

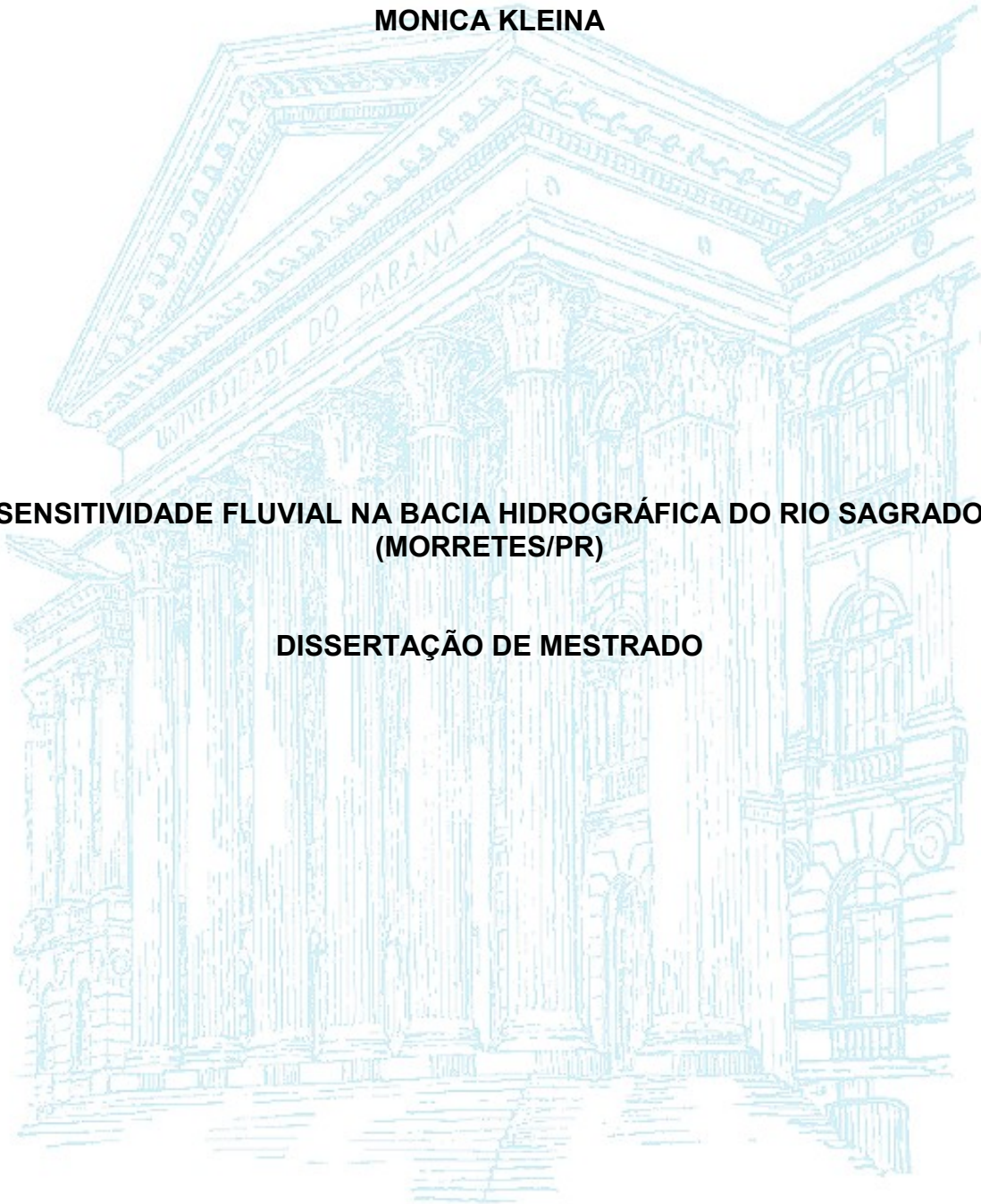
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**  
**SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**MONICA KLEINA**

**SENSITIVIDADE FLUVIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SAGRADO  
(MORRETES/PR)**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**CURITIBA**  
**2016**



**MONICA KLEINA**

**SENSITIVIDADE FLUVIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SAGRADO  
(MORRETES/PR)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Curso de Mestrado, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia, Linha de Pesquisa Paisagem e Análise Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo José Cordeiro Santos

**CURITIBA  
2016**

---

K64s

Kleina, Monica

Sensitividade fluvial na bacia hidrográfica do Rio Sagrado  
(Morretes/PR) / Monica Kleina. – Curitiba, 2016.

108f. : il. [algumas color.] ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de  
Ciências da Terra, Programa de Pós-graduação em Geografia, 2016.

Orientador: Leonardo José Cordeiro Santos

1. Bacias hidrográficas – Aspectos ambientais. 2. Sagrado, Rio  
(Morretes/PR). I. Santos, Leonardo José Cordeiro. II. Título.

CDD: 551.48

---



### PARECER

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Geografia reuniram-se para a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **MONICA KLEINA** intitulada “**SENSITIVIDADE FLUVIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SAGRADO (MORRETES/PR)**” para obtenção do grau de Mestre em Geografia, do Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná Área de Concentração Espaço, Sociedade e Ambiente, Linha de Pesquisa Paisagem e Análise Ambiental.

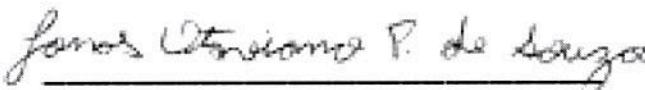
Após haver analisado o referido trabalho e arguido o (a) candidato (a), são de parecer pela APROVAÇÃO da Dissertação.

Curitiba, 15 de abril de 2016.

Nome e Assinatura da Banca Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Leonardo José Cordeiro Santos - orientador

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Fabiano Antonio de Oliveira - PPGGEO/UFPR

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Jonas Souza - UFPB



## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, por me dar força e me guiar durante esta caminhada.

Ao meu orientador, Leonardo José Cordeiro Santos (Léo), pelos ensinamentos, amizade e paciência nestes mais de 5 anos de convivência.

Aos membros da banca de qualificação, professores Jonas Souza e Márcio Zancopé, pelas contribuições no trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por financiar a pesquisa.

Ao professor Eduardo Vedor de Paula (Edu), pela ajuda mesmo antes de iniciar o mestrado e pelos artigos escritos durante este período.

Aos secretários do Programa de Pós-Graduação em Geografia UFPR, Adriana Oliveira e Luiz Zem, pela simpatia e atenção no atendimento aos alunos.

A todos aos colegas e amigos do LABS que contribuíram com a pesquisa, em especial a Amanda Machado de Almeida, Marcel Fumiya, Alexei Nowatzki, Adriano Goulart, Orestes Jarentchuk, Dani Torrisi, Caroline Mangureira e Luciano Luz.

Aos amigos que sempre me apoiaram nesta caminhada, Elaiz Buffon, Gabriela Goudard, Andréia Alves, Carol Vaz, Lígia Novak, Luíz Paulo, Josemar e Juliana Uber, obrigada pelas conversas e amizade.

A minha família, meus pais Aleixo e Dirlei, meus irmãos Mariana e Leandro, minha cunhada Camile Zem e minha madrinha Flora Kleina, pelo apoio constante.

## RESUMO

Estudos que abordam a rede de drenagem proporcionam um maior entendimento da evolução da paisagem, sua estabilidade e seu comportamento frente a possíveis alterações. A sensibilidade fluvial procura identificar os pontos que estão sujeitos a estas mudanças, que superam as resistências do sistema e são geradas por meio das forças de perturbação. As forças de perturbação são aplicações de energia no sistema, como clima e tectônica, além de interferências bióticas e antrópicas. Desta forma, o objetivo do trabalho foi mapear a sensibilidade fluvial nos principais rios que compõem a bacia hidrográfica do rio Sagrado (Morretes/PR), partindo do método denominado de Estilos Fluviais. Para tanto, foi necessário o desenvolvimento de algumas etapas, que consistiam na identificação dos ajustes fluviais, fluxo acumulado, concentração de erosão e conectividade fluvial, além da evolução do uso do solo da bacia. Os dados foram sobrepostos e confrontados, podendo-se apontar os locais de maiores resistências e perturbações nas drenagens. Os resultados evidenciaram que os maiores distúrbios estão localizados nas áreas de planície dos rios Sagrado e Sambaqui, com grandes possibilidades de alterações, como demonstram os ajustes fluviais e a concentração de erosão, e por isso, foram classificados como alta sensibilidade. Ao contrário, nas altas declividades da Serra do Mar, recobertas por vegetação em estágio médio/avançado, situam-se locais de probabilidade de mudanças pouco significativas, sendo denominadas como baixa sensibilidade. Assim conclui-se que a bacia encontra-se em degradação nas planícies, com alterações no uso do solo e grande potencial de crescimento da agropecuária. A elevada quantidade de feições deposicionais e significativas alterações das formas fluviais caracterizam a alta sensibilidade, enquanto que em altas declividades, em vales confinados e parcialmente confinados, a sensibilidade apresenta-se baixa. A conectividade indica que um pequeno distúrbio gerado a montante na bacia poderá provocar alterações significativas em qualquer outro local do sistema fluvial.

Palavras-chave: Resistências, Perturbações, Uso do solo, Estilos fluviais.

## ABSTRACT

Studies about drainage network provide a greater understanding of the landscape evolution, its stability and behavior to possible changes. The river sensitivity aims to identify the points that are subject to these changes, which overcome the system resistance and are generated by the disturbance forces. Disturbance forces are applications of energy in the system, such as climate and tectonics, as well as biotic and anthropic interference. Thus, the research's objective was to map the river sensitivity in the major rivers that compose the Sagrado River basin (Morretes/PR), based on the method named River Styles. However, it was required the development of some stages, consisting in identifying the river adjustments accumulated flow, erosion concentration and river connectivity, besides the land use evolution in the basin. The data were overlaid and compared, being able to point out the places of greatest resistance and disturbances in drainages. The results showed that the major disorders are located in lowland areas of the Sagrado and Sambaqui rivers, with great possibilities of changes, as demonstrate the river adjustments and the erosion concentration, and therefore were classified as high sensitivity. In contrast, in the high slopes of the Serra do Mar, covered with vegetation in medium/advanced stage, are situated places of probability of minor changes, being named as low sensitivity. So it is concluded that the basin is in degradation in lowland, with changes in land use and great potential for agricultural growth. The high amount of depositional features and significant changes of the river forms characterize high sensitivity, whereas in high slopes in valleys confined and partially confined, the sensitivity appears low. Connectivity indicates that a small disturbance generated upstream in the basin may cause significant changes in any other place of the river system.

Keywords: Resistance, Disturbance, Land Use, River Styles.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Sagrado inserida dentro da área de drenagem da baía de Antonina e Paranaguá.....	18
Figura 2 - Geologia da bacia hidrográfica do rio Sagrado .....	19
Figura 3 - Mapa geomorfológico da bacia hidrográfica do rio Sagrado .....	20
Figura 4 - Declividade da bacia hidrográfica do rio Sagrado .....	21
Figura 5 - Solos da bacia hidrográfica do rio Sagrado .....	22
Figura 6 - APP's degradadas e preservadas na bacia hidrográfica do rio Sagrado.....	23
Figura 7 - Fluxograma simplificado da metodologia utilizada .....	35
Figura 8 - Classificação de canais fluviais.....	36
Figura 9 - Tipos de ajustes fluviais .....	39
Figura 10 - Exemplo de utilização do algoritmo D8 para direção de fluxo.....	41
Figura 11 - Exemplo para determinar o fluxo acumulado .....	42
Figura 12 - Exemplo de conectividade de subsistemas em uma bacia hidrográfica.....	43
Figura 13 - Estilos Fluviais na bacia hidrográfica do rio Sagrado.....	49
Figura 14 - Características pontuais dos trechos .....	50
Figura 15 - Divisão dos terços do rio Sagrado .....	51
Figura 16 - Perfil longitudinal do rio Sagrado dividido por terços .....	52
Figura 17 - Presença de blocos no terço superior do rio Sagrado .....	52
Figura 18 - Mudanças fluviais no terço superior do rio Sagrado nos anos analisados .....	54
Figura 19 - Presença de barras de pontal no terço médio do rio Sagrado .....	55
Figura 20 - Mudanças fluviais no terço médio do rio Sagrado nos anos analisados .....	56
Figura 21 - Desaparecimento da bifurcação fluvial de 1980 para 2006 .....	57
Figura 22 - Mudanças fluviais no terço inferior do rio Sagrado nos anos analisados .....	59
Figura 23 - Alteração das formas fluviais, de meandrante em 1954 para retificada em 1980.....	60
Figura 24 - Presença de sedimentos em suspensão no inferior do rio Sagrado .....	62

Figura 25 - Ajustes identificados nos Estilos Fluviais do rio Sagrado nos anos de 1954 e 2012, com destaque para mudanças antrópicas.....	64
Figura 26 - Ajustes identificados nos Estilos Fluviais do rio Sagrado nos anos de 1954 e 2012 .....	65
Figura 27 - Ajustes identificados nos Estilos Fluviais do rio Sagrado nos anos de 1980, 1996 e 2006 .....	66
Figura 28 - Divisão dos terços do rio Sambaqui.....	68
Figura 29 - Perfil longitudinal do rio Sambaqui dividido por terços.....	68
Figura 30 - Mudanças fluviais no terço superior do rio Sambaqui nos anos analisados .....	70
Figura 31 - Fotografias do evento do dia 11 de março de 2011 na região da Serra do Mar .....	71
Figura 32 - Mudanças fluviais no terço médio do rio Sambaqui nos anos analisados .....	73
Figura 33 - Mudanças fluviais no terço inferior do rio Sambaqui nos anos analisados .....	74
Figura 34 - Ajustes identificados nos Estilos Fluviais do rio Sambaqui nos anos de 1954 e 2012, com destaque para as mudanças antrópicas .....	78
Figura 35 - Ajustes identificados nos Estilos Fluviais do rio Sambaqui nos anos de 1954 e 2012 .....	79
Figura 36 - Ajustes identificados nos Estilos Fluviais do rio Sambaqui nos anos de 1980, 1996 e 2006 .....	80
Figura 37 - Mudanças fluviais no rio dos Neves nos anos analisados .....	83
Figura 38 - Ajustes identificados no rio dos Neves nos anos de 1954 e 2012 .	84
Figura 39 - Quantificação dos tipos de ajustes fluviais identificados na bacia do rio Sagrado nos anos de 1954 e 2012 .....	85
Figura 40 - Quantificação dos tipos de ajustes fluviais identificados na bacia do rio Sagrado nos anos de 1980, 1996 e 2006.....	85
Figura 41 - Áreas fluviais com concentração de erosão na bacia hidrográfica do rio Sagrado.....	87
Figura 42 - Etapas para obtenção do fluxo acumulado .....	89
Figura 43 - Conectividade de subsistemas na bacia hidrográfica do rio Sagrado .....	92

