidroviárias. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

SILVA, P.; PIRES, M. F. Renaturalização de rios, em áreas de trechos urbanos, com a aplicação de técnicas de bioengenharia em obras de engenharia hidráulica. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS & VIII SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA. São Paulo, v. 1. p. 162-162, 2007.

SOUZA, D. P.; KOBAYAMA, M.; “**Ecoengenharia em Zona Ripária: Renaturalização de Rios e Recuperação da Vegetação Ripária**”. In: I SEMINÁRIO DE HIDROLOGIA FLORESTAL: ZONAS RIPÁRIAS. Alfredo Wagner, p. 121-131, 2003.

SUTILI, F. J. et al. Potencial biotécnico do sarandi-branco (*Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg.) e vime (*Salix viminalis* L.) para revegetação de margens de cursos de água. **Ciência Florestal**, vol. 14, n. 1, 2004.

SUTILI, F. J. Bioengenharia de solos no âmbito fluvial do sul do Brasil. Tese (Doutorado em Bioengenharia de Solos e Planejamento da Paisagem). Universidade Rural de Viena. Viena, 2007.

SUTILI, F. J. Manejo biotécnico do arroio Guarda-Mor: princípios, processos e práticas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

TUCCI, C. M. Inundações Urbanas. In: **Drenagem Urbana**. Tucci, C. M.; Porto, R. L.; Barros, M. T. (orgs). Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 15-36, 1995.

VERÓL, A. P. Requalificação fluvial integrada ao manejo de águas urbanas para cidades mais resilientes. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

VIEIRA DA SILVA, R. C. e WILSON-JR., G. **Hidráulica Fluvial**. COPPE/UFRJ, v. II, 256 p. Rio de Janeiro, 2005.

VIEIRA, V. T. e CUNHA, S. B. Mudanças na morfologia dos canais urbanos: alto curso do rio Paquequer, Teresópolis–RJ (1997/98–2001). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9, n. 1, p. 3-22, 2008.

WALTER, B. T.; GUARINO, E. G. Comparação do método de parcelas com o “levantamento rápido” para amostragem da vegetação arbórea do Cerrado sentido restrito. **Acta botânica brasileira**, v. 20, n. 2, p. 285-297, 2006.

WARD, J. V. e STANFORD, J. A. Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation. **Regulated Rivers: Research & Management**, v. 11, n. 1, p. 105-119, 1995.