Figura 44 - Uso do solo na bacia hidrográfica do rio Sagrado nos anos analisados .....	100
Figura 45 - Recorte do terço médio do rio Sagrado no uso do solo, concentração de erosão, hidrografia e fluxo acumulado .....	96
Figura 46 - Sensitividade Fluvial na bacia do rio Sagrado .....	97
Figura 47 - Recorte do terço superior do rio Sambaqui no uso do solo, concentração de erosão, hidrografia e fluxo acumulado .....	99



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características das fotografias aéreas .....	38
Tabela 2 - Estilos Fluviais na bacia hidrográfica do rio Sagrado .....	49
Tabela 3 - Larguras mínimas e máximas aproximadas no terço superior do rio Sagrado nos anos analisados .....	53
Tabela 4 - Larguras mínimas e máximas aproximadas no terço médio do rio Sagrado nos anos analisados .....	58
Tabela 5 - Larguras mínimas e máximas aproximadas no terço inferior do rio Sagrado nos anos analisados .....	60
Tabela 6 - Comprimento aproximado do terço inferior do rio Sagrado nos anos analisados .....	61
Tabela 7 - Ajustes ocorridos no rio Sagrado nos anos de 1954 e 2012 .....	63
Tabela 8 - Ajustes ocorridos nos terços superior e médio no rio Sagrado nos anos de 1980, 1996 e 2006.....	67
Tabela 9 - Larguras mínimas e máximas aproximadas do terço superior do rio Sambaqui nos anos analisados.....	69
Tabela 10 - Larguras mínimas e máximas aproximadas do terço médio do rio Sambaqui nos anos analisados.....	72
Tabela 11 - Comprimento aproximado do terço inferior do rio Sambaqui nos anos analisados .....	75
Tabela 12 - Larguras mínimas e máximas aproximadas do terço inferior do rio Sambaqui nos anos analisados.....	76
Tabela 13 - Ajustes ocorridos no rio Sambaqui nos anos de 1954 e 2012 .....	77
Tabela 14 - Ajustes ocorridos nos terços superior e médio no rio Sambaqui nos anos de 1980, 1996 e 2006.....	81
Tabela 15 - Larguras mínimas e máximas aproximadas do rio dos Neves nos anos analisados .....	82
Tabela 16 - Ajustes ocorridos no rio dos Neves nos anos de 1954 e 2012.....	82
Tabela 17 - Conectividade segundo os Estilos Fluviais .....	93
Tabela 18 - Uso do solo da bacia do rio Sagrado dividido por classes .....	96

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

**APP** – Área de Preservação Permanente

**CAD** – Contaminantes, Assoreamento, Dragagem e Áreas de Despejo no Estuário de Paranaguá

**LABS** – Laboratório de Biogeografia e Solos

**SEMA/PR** – Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

**TIN** – *Triangulated Irregular Network*

**UFPR** – Universidade Federal do Paraná

Nomenclatura para os Estilos Fluviais

**EFs** – Estilos Fluviais

**R** – Retilíneo

**SPC** – Sinuoso de vale parcialmente confinado

**RCD** – Retificado com deposição

**RSD** – Retificado sem deposição

**IPC** – Canal irregular de vale parcialmente confinado

**INC** – Canal irregular de vale não confinado

**ICD** – Canal irregular com deposição

**ISD** – Canal irregular sem deposição

**MICD** – Meandros irregulares com deposição

**MTCD** – Meandros tortuosos com deposição

## SUMÁRIO

Resumo.....	6
Abstract.....	7
Lista de Figuras.....	8
Lista de Tabelas.....	11
Lista de Abreviaturas.....	12
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1 ÁREA DE ESTUDO .....	17
1.1.1 Caracterização da área de estudo .....	18
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>25</b>
2.1 FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICO-METODOLÓGICAS.....	25
2.2 SENSITIVIDADE .....	25
2.2.1 Resistência.....	27
2.2.2 Forças de perturbação/distúrbios.....	29
2.3 ESTILOS FLUVIAIS.....	30
2.4 AJUSTES DE CANAIS .....	32
2.5 CONECTIVIDADE ENTRE AMBIENTES FLUVIAIS.....	33
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>35</b>
3.1 ESTILOS FLUVIAIS.....	35
3.2 AJUSTES FLUVIAIS.....	37
3.3 FLUXO ACUMULADO .....	40
3.4 CONCENTRAÇÃO DE EROSÃO .....	42
3.5 CONECTIVIDADE .....	43
3.6 RESISTÊNCIAS, FORÇAS DE PERTURBAÇÃO E SENSITIVIDADE FLUVIAL .....	44
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>47</b>
4.1 ESTILOS FLUVIAIS.....	47
4.2 AJUSTES FLUVIAIS.....	51
4.3 CONCENTRAÇÃO DE EROSÃO .....	86
4.4 FLUXO ACUMULADO .....	88
4.5 CONECTIVIDADE FLUVIAL.....	90
4.6 RESISTÊNCIAS, PERTURBAÇÕES E SENSITIVIDADE FLUVIAL ...	94
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>101</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>103</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Na atualidade, a geomorfologia fluvial coloca-se entre os setores mais dinâmicos dos campos científicos da geografia física, retratada em inúmeras publicações no âmbito nacional e internacional. As maiores contribuições em geomorfologia no início do século XXI (2001-2005), englobando revistas brasileiras e estrangeiras são referentes aos estudos fluviais, com 25,6%, seguida de outros, com 21%, costeira e submarina com 18,6% e discussões teóricas, com 14% (SALGADO *et al.*, 2008).

De acordo com Christofolletti (1969), os estudos que envolvem a análise da rede hidrográfica podem auxiliar na compreensão de inúmeras questões geomorfológicas, já que esta é constituída por processos morfogenéticos, que atuam e alteram as formas existentes. Os dados fornecidos por tais estudos podem contribuir para o planejamento da paisagem, tornando possível utilizar melhor o espaço ou reabilitar rios degradados.

Desta forma, é importante entender a fisiografia fluvial, que segundo Chorley e Kennedy (1971), é composta por uma rede complexa de elementos que se relacionam. Dentre esses elementos, destacam-se dois principais, a morfologia dos rios, planícies, encostas, e o efeito cumulativo da interação água/sedimentos. A relação deste último com a paisagem modifica a rede de drenagem, que não conseguindo se ajustar às novas condições impostas, como aumento do volume de água ou de carga sedimentar, por exemplo, gera perturbações (BRUNSDEN, 1996). As perturbações se caracterizam pela alteração do estado natural da paisagem fluvial, devido a concentração de energia no sistema, podendo provocar feições erosivas, deposicionais ou alterações na forma fluvial (sinuosidade).

A resistência refere-se a capacidade do sistema em resistir a uma alteração do estado inicial após a aplicação de uma força de perturbação, podendo estar relacionada a formação geológica, conectividade fluvial, estado de conservação da bacia e outros (BRUNSDEN, 1993).

A sensibilidade fluvial procura identificar os pontos sujeitos a estas mudanças, que superam as resistências do sistema, geradas por meio das forças de perturbação. Deste modo, as mudanças na estabilidade das drenagens podem ser marcadas por descontinuidades morfológicas (variação na forma) e

sedimentológicas, e dependem de dois fatores: dinâmica temporal e espacial (BRUNSDEN e THORNES, 1979).

As descontinuidades sedimentológicas são geradas a partir da acelerada erosão nas vertentes, margens e leito dos rios, constituídas pelas perturbações na paisagem. Deste modo, torna-se necessário identificar pontos associados às alterações na hidrografia, como ajustes fluviais, áreas com concentração de erosões e feições de deposição inseridas na área de estudo.

A bacia hidrográfica do rio Sagrado, localizada no município de Morretes, no estado do Paraná, foi objeto de pesquisa de alunos de graduação, mestrado e doutorado em geografia, pertencentes ao Laboratório de Biogeografia e Solos (LABS) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) por inúmeros anos e com diferentes enfoques, sendo a principal produção a tese de Paula (2010).

Com a finalidade de avaliar o aumento na produção de sedimentos causado pelas interferências antrópicas no uso do solo, o autor supracitado simulou dois cenários para as bacias hidrográficas que drenam para baía de Antonina, o primeiro contemplando as bacias recobertas integralmente por vegetação natural, e o segundo elaborado a partir da interpretação da cobertura e uso do solo em imagens obtidas pelo satélite SPOT-5, referentes ao ano de 2005. Este estudo demonstrou que a bacia do rio Sagrado foi a que apresentou maior grau de antropização, de toda área estudada, com acréscimo anual de 4.777 toneladas de sedimentos, o que corresponde a um aumento de 190,1%, em comparação ao cenário natural (KLEINA *et al.*, 2014).

Ao se analisar a suscetibilidade geopedológica à produção de sedimentos, o autor verificou que esta bacia também se encontra com maior percentual de áreas de suscetibilidade alta e muito alta, com tendência à ampliação das taxas de produção de sedimentos ao longo do tempo.

O rio Sagrado foi, por consequência, objeto de pesquisa desenvolvido por Kleina *et al.*, (2014), que aplicou uma metodologia de classificação de rios, desenvolvida pelos australianos Brierley e Fryirs (2002; 2005), denominada de Estilos Fluviais. Esta tem como propósito identificar feições fluviais de depósito, tipos de vale, declividade e sinuosidade de rios, a fim de nomear trechos de acordo com as informações obtidas.

Portanto, sendo a unidade que mais contribui com a produção de sedimentos de todas as bacias que drenam para a baía de Antonina (PAULA, 2010) e ainda

possui acréscimo de 47% na quantidade de feições fluviais de depósito mapeadas no rio Sagrado de 2006 para 2011 (KLEINA *et al.*, 2014), sua escolha como área de estudo é justificada pelas várias alterações que enfrenta, por ser umas das bacias mais adensadas localizadas na Serra do Mar e pelo alto índice de estradas rurais, que também são responsáveis pelo assoreamento da baía de Antonina.

Assim, a escolha da sensibilidade fluvial como tema de pesquisa trata-se da continuação do método anteriormente trabalhado (Estilos Fluviais), por este apontar as perturbações e resistências nas drenagens, referente às principais mudanças das formas e relação com a transmissão de matéria e energia nos canais fluviais. De acordo com Souza (2014), a sensibilidade e os Estilos Fluviais se inter-relacionam, podendo diagnosticar diversos cenários de mudanças.

A partir das informações adquiridas até o momento com o resultado das pesquisas realizadas, outros questionamentos foram tomando forma, como por exemplo: onde ocorrem as mudanças geomorfológicas (perturbações) no sistema fluvial da bacia do rio Sagrado (situação dos principais rios, mudanças fluviais e ajustes)? Quais os locais de maiores resistências a essas alterações?

Para responder as questões levantadas, tornou-se necessário o cumprimento de etapas até o mapeamento final. A drenagem, como parte integrante do sistema, revela o estado de conservação da bacia como um todo, podendo-se analisar as alterações na largura, forma, posicionamento e tipo de ajuste dos rios, além de identificar os pontos de resistência, que podem contribuir, caso seja realizado futuramente, o planejamento da paisagem.

Os trabalhos mais relevantes que abordam esta temática encontram-se em Brunnsden e Thornes (1979), Brunnsden (2001), Fryirs *et al.*, (2009) e Souza (2014), na qual trazem bases conceituais e de aplicação do método, permitindo realizar diagnósticos para planejamentos ambientais e ecossistemas fluviais.

Partindo do princípio que a bacia está sofrendo alterações, e que é responsável pela produção de grande parte dos sedimentos que chegam à baía de Antonina, o objetivo geral deste trabalho é identificar a sensibilidade fluvial na bacia hidrográfica do rio Sagrado (Morretes/PR), a fim de reconhecer as forças de perturbação no sistema, assim como as áreas de maiores resistências a essas mudanças.



Ainda como objetivos específicos, têm-se:

- Caracterizar os Estilos Fluviais dos principais afluentes para o ano mais atual (2012);
- Identificar as principais drenagens nos anos de 1954, 1980, 1996, 2006 e 2012;
- Visualizar as mudanças e classificá-las de acordo com os ajustes fluviais, assim como as áreas com concentração de erosão e fluxo acumulado;
- Diferenciar os tipos de conectividade fluvial entre os principais afluentes;
- Mapear o uso do solo simplificado da bacia para os anos trabalhados;
- Relacionar os dados levantados com o uso do solo e verificar as áreas de resistências e perturbações;
- Mapear a sensibilidade fluvial.

## 1.1 ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Sagrado (Figura 1), cuja área soma 137,7 km<sup>2</sup>, encontra-se localizada inteiramente no município de Morretes, abrangendo porção da Serra do Mar e Planície Litorânea paranaense.

Seu acesso é dado por meio da BR-277, que conecta o litoral ao oeste do estado do Paraná, assim como pelas estradas rurais presentes na bacia, paralelas aos eixos fluviais, contudo, em áreas de serras, de relevo mais acidentado, é somente possível por meio da abertura de trilhas.

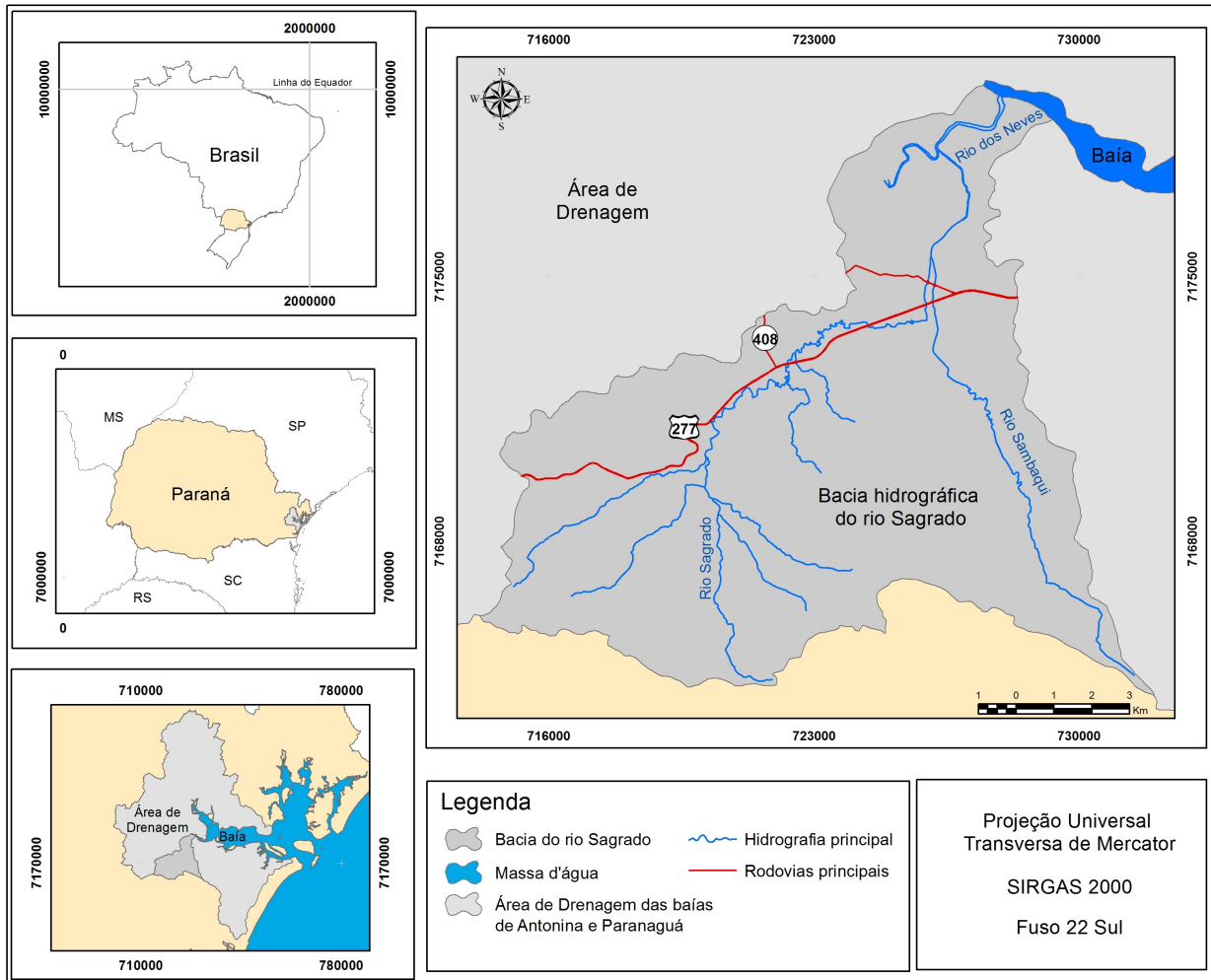


Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Sagrado inserida dentro da área de drenagem da baía de Antonina e Paranaguá  
Fonte: Kleina (2013)

### 1.1.1 Caracterização da área de estudo

A bacia em questão está parcialmente inserida no complexo Serra do Mar, que compreende a faixa entre o Litoral e o Primeiro Planalto paranaense, separados por uma zona de serra que acompanha a grande escarpa de falha do Complexo Cristalino. Esta escarpa, repartida por falhas transversais em blocos elevados e rebaixados formam serras isoladas, as quais se elevam consideravelmente sobre o nível geral do interior, como serras marginais do Complexo Cristalino. A cadeia da serra é denominada "Serra do Mar" (MAACK, 1968).

Em relação aos aspectos geológicos, a Serra do Mar pertencente ao Escudo Paranaense, formado pelas rochas mais antigas do estado, ígneas e metamórficas,

da Plataforma Sul-Americana, sendo recentemente coberta por sedimentos e intrusões de rochas básicas durante o Mesozoico (MINEROPAR, 2001).

A Figura 2 apresenta a distribuição das Unidades Geológicas encontradas na bacia. Destacam-se as unidades do Complexo Gnáissico-Migmatítico, com mais de 50% da área da bacia, como também a grande presença de sedimentos recentes na planície de inundação. Muitos desses sedimentos permanecem na bacia, constituindo planícies, terraços ou ainda feições fluviais de depósito, como ilhas e barras.

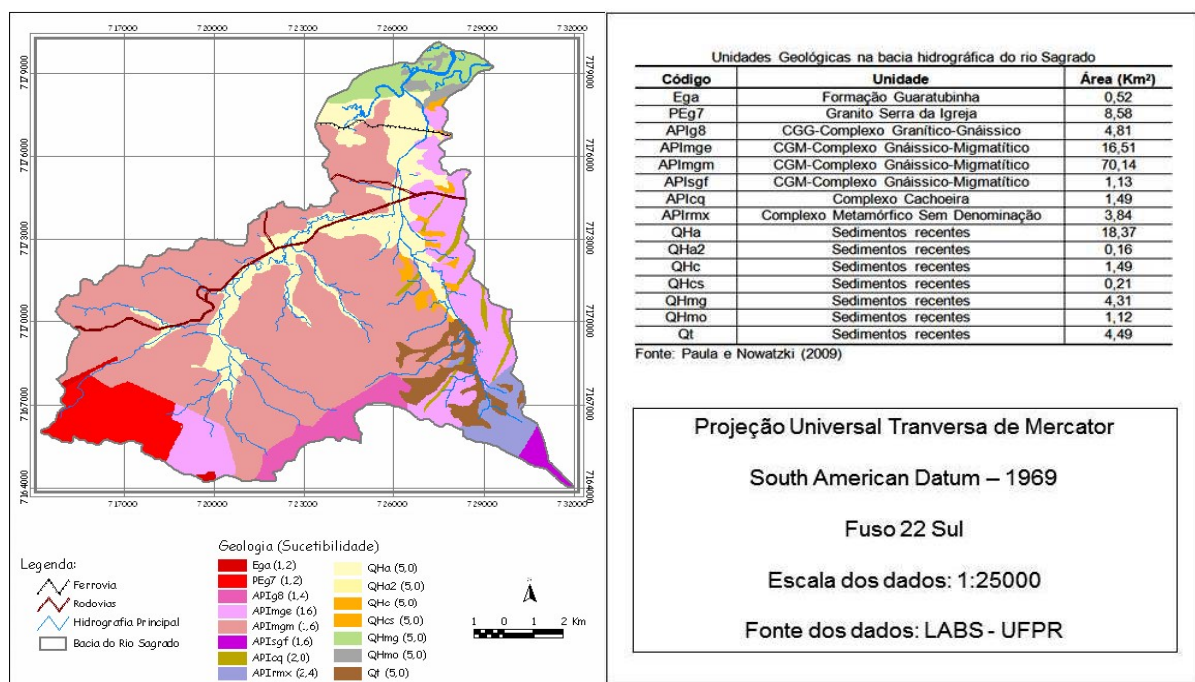


Figura 2 - Geologia da bacia hidrográfica do rio Sagrado  
Fonte: Paula e Nowatzki (2009)

A suscetibilidade à produção de sedimentos indica que as áreas mais frágeis situam-se ao longo dos eixos fluviais, onde se encontram os sedimentos recentes, ou seja, materiais inconsolidados (PAULA e NOWATZKI, 2009). Estes, com eventos extremos de pluviosidade, geram o aumento da vazão, e transportam tais materiais pelas drenagens até serem depositados ao longo dos canais fluviais ou então no fundo da baía ao qual a bacia drena.

Segundo o mapa geomorfológico (Figura 3), a bacia encontra-se na Unidade Morfoestrutural denominada de Cinturão Orogênico do Atlântico e na Unidade Morfoescultural Serra do Mar paranaense.





A maior parte da área é composta por Serras, com predominância de declividades altas a médias, o que provoca os processos de movimentos de massa, comprovada pela presença de cicatrizes. Nas planícies são encontradas as feições de depósito (ilhas e barras), de declividades muito baixas, sofrendo a influência das marés e conseqüentemente formando-se manguezais.

A declividade foi ordenada conforme as classes propostas por Herz e De Biasi (1989), representadas espacialmente na bacia pela Figura 4. Próximas às nascentes e terços superiores das drenagens as declividades apresentam-se acentuadas, com valores acima dos 47% (declividade muito alta), o que indica alta suscetibilidade a erosão, produção de sedimentos e a ocorrência de movimentos de massa. Em seqüência, nos terços médios e inferiores, as declividades tendem a decair, e tornam-se mais suaves, estas áreas pertencem ao compartimento da Serra do Mar paranaense.

No momento em que se inicia a planície de inundação, com a presença de sedimentos recentes (Figura 2 - geologia da bacia), a declividade é reduzida consideravelmente, chegando a ser praticamente nula, descrevendo esses ambientes como deposicionais, pertencentes ao compartimento da Planície Litorânea.

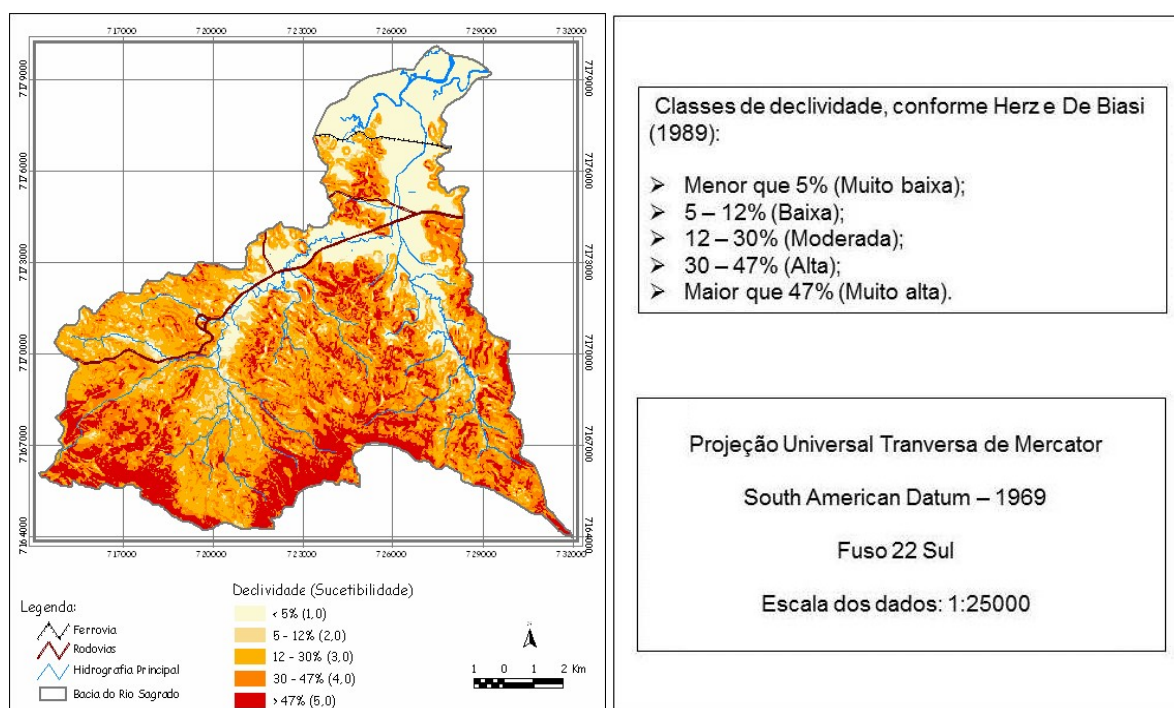


Figura 4 - Declividade da bacia hidrográfica do rio Sagrado  
Fonte: Paula e Nowatzki (2009)

Os solos (Figura 5) podem auxiliá também na compreensão e entendimento dos processos fluviais que atuam em drenagens, em relação a infiltração e velocidade do escoamento, que podem influenciar na suscetibilidade à erosão e produção de sedimentos, assim como alterar as formas fluviais existentes.

A maior porção da bacia corresponde aos Cambissolos, com associações de Argissolos Vermelho-Amarelos (mais de 50 km<sup>2</sup> de área na bacia), como também os Neossolos Litólicos, em torno de 28 km<sup>2</sup>.

Solos mais suscetíveis à produção de sedimentos são encontrados nas áreas de planície, de declividades baixas a muito baixas, como os Gleissolos, que se desenvolvem comumente nas proximidades dos cursos d'água e estão sujeitos a condições de hidromorfia. A exceção é para os Neossolos Litólicos e afloramentos rochosos, com declividades muito altas, que podem ocasionar movimentos de massa.

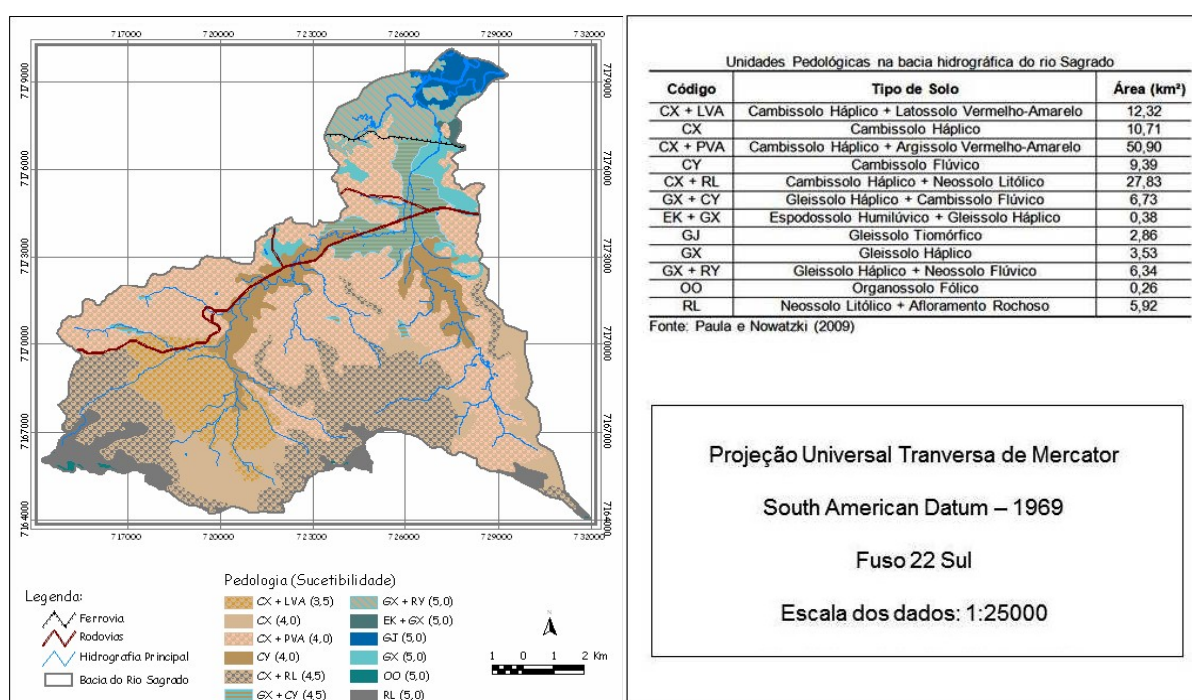


Figura 5 - Solos da bacia hidrográfica do rio Sagrado  
Fonte: Paula e Nowatzki (2009)

Outro elemento importante no mapeamento da sensibilidade é o clima, de modo que a precipitação interfere na vazão e esta na elaboração de novas feições geomorfológicas. De acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007), as condições meteorológicas e atmosféricas da Serra do Mar são controladas por massas de ar tropicais e polares, que agindo conjuntamente, caracterizam o clima como



subtropical úmido, sendo uma transição entre o Cfa (Subtropical Úmido com verões quentes) na Planície e Cfb (Subtropical Úmido com verões amenos) na Serra, proposto pela classificação de Köppen.

Segundo Paula (2010), na região litorânea é registrada os maiores valores de precipitação no estado do Paraná, com cerca de 2.000 mm na área da planície, e acima de 3.500 mm nas vertentes lestes da Serra do Mar, outro fator que interfere na geomorfologia, e que geram mudanças das paisagens. Marent (2011) mensurou, por meio do isótopo cosmogênico  $^{10}\text{Be}$ , os processos desnudacionais em dez vertentes de dez bacias hidrográficas que drenam para a baía de Antonina, cinco no lado Leste (vertente atlântica) e cinco no Oeste (vertente continental). Os resultados evidenciaram que no lado oceânico da Serra do Mar a desnudação é 2,4 vezes mais agressiva do que no lado continental.

Foram caracterizadas ainda as Áreas de Preservação Permanente (APP's) da bacia, por Nowatzki (2010), que identificou os processos crescentes de degradação, na qual há a desproteção do solo no entorno das margens dos rios. De acordo com a Figura 6, as áreas em vermelho apontam a degradação, contrapostas aquelas em verde, que estão preservadas (para o ano de 2005).

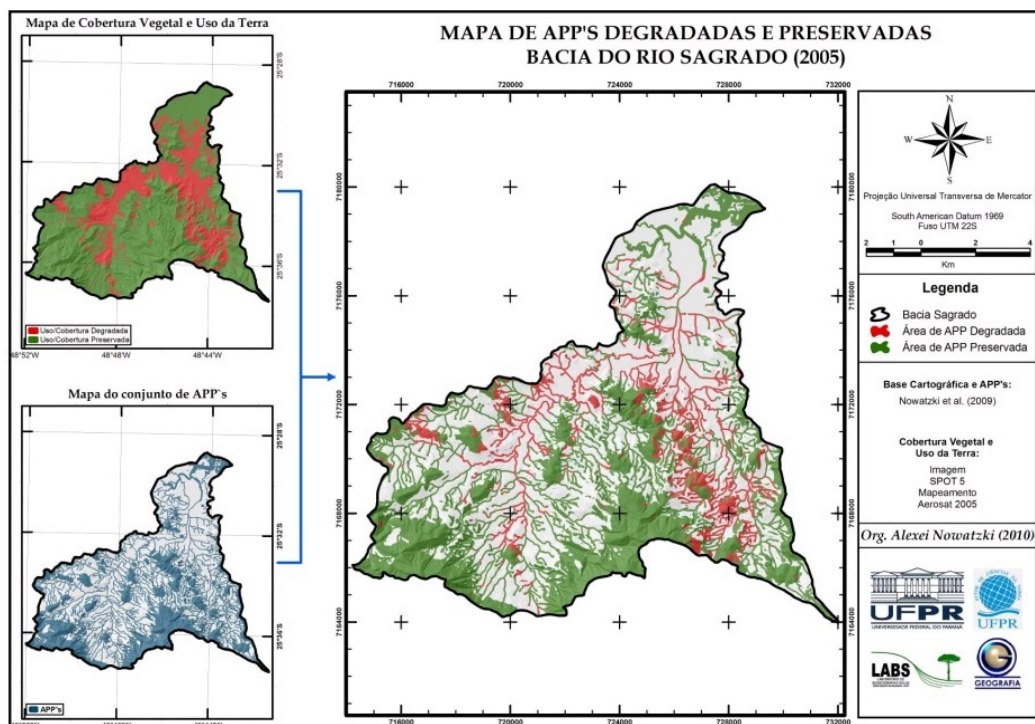


Figura 6 - APP's degradadas e preservadas na bacia hidrográfica do rio Sagrado  
Fonte: Nowatzki (2010)

As APP's dos rios Sagrado e Sambaqui (principal afluente da bacia) são aquelas situadas nas piores condições de conservação, ou seja, os dois maiores rios estão com suas matas ciliares degradadas, fato que revela seu mau uso e condições do local. A má conservação destas matas são as responsáveis pela grande quantidade de materiais adjacentes às drenagens (planície e depósitos), como apontam as Figuras 2 e 3, o que demonstra que estes rios possuem grande capacidade de transporte de sedimentos.

Em ambientes que possuem alta suscetibilidade à produção de sedimentos, assim como na bacia em estudo, os elementos físicos descritos têm papel importantíssimo na regulação dos processos erosivos, interferindo nas características geomorfológicas e hidrológicas da região.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICO-METODOLÓGICAS

Compreendem os temas de maior relevância na pesquisa, tendo como base os princípios da geomorfologia, abordagem que é fundamental para entender as formas geradas pelos processos fluviais ao longo dos tempos. Englobam-se ainda os meios de se analisar as drenagens na perspectiva da sensibilidade, examinando as resistências e perturbações na paisagem, as formas de ajustes proporcionados pelos canais fluviais, assim como a transmissão de matéria e energia (conectividade) fundamentais para compreender o método em questão.

### 2.2 SENSITIVIDADE

A sensibilidade é um tema ainda pouco discutido no âmbito nacional, com maiores números de publicações na língua inglesa, contudo esta em ascensão no Brasil, principalmente com os trabalhos de Souza (2014) e Souza e Corrêa (2015). Trata de um método que aponta áreas onde há maior probabilidade de ocorrer mudanças aplicadas no controle do sistema, assim como ao contrário, de maior resistência a essas mudanças.

Para compreender a sensibilidade, é importante entender a proposição de estabilidade da paisagem, sendo uma função de distribuição temporal e espacial de forças de resistência e perturbação (BRUNSDEN, 1996). A partir do instante que o sistema passa a ter respostas perceptíveis à mudança, ele se desestabilizará, e provocará modificações no ambiente fluvial (BRUNSDEN e THORNES, 1979).

Para Thomas (2001), a sensibilidade é definida pelas características do sistema, que descrevem as alterações em drenagens e o quanto a paisagem consegue absorvê-las. Pode ser temporal, relacionada à frequência e magnitude dos eventos ao longo do tempo (considerada a partir de várias escalas, como de um dia, um mês, um ano, décadas, séculos, milênios, ou em escalas geológicas de tempo), ou espacial, relacionadas à localização das transformações na paisagem, como por exemplo, as fontes de sedimentos.

De acordo com Phillips (2009), a sensibilidade possibilita uma análise multivariada das novas formas presentes em ambientes fluviais, como também as

classifica e apresenta respostas a estas, oferecendo uma série de ferramentas metodológicas para sua análise. Utiliza de informações como: resistência e força; frequência, magnitude e duração das aplicações das forças de perturbação; estabilidade/resiliência das paisagens; e controles temporais e espaciais das características do sistema. Deste modo, é possível identificar os pontos prioritários (mais sensíveis) à mudança, os processos de retroalimentação existentes fundamentais para construção de cenários futuros a cerca da capacidade de recuperação de cada ambiente (SOUZA e CORRÊA, 2015).

Para se aplicar o conceito de sensibilidade, é importante conhecer a estabilidade da bacia, dada pela distribuição das forças de resistência e perturbação em um determinado espaço e tempo (BRUNSDEN, 1996). Ao analisar as forças de resistência, encontra-se o limiar de estabilidade, que pode variar no tempo e no espaço, que ao ser superado com os distúrbios, desencadearão mudanças no sistema (ZEHE e SIVAPALAN, 2009; 2009; BRUNSDEN, 1993).

Para o mapeamento da sensibilidade, seguindo a proposta de Brunsden (2001), é necessário: definir e conhecer os elementos e características que compõem o sistema, como geologia, geomorfologia, incluindo feições de deposição, buscando abranger áreas homogêneas, como por exemplo, vários pontos com concentração de erosão; mapear as resistências para as mudanças; tais dados fornecem um conjunto coerente de ideias para a interpretação da paisagem (KONDOLF e LARSON, 1995).

Os tipos de respostas dos ambientes fluviais às perturbações demonstram a dinamicidade e evolução do sistema, que estão em constante transformação (BRIERLEY e FRYIRS, 2005). Estes podem se apresentar quando há: *ausência de resposta*: o ambiente absorve os impactos produzidos, não apresentando nenhuma alteração no seu comportamento padrão, considerando, portanto, resistente e relativamente estável; *efeitos breves*: o sistema possui a capacidade de voltar rapidamente à sua condição natural após um evento de perturbação; *efeitos instantâneos*: transformações imediatas no canal fluvial, que podem ocorrer durante eventos extremos ou durante eventos moderados.

A sensibilidade fluvial pode ser classificada como: *alta sensibilidade*, na qual os elementos favorecem para maiores probabilidades de mudanças, por exemplo, quando há grandes volumes de precipitação, concentração do fluxo d'água, que geram aumento da incisão vertical ou expansão do canal, mudança de Estilo Fluvial,

encostas com altas declividades, entre outros (SOUZA e CORRÊA, 2015); *moderada sensibilidade*, quando, por exemplo, há aumento da sedimentação e do nível de base; e *baixa sensibilidade*, onde há baixo volume de precipitação, predominância de erosão laminar ou então as drenagens não apresentarem ajustamentos.

Em drenagens, a sensibilidade da paisagem está relacionada ao conceito de ligação, definido como a capacidade de transmissão entre os componentes do sistema, ou seja, entre a água e os sedimentos erodidos e transportados pelos afluentes de uma bacia (BRUNSDEN e THORNES, 1979; BRUNSDEN, 1993; BRUNSDEN, 2001; HARVEY, 2002). Este conceito de ligação é trabalhado como parte da resistência (BRUNSDEN, 2001), descrita a seguir.

### 2.2.1 Resistência

A resistência é a capacidade do sistema em resistir a uma alteração do estado inicial após a aplicação de uma força de perturbação (BRUNSDEN e THORNES, 1979; MATTOS e PEREZ FILHO, 2004). As forças de perturbação significam aplicações de energias no sistema, como clima e tectônica, em outros casos, por exemplo, interferências bióticas e antrópicas podem atuar como forças de perturbação, modificando as fisionomias originais da paisagem (BRUNSDEN, 2001).

A partir das forças de resistência, encontra-se o limiar de mudança do sistema (limiar de estabilidade), ou seja, a estabilidade é a relação entre resistência e perturbação nas paisagens, levando-se em consideração as dimensões temporais e espaciais (SOUZA e CORRÊA, 2015).

Estas resistências podem ser do tipo: estrutural, de força, morfológica, de filtro e do estado do sistema.

A resistência estrutural parte do princípio da identificação dos elementos que interrompem/dificultam a transmissão de energia pelo sistema; como barragens artificiais, depósitos de sedimentos e troncos de árvores (BARROS *et al.*, 2010). Esta se divide em dois fatores, ambos necessários para o estudo da transmissão entre matéria (sedimentos) e energia (água) em uma bacia; a sensibilidade de localização, referente à localização absoluta e dos elementos que compõem o sistema, e de ligação, sendo a responsável pela propagação das mudanças pelo sistema (BRUNSDEN, 1993; 2001).

A resistência estrutural pode ser classificada como *ligada (coupled)*: em que há livre deslocamento de água e sedimentos entre os afluentes de uma bacia; *desligada (decoupled)*: quando a transmissão foi interrompida temporariamente por barragens, como de sedimentos se forem naturais, ou represas quando artificiais, mas que podem ser superadas; e *não ligada (not coupled)*: quando não há nenhuma ligação entre as partes do sistema (BRUNSDEN, 2001; HARVEY, 2002; BRUNSDEN, 1993).

A resistência de força refere-se à barreira que constitui as mudanças das propriedades do sistema, sob dois aspectos, o primeiro associado às características originais, relativo à formação litológica (tipo de rocha), história da tectônica do local, e suas linhas de fraqueza geológica, como por exemplo, as falhas (THOMAS, 2001); e o outro se refere às propriedades químicas e físicas das rochas, associadas à resistência e nível de erosão.

A resistência morfológica se caracteriza pela variação da distribuição da energia potencial no sistema. Contribui com a sensibilidade da paisagem em relação à concentração e dispersão das forças de estresses, tais como o comportamento relacionado às formas de encosta, devido à concentração (*hollow*) de água, como também na dispersão (*nose*) de água (BRUNSDEN, 2001; BRUNSDEN, 1993). A acumulação relativa de fluxo contribui para compreender as áreas que possuem maior quantidade de água passando pelos canais fluviais, ou seja, são mais afetados pelas mudanças provocadas pelas forças de perturbação.

A resistência de filtro se trata do mecanismo de controle e remoção de energia do sistema, que compreende o uso e absorção da energia imposta, como também, os ajustes para minimizar a taxa deste uso (difusão, armazenamento). O armazenamento de energia pode controlar o desenvolvimento do sistema por longos períodos de tempo (BRUNSDEN, 2001; BRUNSDEN, 1993). Esta resistência pode ser dada pela análise do balanço hídrico, como também pelos impedimentos provocados por barragens, de modo que o uso influenciará na evapotranspiração, e a estocagem de energia na água infiltrada no solo e localização dos açudes (SOUZA, 2014).

De acordo com Brunsden (2001), a resistência do estado do sistema representa os elementos herdados pelo sistema (histórico), como também o seu estado atual. Esta resistência pode explicar diferenças espaciais de sensibilidade entre dois locais com características similares.



Para o autor, a resistência do estado do sistema considera a cobertura superficial, vegetação e ocupação/uso antrópico (KNOX, 2001), como também os elementos naturais e o histórico de eventos formadores que possam deixar “marcas” na paisagem. Outro aspecto a ser analisado é a estabilidade/instabilidade atual, ou seja, se está apresentando algum tipo de instabilidade ou se está em processo de reorganização interna. Assim, para avaliar essa resistência, é necessário utilizar os mapas de uso, geomorfológico e geológico, como também atualizar os dados em trabalhos de campo, analisando as características do sistema.

Além do estudo da resistência, é preciso também analisar os processos temporais que envolvem a sensibilidade, tais como: as mudanças espaciais que compõem o sistema; a probabilidade e sequência de eventos extremos; as características das forças de perturbação; as alterações nas barreiras de resistência através dos tempos; os processos que modificam os limites espaciais do sistema; e as poucas variações de sensibilidade relacionadas às características herdadas pelo sistema (BRUNSDEN, 2011).

### 2.2.2 Forças de perturbação/distúrbios

Compreendem as respostas geradas por mudanças nos controles do sistema, caracterizadas por alterações das formas fluviais, relacionadas à acumulação de água com a declividade e velocidade do fluxo, que poderão gerar incisões nos canais durante eventos extremos, e que podem ser preenchidas por eventos de baixa magnitude. Incluem a aplicação de forças sobre a tectônica, clima, fatores bióticos, marinhos e interferências humanas (BRUNSDEN, 2001), que transformam a paisagem ao longo dos tempos.

As ações que causam alterações mais rápidas e significativas no sistema são as intervenções antrópicas. Com a retirada da vegetação, o solo fica exposto aos processos erosivos, os sedimentos são transportados e depositados nas drenagens, alterando a dinâmica e as formas naturais dos canais fluviais.

As respostas às mudanças são visíveis na paisagem, na forma de feições fluviais de depósito, como ilhas e barras, assim como movimentos de massa, provocados, portanto, pelas forças de perturbação, que podem ser mudanças ou probabilidades de alterações no uso do solo, modificação nas larguras e nas formas dos canais fluviais, entre outros.

## 2.3 ESTILOS FLUVIAIS

De acordo com Souza (2014), é possível analisar diversos cenários de mudanças, em relação à evolução fluvial através dos tempos, por meio da sensibilidade da paisagem e dos Estilos Fluviais. Os Estilos Fluviais (EFs) representam uma grande contribuição para o entendimento da evolução e sensibilidade, com a análise do comportamento dos canais fluviais (SOUZA e CORRÊA, 2015). A partir da compreensão das relações entre os elementos do sistema, podem-se identificar os processos de retroalimentação existentes em uma bacia hidrográfica, fundamentais para a construção adequada de cenários futuros para a modelagem e preservação.

Para auxiliar na análise e evolução dos sistemas fluviais foi desenvolvido o método dos EFs, elaborado por geomorfólogos australianos (BRIERLEY e FRYIRS, 2002; 2005), junto da Agência Australiana de Conservação da Água (ACWC). Foi inicialmente aplicado em bacias costeiras da Austrália, permitindo a identificação de vinte e um Estilos Fluviais diferentes.

De acordo com os autores, os EFs (River Styles®) representam um sistema de classificação de segmentos dos rios, a partir de um conjunto comum de características geomorfológicas e hidrodinâmicas, que servem de base para caracterizar sua forma em planta e em geometria. Deste modo, um só rio pode apresentar diferentes Estilos Fluviais, assim como em Lima (2010), onde cada trecho pode interagir de maneira particular com a paisagem em seu entorno.

Trata-se de um sistema de classificação que permite entender as relações entre processos e formas ao longo dos rios, reconhecendo que estes fazem parte de um sistema físico integrado com uma história evolutiva (LIMA, 2010).

Destaca-se que as mudanças na morfologia, largura e declividade do vale influenciam diretamente na forma e comportamento dos rios, limitando a capacidade de ajuste lateral do canal, condicionando a sua hidráulica, de maneira a potencializar a sua energia, ou a permitir sua dissipação através de meandros (BRIERLEY e FRYIRS, 2005).

De acordo com Lima (2010), a classificação dos rios é baseada na diversidade natural das formas e dos processos, permitindo avaliar as interações entre ambientes distintos. Segundo o autor, os esquemas de classificação têm sido

utilizados para compreender as particularidades de cada rio, como por exemplo, identificar canais instáveis, canais propensos à migração lateral ou canais sensíveis às mudanças de uso do solo.

Este método possibilita o mapeamento de detalhe e a avaliação dos parâmetros estruturadores da paisagem *in situ*, à medida que se definem como elementos organizadores das unidades geomórficas em diversos níveis hierárquicos; do vale ao canal fluvial (CORRÊA *et al.*, 2009).

Os dados gerados pelos EFs permitem a tomada de decisões sobre a reabilitação de rios; aos aspectos referentes ao planejamento ambiental, como gerenciar as respostas do sistema; aos recursos hídricos, como manter a geodiversidade das paisagens fluviais e ecossistemas aquáticos. Fornecem informações teórico-metodológicas que visam à compreensão do comportamento, evolução e condição ambiental (degradado ou preservado), tendo como base o sistema fluvial (BRIERLEY e FRYIRS, 2002).

Algumas aplicações deste método vêm sendo executadas por universidades e instituições governamentais em bacias do sudeste da Austrália, Canadá, China, Estados Unidos, Inglaterra e Japão, com enfoque na ecologia de rios, geomorfologia fluvial e gestão de bacias (BRIERLEY e FRYIRS, 2000).

No Brasil destacam-se os trabalhos de Lima (2010); Corrêa, *et al.*, (2009); Souza e Corrêa (2012) e Souza *et al.*, (2014), na qual aplicaram a proposta de Estilos Fluviais, identificando e nomeando trechos de acordo com suas principais características, sendo o primeiro desenvolvido no município de Macaé, estado do Rio de Janeiro e os outros no semiárido pernambucano.

Na bacia do rio Macaé, Lima (2010) levantou diversas informações para mapear os EFs, que consistiam nos elementos físicos, como cobertura da terra, pedologia, geologia, clima e geomorfologia, além das características dos vales, seção transversal, forma em planta dos canais e granulometria dos sedimentos de fundo. Trabalhou ainda com a dinâmica morfológica de barras centrais e laterais, analisando sua evolução em três anos distintos, proporcionando entender o comportamento deste rio. A partir dos dados adquiridos, identificou sete Estilos, localizados em áreas de produção, transferência e acumulação de sedimentos.

Um dos exemplos aplicados no semiárido pernambucano foi na bacia do riacho do Saco, por Souza *et al.*, (2014), definindo oito EFs, dentre estes predominam os canais de cabeceira, sendo grande parte dos rios de primeira ordem,

os canais em garganta, na porção média/montante da bacia, além da presença de muitos canais fluviais descontínuos arenosos, distribuídos por toda a área de estudo.

## 2.4 AJUSTES DE CANAIS

Os EFs estão relacionados com os ajustes, pois tratam da investigação e diferenciação das características presentes nas drenagens, dentre elas a sinuosidade dos canais e feições fluviais, dados que futuramente podem contribuir para o planejamento e recuperação das áreas degradadas.

As condições atuais de uma bacia e margens fluviais são influenciadas por ajustes da paisagem, incluindo a história de eventos passados (TROFIMOV e PHILLIPS, 1992). Partindo deste princípio, geomorfólogos apresentam a conectividade e a história evolutiva dos ajustes de rios, a fim de fornecer propostas para serem aplicadas em programas de gestão (KONDOLF e LARSON, 1995).

Os ajustes auxiliam na identificação das mudanças nas formas criadas em drenagens ao longo dos tempos, que acarretam na passagem para um novo tipo de rio. Essas mudanças estão ligadas aos processos que ocorrem na calha fluvial, e estão relacionadas à capacidade de adaptação destes rios (BRIERLEY e FRYIRS, 2005).

Os rios com capacidade de modificar seu leito e margens, nas dimensões lateral e vertical estão propensos a adaptações significativas, quando submetidos à perturbação, e são considerados os mais sensíveis às alterações (BRUNSDEN e THORNES, 1979; DOWNS e GREGORY, 1993). As mudanças climáticas e antropogênicas são aquelas que causam maiores agressões, afetam o regime hidrológico, alterando a morfologia e dinâmica do canal fluvial (GRAF, 1978).

Podem se apresentar de três formas, o ajuste vertical, quando há modificação no leito do canal, como o soerguimento ou aumento da incisão na calha do rio; o lateral, quando há modificação nos limites laterais, como aumento ou redução das margens fluviais e o ajuste de estilo, quando há a possibilidade iminente de modificação, através dos tempos, do estilo fluvial anteriormente mapeado (SOUZA, 2014).

As explicações para os ajustes da drenagem podem ser encontradas nas mudanças do uso do solo em uma escala de tempo, podendo determinar quais sofreram maiores impactos, como por exemplo, rios confinados possuem menores

ajustes, comparados com rios que possuem planície de inundação (FRYIRS *et al.*, 2009).

Ainda segundo os autores supracitados, para explicar os padrões de ajustes gerados pelos impactos (erosão, assoreamento), a investigação deve ser realizada na escala da bacia. A evolução da paisagem pode ser usada para prever prováveis ajustes futuros, e assim considerar o tratamento a determinadas respostas obtidas, fornecendo uma visão para identificar problemas que poderão afetar o funcionamento do sistema, ou então planejar sua reabilitação.

As diferenças nos padrões dos rios, na sua conectividade e adaptação em resposta às perturbações humanas são os elementos mais importantes no desenvolvimento de base local para a gestão das águas (BRIERLEY *et al.*, 2006).

## 2.5 CONECTIVIDADE ENTRE AMBIENTES FLUVIAIS

Corresponde à possibilidade de interação e circulação de água e sedimentos entre os compartimentos da bacia, ou seja, a transferência entre estes dois elementos que compõem o sistema como um todo (CHORLEY e KENNEDY, 1971).

Este conceito é baseado na abordagem de Sistema Hidrológico, definido por Piégay e Shumm (2003). Em uma bacia hidrográfica, a conectividade dos seus compartimentos varia de acordo com sua origem e com a capacidade de transporte dos sedimentos, podendo ser classificado pela rota sua rota, entre a origem e a saída do sistema, em diferentes seções do canal fluvial. Trata-se de um processo físico de deslocamento de partículas em uma bacia, na qual possui potencial para se moverem por todo um sistema fluvial, sem interrupções, ou seja, bem conectado (HOOKE, 2003).

Para este autor, a conectividade pode apresentar níveis distintos:

*Sistemas conectados:* sedimentos se movem facilmente e continuamente no sistema, transportado em eventos normais de cheias. Podem ficar retidos durante certo período, mas são rapidamente removidos;

*Sistemas potencialmente conectados:* possuem condições hidrológicas de remover materiais de um trecho a outro, porém, não existe volume significativo de sedimentos a serem transportados. Normalmente correspondem a vales com poucos processos erosivos e de leitos rochosos.

*Sistemas parcialmente (ou periodicamente) conectados:* há pequeno transporte de sedimentos grosseiros, exceto em eventos extremos. Os canais fluviais tendem a mostrar conectividade parcial, desde que as frações de carga de fundo sejam transportadas por eventos extremos. Diferencia-se do anterior devido aos sedimentos grosseiros serem transportados ocasionalmente.

*Sistemas desconectados:* barreiras impedem a circulação do fluxo, tais como barragens para hidrelétricas ou feições geomorfológicas impedem a transferência de materiais.

A conectividade implica na avaliação da sua sensibilidade, de modo que a eficiência no aporte e distribuição de sedimentos em ambientes fluviais conectados permite que mudanças geomorfológicas desencadeadas em um local da bacia induzam respostas e ajustes em outros setores (FRYIRS *et al.*, 2006). Portanto, a identificação de diferentes tipos de conectividades contribui para o reconhecimento de novos ajustes em diferentes partes do canal fluvial, frente e intensificação de distúrbios, ou seja, de acordo com o grau de conectividade, a propagação dos efeitos dos impactos pode ser maior ou menor, gerando ajustes à jusante, em diferentes intervalos de tempo (SOUZA, 2013).

Desse modo observa-se, entre os elementos da paisagem, meios de conectividade e/ou desconectividade (BRIERLEY *et al.*, 2006), que controlam a evolução dos ambientes fluviais (canais e planícies de inundação), as dinâmicas de formação e destruição de paisagens e as potencialidades de recuperação (BLANTON e MARCUS, 2009; HOOKE, 2003; JAIN e TANDON, 2010).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Com a finalidade de conhecer e compreender o funcionamento da bacia hidrográfica do rio Sagrado aplicou-se o método descrito como Sensitividade (BRUNSDEN e THORNES, 1979), que tem por objetivo definir as forças aplicadas no sistema e a probabilidade de uma mudança.

Desta forma, foi necessário o desenvolvimento de duas etapas para compor o mapa da sensibilidade fluvial na bacia, representadas pela Figura 7.



Figura 7 - Fluxograma simplificado da metodologia utilizada

#### 3.1 ESTILOS FLUVIAIS

A fim de definir os EFs nos principais afluentes da bacia do rio Sagrado, aplicou-se o método proposto por Brierley e Fryirs (2002; 2005), descrito em Kleina *et al.*, (2014).

Para o presente trabalho, consistiu na identificação das feições fluviais de depósito (ilhas e barras) em rios acima de dez metros de largura. Além do rio Sagrado, outros dois afluentes superam os dez metros, os rios Sambaqui e dos Neves. Os depósitos foram identificados por meio da interpretação da imagem de satélite *RapidEye*, de 2012 (resolução espacial de cinco metros no modo pancromático e de dez metros no modo multiespectral, pertencente ao LABS), e ainda confirmados pelas imagens de 2014, do programa *Google Earth Pro*. O

reconhecimento das feições permitiu visualizar a localização dos sedimentos, possibilitando o mapeamento dos limites de cada Estilo Fluvial.

Vale ressaltar que são encontrados depósitos nos menores afluentes, contudo a maioria possui dimensões inferiores a cinco metros quadrados, impossíveis de serem vistas na imagem *RapidEye* (tamanho do pixel), como também por apresentarem mata ciliar conservada, que recobre o curso d'água e impossibilita sua visualização.

Além das feições fluviais, outros parâmetros-chave foram utilizados para identificar as características dos principais afluentes, como os tipos de vales, segundo proposições de Lima (2010), declividade e dados altimétricos (escala 1:25.000), conforme Paula e Nowatzki (2009) e sinuosidade, por Kellerhals *et al.*, (1976). Vale ressaltar que esta classificação da sinuosidade foi realizada visualmente conforme a (Figura 8).

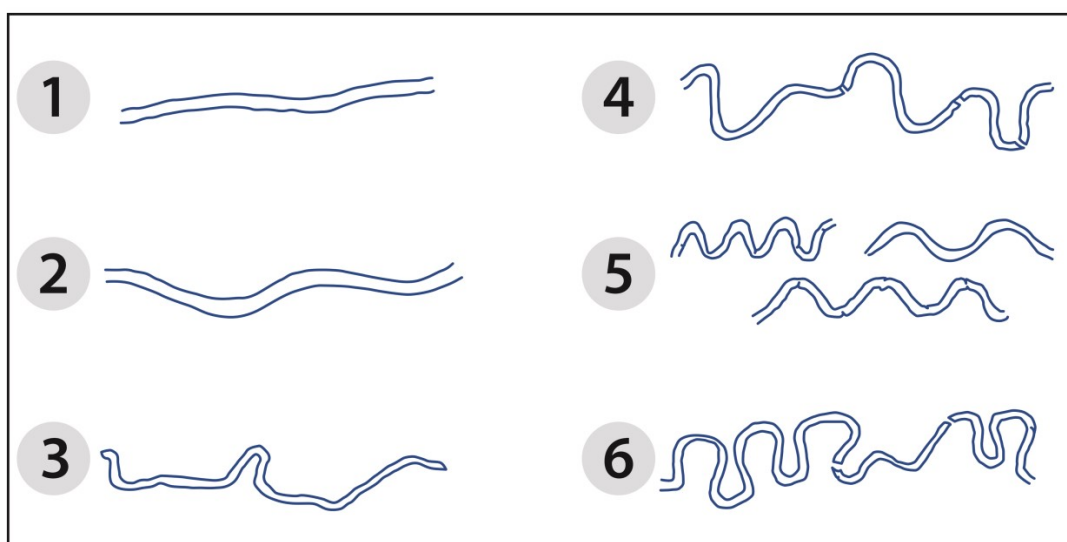


Figura 8 - Classificação de canais fluviais: (1) reto; (2) sinuoso; (3) irregular; (4) meandros irregulares; (5) meandros regulares; (6) meandros tortuosos  
Fonte: Kellerhals *et al.*, (1976)

Os tipos de vales encontrados na bacia do rio Sagrado foram denominados como:

- Confinado: planícies inexistentes, que ocorrem em ambientes de escarpas. Possui leito rochoso e ausência de feições fluviais;
- Parcialmente Confinado: ocorrem em ambientes de transição (entre morros e colinas). Grande ocorrência de ilhas e barras e alta sinuosidade;



- Não Confinado: presente nas baixadas, em planícies aluviais e marinhas. Pode ser de sinuosidade elevada ou baixa e apresentar feições fluviais.

A definição e mapeamento dos EFs foi realizada por meio dos levantamentos dos dados, onde os trechos dos rios foram classificados conforme os parâmetros-chave citados acima. O *software* utilizado para representação cartográfica foi o ArcGis 9.3.1, com sistema projetivo Universal Transversa de Mercator - UTM, SIRGAS 2000, Fuso 22 Sul.

### 3.2 AJUSTES FLUVIAIS

Para identificar as forças de perturbação, utilizou-se somente das alterações presentes nos terços superiores, médios e inferiores dos rios Sagrado, Sambaqui e dos Neves, por serem as principais drenagens que compõem a bacia, em relação a largura e extensão. Optou-se em trabalhar nas divisões clássicas das drenagens (terços) e não por meio dos segmentos dos EFs, devido à grande diversidade encontrada, o que geraria muitos produtos cartográficos.

O limite entre os terços foi estabelecido por meio das curvas de nível (escala 1:25:000) e pelo perfil longitudinal dos rios Sagrado e Sambaqui. Para elaborar os perfis foi necessário gerar uma TIN (*Triangulated Irregular Network*), com as ferramentas do *ArcToolbox* > *3D Analyst Tools* > *Data Management* > *TIN* > *Create TIN*, tendo como base as curvas de nível e pontos cotados. Foi interpolado o raster anteriormente criado com o *shapefile* do rio desejado, por meio das ferramentas do *ArcToolbox* > *3D Analyst Tools* > *Functional Surface* > *Interpolate shape*. Para finalizar, o gráfico do perfil foi gerado com o auxílio do *Creath Profile Graph*, da extensão *3D Analyst*, ambas pertencentes ao ArcGis 9.3.1.

A escolha dos anos trabalhados (1954, 1980, 1996, 2006 e 2012) deu-se pela disponibilidade de fotografias aéreas e imagens de satélites do litoral do estado do Paraná, adquiridas pelo Laboratório de Biogeografia e Solos (LABS) e disponibilizadas pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA) e pela empresa privada Engefoto. As informações pertencentes às fotografias aéreas utilizadas no trabalho estão contidas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características das fotografias aéreas

Vôo existente	Característica das fotografias aéreas		Órgão Responsável
	Ano	Escala	
1954	1: 25.000	Pancromática	SEMA
1980	1:25.000	Pancromática	SEMA
1996	1:30.000	Pancromática	Engefoto

Fonte: Assis (2011)

As imagens de satélite utilizadas foram uma SPOT-5 (2006), e uma *RapidEye* (2012), ambas pancromáticas, com resolução espacial de cinco metros no modo multiespectral e dez metros no modo pancromático. As vetorizações das hidrografias foram realizadas em forma de polígonos, fixando a escala em 1:2.000, no *software* ArcGis 9.3.1, sistema projetivo Universal Transversa de Mercator – UTM, SIRGAS 2000, Fuso 22 Sul. As matas ciliares não interferiram no mapeamento, uma vez que na maioria dos trechos mostrou-se degradada.

As análises dos produtos foram realizadas por meio dos mapeamentos produzidos, averiguando os locais de maiores alterações dos canais fluviais, como as mudanças nas larguras, medindo as mínimas e máximas em cada terço, e comparando entre estas. Este procedimento foi feito visualmente, escolhendo três pontos de cada terço, analisando qual era o que apresentava as maiores e menores larguras. As extensões foram calculadas por meio da ferramenta *Measure*, medindo da margem esquerda até a margem direita, em linha reta, dos pontos mais largos e mais estreitos das drenagens, por meio do mesmo *software* citado acima.

Ressalta-se que não se levou em consideração os dados de vazão, pois abrangem uma pequena parcela do período temporal estudado (dados a partir do ano de 2006). Deste modo, não é possível saber o nível das vazões dos rios nos dias/meses em que as fotografias aéreas e imagens de satélites foram tiradas.

Nos terços inferiores dos rios Sagrado e Sambaqui, que passaram pelo processo de retificação, mediu-se ainda o comprimento longitudinal nos vários anos, a fim de avaliar o quanto perderam em suas formas sinuosas.

Com o propósito de classificar essas mudanças, aplicou-se o exemplo apresentado pela Figura 9, por Friys *et al.*, (2009), que permite a identificação das mudanças nas formas fluviais por meio de uma análise temporal. Este modelo de interpretação é denominado ajustes fluviais, apresentam as modificações nos limites longitudinais e laterais dos canais, como expansão ou contração das margens e também o reposicionamento dos rios. Refere-se à possibilidade de um rio ou trecho

se modificar para absorver mudanças processuais, como aumento/diminuição do fluxo ou da oferta de sedimentos (SOUZA e CORRÊA, 2015).

A fim de facilitar a compreensão e interpretação do leitor em relação aos produtos cartográficos, que sobrepostos geravam muitas informações, optou-se por separar os anos estudados. Assim têm-se mapas dos ajustes nos anos de 1954 e 2012, que apresentam as maiores alterações, por se tratarem do primeiro e último ano mapeado, assim como entre este período, nos anos de 1980, 1996 e 2006.

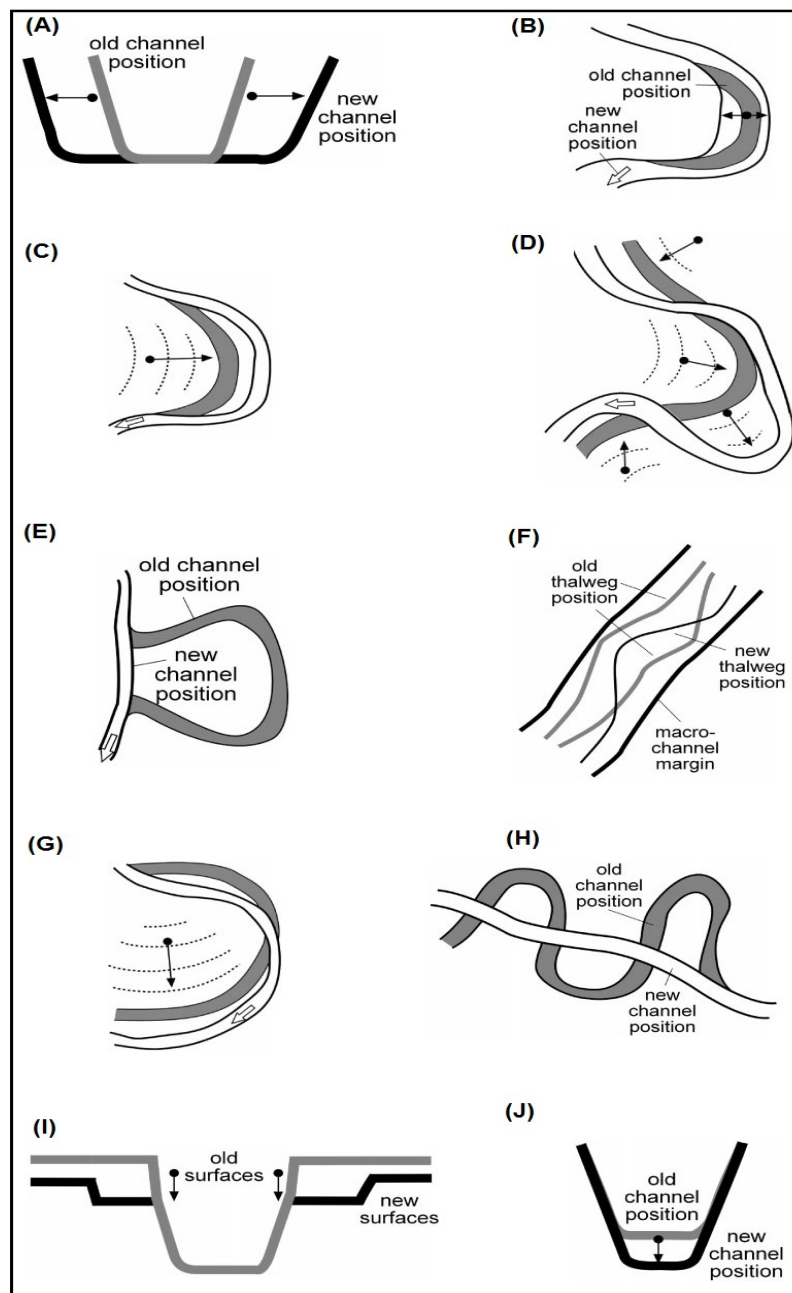


Figura 9 - Tipos de ajustes fluviais

(A) Expansão do canal; (B) Dimensão Lateral (Largura); (C) Extensão da Curvatura; (D) Rotação da Curva; (E) Interrupções; (F) Realinhamento do baixo fluxo do canal; (G) Translação da curva; (H) Retilinação ou Retificação; (I) Desnudamento da várzea; (J) Dimensão Vertical

Fonte: Fryirs *et al.*, (2009)

Onde:

- (A) Expansão do canal: aumento de 50% ou mais na largura do canal fluvial;
- (B) Dimensão Lateral (Largura): aumento ou redução na largura do canal fluvial;
- (C) Extensão da curvatura: deslocamento lateral da curva, causando um aumento na amplitude e comprimento do canal;
- (D) Rotação da curva: ajustamento da orientação do eixo de curvatura;
- (E) Interrupções: o meandro é abandonado por uma nova forma criada pelo rio;
- (F) Realinhamento do baixo fluxo do canal: ajuste do talvegue dentro de um canal fluvial mais amplo;
- (G) Translação da curva: deslocamento a montante ou a jusante na posição da curva, sem a forma básica ser alterada;
- (H) Retilização: perde sua sinuosidade naturalmente, na maioria dos casos ocorre em áreas de elevada declividade; Retificação: perde sua sinuosidade por meio da atividade antrópica (induzida artificialmente através de programas de canalização);
- (I) Desnudamento da várzea: remoção ou reformulação das formas das margens fluviais, resultando em um novo perfil transversal;
- (J) Dimensão vertical: aprofundamento do leito fluvial em mais de cinco metros.

Além da abordagem dos ajustes laterais e longitudinais em canais fluviais, adotou-se outra possibilidade de análise, presente em Souza (2014), denominada de ajuste de Estilo, que refere-se a possibilidade iminente de modificação dos Estilos Fluviais já existentes. Isto ocorre quando neste caso se alteram as características da paisagem, como por exemplo, tipo de vale, declividade e principalmente a localização das feições fluviais de depósito.

### 3.3 FLUXO ACUMULADO

Para obter o fluxo acumulado, primeiramente é preciso conhecer a direção de fluxo, que de acordo com Rennó *et al.*, (2008), é definida pelas relações hidrológicas

entre diferentes pontos dentro de uma bacia hidrográfica. Pode ser determinada por diversos algoritmos, descritos por O'Callaghan e Mark (1984), Jenson e Domingue (1988), Tarboton *et al.*, (1991), Quinn *et al.*, (1995) e Planchon e Darboux (2001), na qual obtêm-se a quantidade de células a montante que drenam para cada uma das células a jusante. Ao utilizar do algoritmo D8 (oito possíveis direções de fluxo – Figura 10), têm-se as direções representadas na forma de grade regular, na qual o valor de cada célula representa uma das oito direções possíveis, assim atribuindo o sentido do escoamento de um pixel para um de seus oito vizinhos (RUHOFF, 2010).

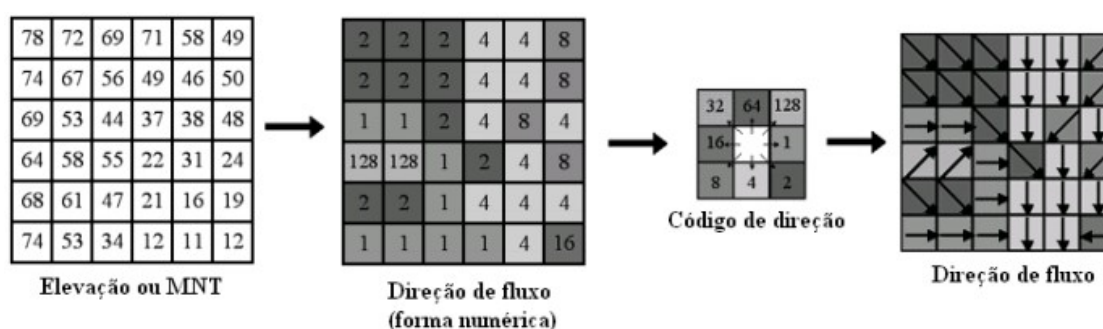


Figura 10 - Exemplo de utilização do algoritmo D8 para direção de fluxo  
 Fonte: Adaptado de ESRI (2008), apud Sobrinho *et al.*, (2010)

Para gerar o fluxo acumulado para a bacia hidrográfica do rio Sagrado, utilizou-se do mesmo modelo digital TIN (*Triangulated Irregular Network*) produzido anteriormente. A partir deste, aplicou-se a ferramenta *Fill* do *ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology*, do *software* ArcGis 9.3.1, para preencher os espaços vazios existentes no TIN. Posteriormente a ferramenta *Flow Direction*, para gerar um raster contendo a direção do fluxo de cada célula, sendo este raster imprescindível para obter o fluxo acumulado.

O fluxo acumulado (Figura 11) é um parâmetro que indica o grau de confluência do escoamento, também denominado de área de captação, que reúne características do comprimento de rampa, em relação à conexão com divisores de água a montante, como também a curvatura horizontal, da confluência e divergência das linhas de fluxo (VALERIANO, 2008). Vale ressaltar que foi trabalhado com a quantidade relativa de água, não abordando os dados referentes a vazão dos rios que compõem a bacia.

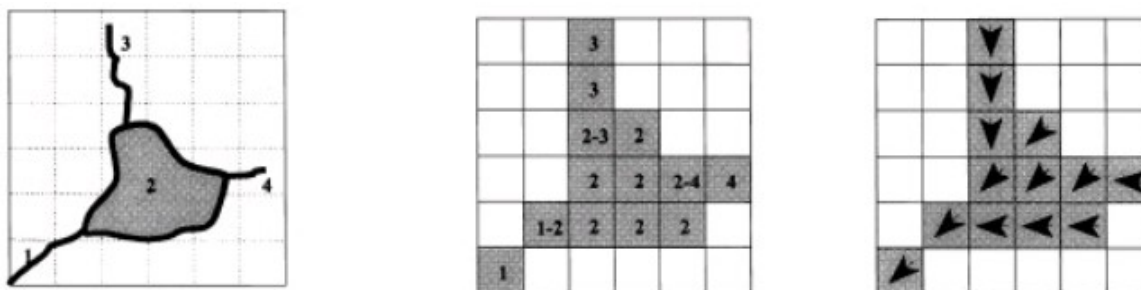


Figura 11 - Exemplo para determinar o fluxo acumulado  
 Fonte: Adaptado de Turcote *et al.*, (2001), apud Sobrinho *et al.*, (2010)

Utilizando como base o raster da direção de fluxo e a ferramenta *Flow Accumulation*, foi possível gerar o raster que determina a acumulação de fluxo, cujos valores mais elevados correspondem aqueles que possuem as maiores áreas de acumulação de água, calculados por meio da ferramenta *Raster Calculator*. De acordo com Mendes e Cirilo (2001), o fluxo acumulado representa a rede hidrográfica, tornando-se possível montar uma nova grade contendo os valores de acúmulo de água em cada “pixel” (SOBRINHO, 2010).

### 3.4 CONCENTRAÇÃO DE EROSÃO

Para identificar as margens fluviais que mais sofreram com os processos erosivos, utilizou-se das hidrografias mapeadas nos anos de 1954 e 2012, por se tratar do primeiro e último ano trabalhado. Foram escolhidos três pontos em uma distância de aproximadamente cinco quilômetros de extensão fluvial, os pontos escolhidos foram aqueles que apresentaram maiores mudanças visuais, ou seja, aqueles que aparentemente obtiveram maiores acréscimos de largura. Para os principais rios que compõem a bacia, mediu-se a distância de expansão entre a margem fluvial esquerda e direita, por meio da ferramenta *measure* do *software* ArcGis 9.3.1.

Para auxiliar na identificação dos locais que apresentaram expansão, foram utilizados os mapeamentos dos ajustes fluviais, dos pontos de maiores larguras detectadas e da classificação da largura do canal, com expansão das margens. Desta forma, tornou-se possível identificar e mapear as áreas com concentração de erosão, consideradas a partir da expansão/acréscimo de cinco metros ou mais entre

uma margem e outra. Este parâmetro foi estabelecido conforme as características das drenagens, como largura e comprimento e pelas dimensões da bacia.

### 3.5 CONECTIVIDADE

A dimensão longitudinal da conectividade é estabelecida nas relações que ocorrem da nascente até a foz, ao longo do rio; e a lateral ou transversal corresponde à articulação bidimensional entre o rio principal e as margens, condicionadas pelas características geológicas, que influenciam a declividade e largura do vale, indicando seu comportamento.

Para qualificar e descrever a conectividade, baseou-se na classificação de Hooke (2003) e no exemplo apresentado pela Figura 12 (análise do fator encosta-canal), por meio da interpretação dos dados existentes, como tipo de vale, declividade, sinuosidade, da análise da imagem de satélite mais atual (*RapidEye* de 2012) e ainda dos dados coletados em trabalhos de campo realizados, nos anos de 2013, 2014 e 2016. Foram observados ainda os elementos que possam interromper o fluxo de água e sedimentos, como barragens e estradas, que são causadoras de desconectividade longitudinal, enquanto que as planícies de inundação e, mais uma vez, as estradas são de desconectividade lateral.

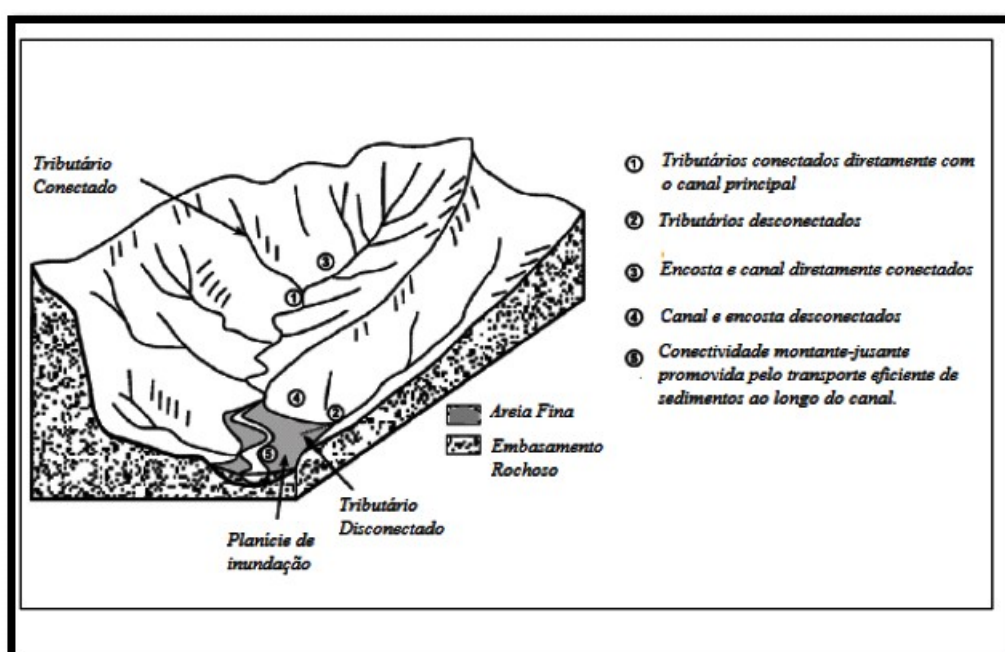


Figura 12 - Exemplo de conectividade de subsistemas em uma bacia hidrográfica  
Adaptado de Fryirs *et al.*, (2006)

### 3.6 RESISTÊNCIAS, FORÇAS DE PERTURBAÇÃO E SENSITIVIDADE FLUVIAL

A abordagem da sensibilidade é efetivada a partir dos resultados obtidos da análise do comportamento e evolução fluvial, por meio no arcabouço de informações geradas a partir da aplicação da proposta dos Estilos Fluviais (SOUZA e CORRÊA, 2015), assim como integrar os dados das características físicas (solos, geologia, declividade) com o uso do solo e as transformações na paisagem.

Primeiramente foram mapeados manualmente (por vetorização) os usos do solo simplificado na escala 1:25.000 para os cinco anos trabalhados, abrangendo áreas homogêneas, como atividades antrópicas cultivadas; antrópicas não cultivadas, como estradas, residências e solo exposto; pastagens e campos; vegetação em estágio inicial e por fim, vegetação em estágio médio e avançado.

Foram enfocadas as áreas no entorno dos rios, suas transformações (se estão evoluindo para uma degradação) e as consequências geradas para a bacia. Assim, pode-se verificar se as alterações, ou possíveis alterações influenciam nos ajustes fluviais encontrados.

Os dados do mapeamento geomorfológico, solos e geologia foram sobrepostos com a evolução do uso do solo da bacia, o que tornou possível identificar os locais com maiores probabilidades de ocorrências de alterações na paisagem, como também onde estas já estão pronunciadas. Áreas com declividades acentuadas (acima de 30%) são aquelas em que as mudanças no uso são menos prováveis, ou seja, paisagens mais resistentes, diferentemente das planas e próximas as drenagens, na qual tornam-se possíveis a expansão das áreas agricultáveis e de pecuária.

Os mapas de solos e geologia apresentam a suscetibilidade à produção de sedimentos, sendo possível visualizar as áreas com maior fragilidade a mudanças no uso do solo. Como exemplo, têm-se a região da Serra do Mar, que oferece mais resistências pelo limitado acesso, do que distúrbios, devido às suas características e condições físicas (vegetação, declividade, entre outros).

Posteriormente, os dados dos ajustes fluviais foram sobrepostos também com o uso do solo, podendo-se verificar a relação entre a evolução com as alterações encontradas, principalmente nas áreas com concentração de erosão. Confrontaram-se ainda as áreas de concentração de erosão com os locais de maior acúmulo de fluxo, tornando possível analisar e confirmar algumas das morfologias existentes.



Nesta etapa, os Estilos Fluviais contribuem para compreender melhor as características de cada trecho, facilitando no reconhecimento da sensibilidade fluvial da bacia do rio Sagrado.

A conectividade teve por objetivo demonstrar se as mudanças provocadas em um ponto podem ser transferidas para outro local da bacia, como por exemplo, uma mudança no uso do solo a montante poderá ser transferida e implicar em alterações fluviais à jusante.

Deste modo, as informações foram integradas e analisadas conjuntamente, tendo-se o cruzamento dos dados, não de forma automática por meio de *softwares*, mas sim visualmente, tornando possível interpretar e localizar os pontos de maiores resistências e perturbações.

Os locais com maiores potenciais de alterações ou que já se encontram em fase de mudanças são classificados como áreas com distúrbios ou modificadas pelas forças de perturbação, enquanto que em locais de maiores resistências são aqueles que apresentam poucas alterações, ou poucos potenciais de mudanças. Portanto, quanto maior a resistência, menor será a sensibilidade, assim como quanto maior a força de perturbação aplicada na paisagem, maior será sua sensibilidade.

Sendo assim, a classificação da sensibilidade fluvial foi dividida em: alta sensibilidade, moderada sensibilidade e baixa sensibilidade, assim como em Souza (2014), e adaptada de acordo com as características da área estudada, descritas a seguir:

*Alta sensibilidade:* grandes mudanças ou probabilidade de mudanças na paisagem, como margens fluviais desprotegidas ou com potencial de desproteção, encostas fluviais com altas declividades e solos arenosos, margens erosivas ou com concentração de fluxo de água, grande quantidade de ajustes fluviais, entre outros;

*Moderada sensibilidade:* menores probabilidades de ocorrências de erosões e mudanças na paisagem, declividades moderadas e solos menos frágeis a produção de sedimentos, pequenas alterações no uso do solo ou áreas com potencial para mudança no uso do solo, como por exemplo, para campos de pastagens;

*Baixa sensibilidade:* ocorrência reduzida ou baixa probabilidade de mudanças na paisagem, como por exemplo, áreas sem a presença de ajustes fluviais, leito e margens fluviais rochosas, vegetação em estágio médio ou avançado, poucas intervenções antrópicas, entre outras.

Deste modo, foram vetorizados os trechos fluviais de acordo com a classificação acima citada, identificando os pontos de altas, moderadas e baixas sensibilidades para as principais drenagens da bacia hidrográfica do rio Sagrado.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 ESTILOS FLUVIAIS

Definidos por Kleina *et al.*, (2014) para o rio Sagrado, foram mapeados para os demais afluentes da bacia, representados pela Figura 13 e Tabela 2.

No rio Sambaqui foram encontrados oito diferentes tipos de Efs, dos quais três apresentam feições de depósito. Tratam-se de ilhas e barras com ausência de cobertura vegetal, encontradas em trechos de baixas declividades, normalmente em curvas de meandros. Para o rio dos Neves, as barras de pontal estão recobertas por vegetação rasteira e primária, o que indica estabilidade, desenvolvendo áreas de manguezais e tornando-se uma APP.

O Estilo Fluvial denominado retilíneo foi identificado próximo às nascentes dos principais afluentes, com declividades acentuadas, que tendem a se suavizar ainda nos terços superiores, transformando-se em vales parcialmente confinados (Figura 14a).

As feições de depósito identificadas (Figuras 14b e 14c) são, em sua maioria, barras instáveis, localizadas em Estilos meandrantés, contudo as maiores encontram-se no canal irregular com deposição. Nos EFs retificados também há presença de feições (ilhas e barras), entretanto, as intervenções antrópicas nas calhas fluviais do terço inferior dos rios Sagrado (Figura 14d) e Sambaqui geraram mudanças de suas formas, alterando de meandrante para retificado, com grande presença de sedimentos em suspensão.

Não foi possível visualizar, por meio das imagens de satélite, as feições fluviais dos rios Canhemborá, Ribeirão Fundo e Pitinga devido à má qualidade destas imagens, contudo sabe-se que elas existem. Por meio de trabalhos de campo realizados, confirmou-se que as margens dos menores afluentes também estão propensas a processos erosivos (Figura 14e), e conseqüentemente apresentam depósitos (Figura 14f), como é o caso do rio Bom Jardim, que também pertence a bacia, porém não foi considerado no trabalho pela pequena extensão.



Tabela 2 - Estilos Fluviais na bacia hidrográfica do rio Sagrado

	<b>Estilo Fluvial</b>	<b>Tipo de Vale</b>	<b>Declividade da Vertente</b>	<b>Feições fluviais</b>
<b>Rio Sambaqui</b>	Retilíneo	Confinado	Muito alta (acima de 47%)	-
	Sinuoso de vale parcialmente confinado	Parcialmente confinado	Muito alta a alta (acima de 47 a 30%)	-
	Canal irregular sem deposição	Parcialmente confinado	Muito alta a alta (acima de 47 a 30%)	-
	Canal irregular com deposição	Não confinado	Moderada a muito baixa (30 a menos que 5%)	Ilhas e barras (recentes)
	Sinuoso sem deposição	Não confinado	Moderada a muito baixa (30 a menos que 5%)	-
	Meandros irregulares com deposição	Não confinado	Muito baixa (menos que 5%)	Barras (recentes)
	Sinuoso com deposição	Não confinado	Muito baixa (menos que 5%)	Ilhas e barras (recentes)
	Sinuoso sem deposição	Não confinado	Muito baixa (menos que 5%)	-
	<b>Rio dos Neves</b>	Meandros irregulares com deposição	Não confinado	Muito baixa (menos que 5%)
Sinuoso sem deposição		Não confinado	Muito baixa (menos que 5%)	-
<b>Rio Canhemborá</b>	Retilíneo	Confinado	Muito alta a alta (acima de 47 a 30%)	-
	Canal irregular de vale parcialmente confinado	Parcialmente confinado	Alta a moderada (47 a 12%)	-
	Canal irregular de vale não confinado	Não confinado	Baixa a muito baixa (12 a menos que 5%)	-
<b>Rio Ribeirão Fundo</b>	Retilíneo	Confinado	Muito alta (acima de 47%)	-
	Sinuoso de vale parcialmente confinado	Parcialmente confinado	Alta a moderada (47 a 12%)	-
<b>Rio Pitinga</b>	Canal irregular de vale não confinado	Não confinado	Moderada a muito baixa (30 a menos que 5%)	-

Fonte: A autora



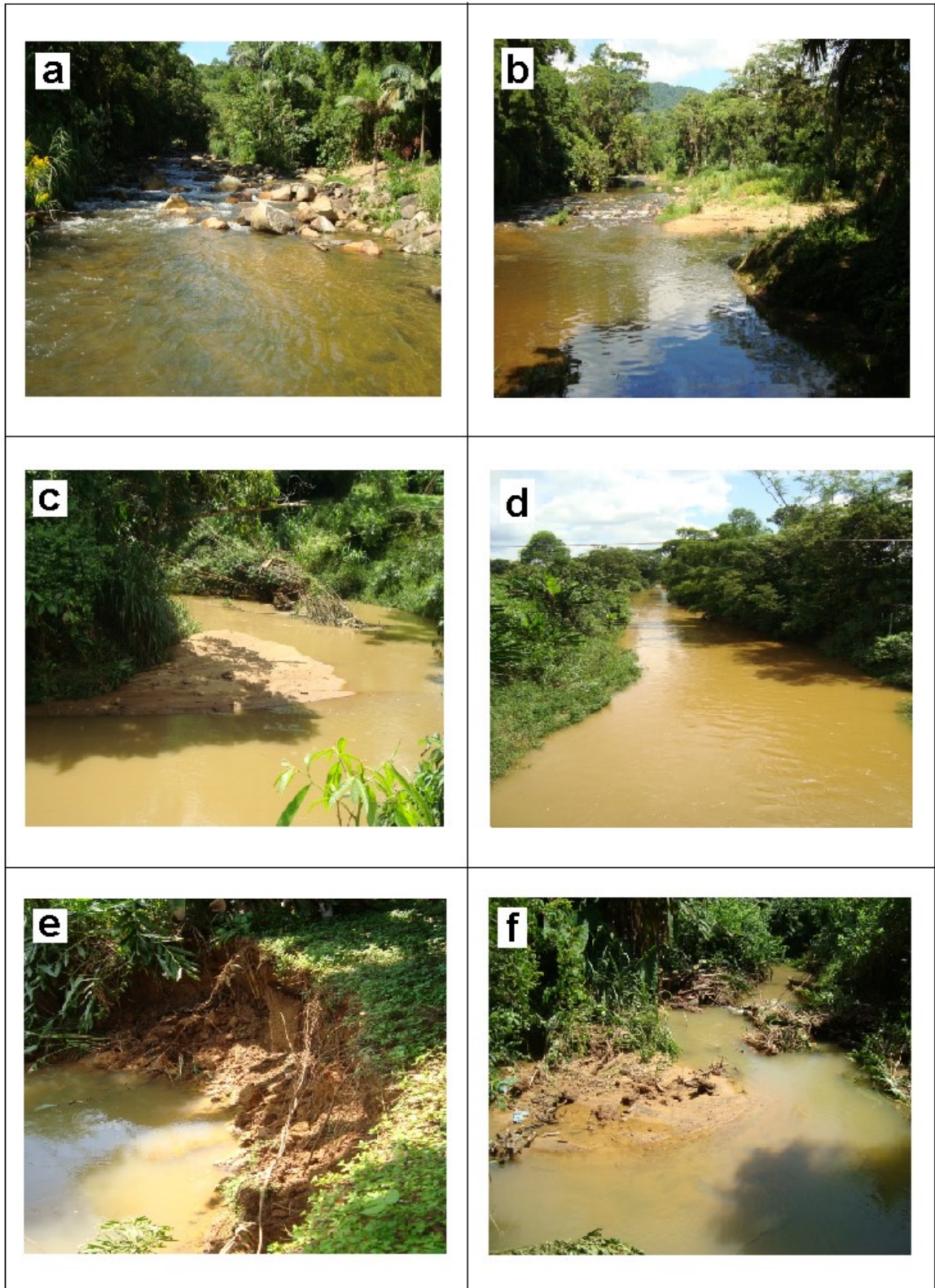


Figura 14 - Características pontuais dos trechos: (a) trecho de vale parcialmente confinado; (b) e (c) barra instável presente em curvas de meandros; (d) trecho retificado do rio Sagrado; (e) e (f) afluente instável

Fonte: Kleina *et al.*, (2014)

## 4.2 AJUSTES FLUVIAIS

Como parte do reconhecimento das forças de perturbação (mudanças) é importante verificar os pontos que mais sofreram alterações, classificando-as dentro da proposta dos ajustes fluviais. Para isso, analisaram-se as maiores e menores larguras registradas nos rios de maiores proporções da bacia (Sagrado, Sambaqui e dos Neves), além dos dados de larguras máximas, que auxiliaram na composição do mapa de concentração de erosão fluvial.

### Rio Sagrado

Rio mais importante da bacia (Figura 15), nasce a 940 metros do nível do mar, na Serra Paranaense e deságua próximo ao nível do mar na Planície Litorânea, porém, não há influência de maré.

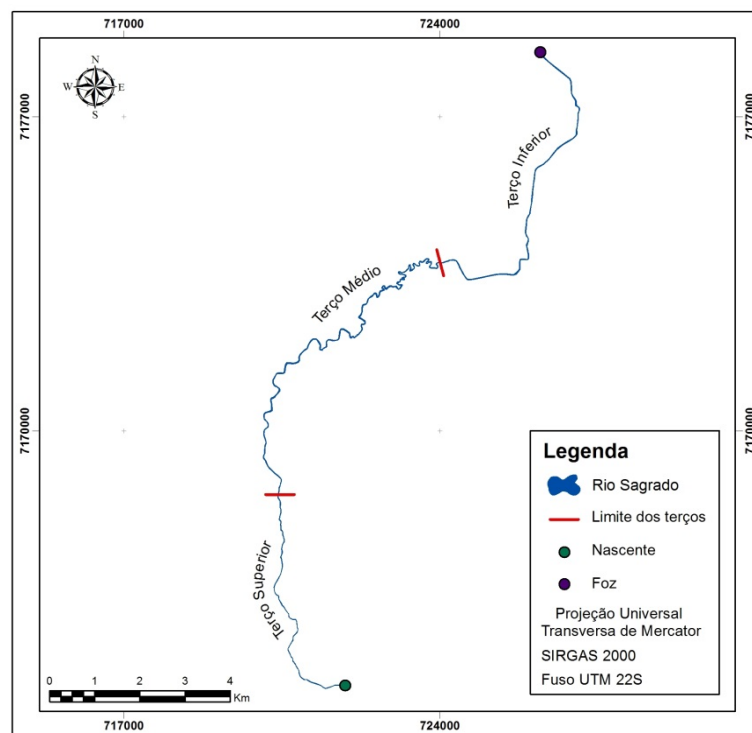


Figura 15 - Divisão dos terços do rio Sagrado

O rio Sagrado possui aproximadamente 25 quilômetros de extensão, sendo 4,8 destes pertencentes ao terço superior, 10,5 ao terço médio e 9,7 ao inferior (Figura 16). Visualmente seu perfil longitudinal é equilibrado, com poucas rupturas

de declive, principalmente localizadas no terço superior, entre 600 e 300 metros de altitude. Este rio recebe todos os sedimentos provenientes de seus afluentes, possuindo uma vasta planície de inundação, com a presença de ilhas e barras fluviais nos terços médio e inferior, predominantemente arenosas e ausentes de cobertura vegetal.

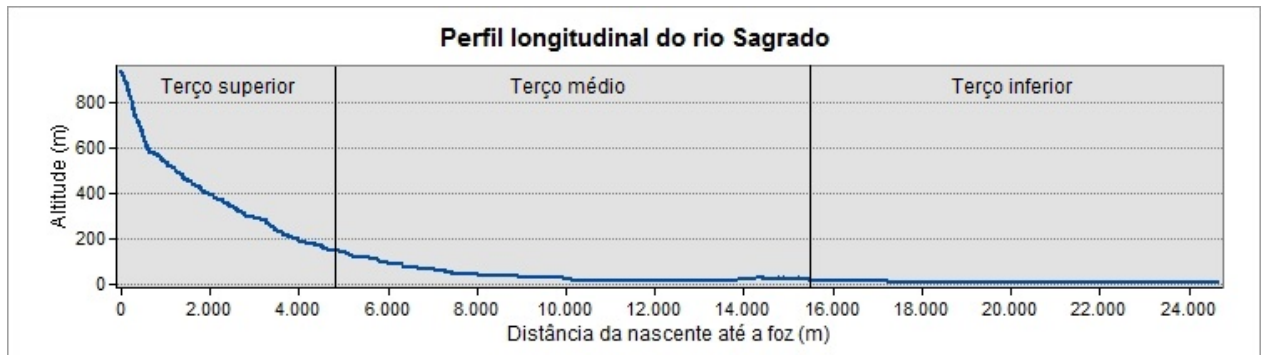


Figura 16 - Perfil longitudinal do rio Sagrado dividido por terços

### Terço Superior

O rio sofreu poucas alterações no período analisado em relação a forma neste segmento, visto que se trata de uma drenagem mais encaixada, atribuída pela alta declividade próxima à nascente, a moderada declividade no término do terço, com valores acima de 45 a 30%. Possui baixa profundidade e a presença de blocos rochosos no centro e laterais do canal fluvial (Figura 17).



Figura 17 - Presença de blocos no terço superior do rio Sagrado  
Fonte: Kleina (2013)



A mata ciliar ainda preservada próxima à nascente protege as margens dos processos erosivos neste terço, e por isso não há considerável acréscimo das larguras. As maiores e menores larguras registradas para o terço superior correspondem ao ano de 2006, como evidencia a Tabela 3.

Tabela 3 - Larguras mínimas e máximas aproximadas no terço superior do rio Sagrado nos anos analisados

<b>Terço superior do rio Sagrado</b>			
<b>Ano</b>	<b>Largura mínima (m)</b>	<b>Largura máxima (m)</b>	<b>Características do terço</b>
<b>1954</b>	3,7	15,7	Vale confinado e parcialmente confinado; baixa sinuosidade; declividade muito alta a moderada; ausência de feições fluviais de depósito e poucas intervenções antrópicas na APP
<b>1980</b>	2,6	11,9	
<b>1996</b>	3,5	9,1	
<b>2006</b>	2,4	15,4	
<b>2012</b>	4,9	15,1	

Fonte: A autora

As larguras mínimas foram observadas muito próximas a nascente do rio Sagrado nos anos de 1954, 1980 e 1996 (Figura 18), em média 800 metros de distância, onde a declividade é elevada e a sinuosidade muito baixa, contudo, é possível observar que, de 1954 para 2012, houve acréscimo de largura em grande parte deste terço, o que o caracteriza como erosivo, com margens que vêm sofrendo processos de degradação, transportando os sedimentos para jusante.

Apesar de todo trecho ser gradualmente erosivo, não há um ponto ou local específico sensível e predisposto ao aumento excessivo de erosão, comprovado pela localização não coincidente das larguras mínimas e máximas mapeadas nos diversos anos.

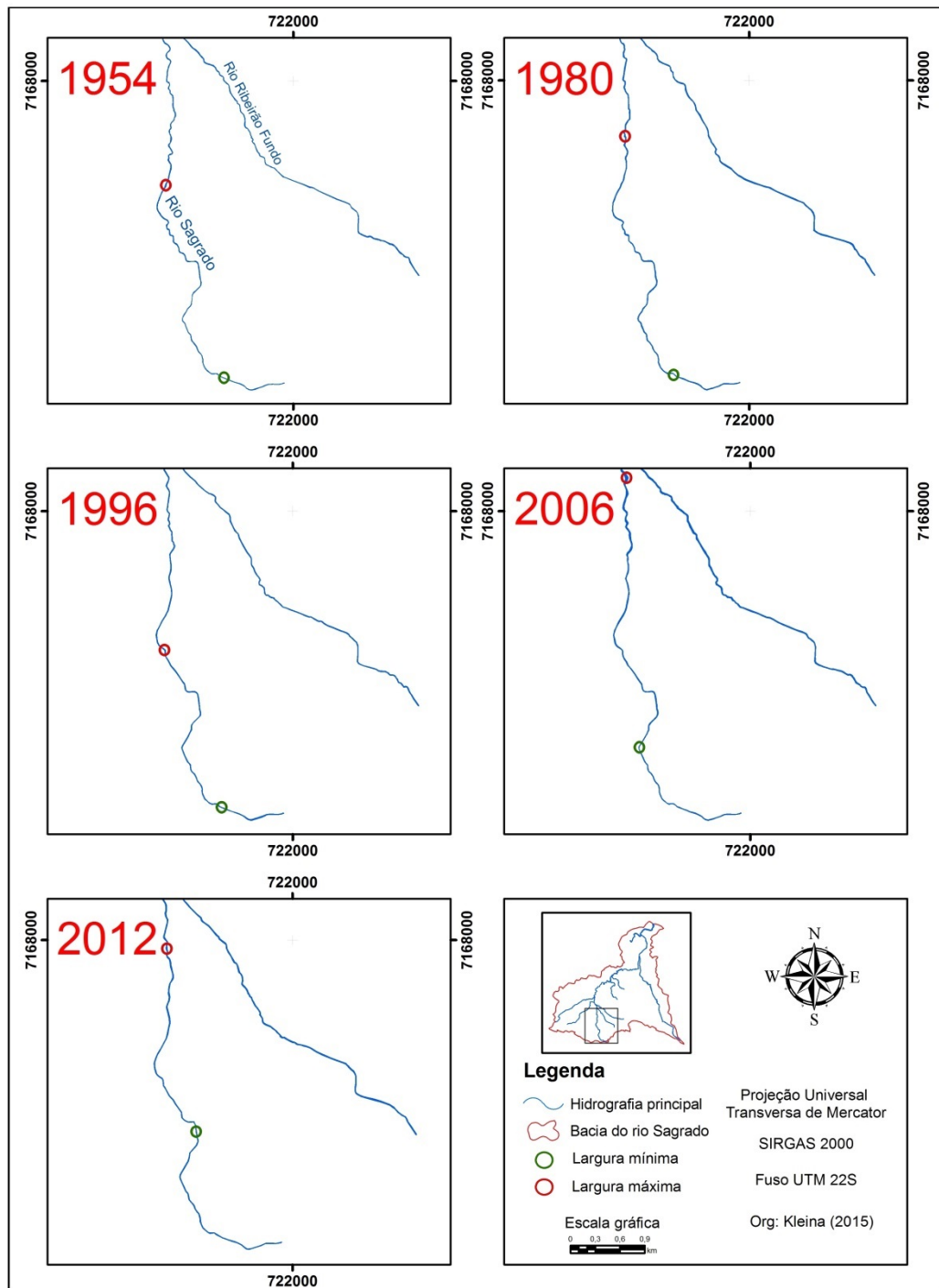


Figura 18 - Mudanças fluviais no terço superior do rio Sagrado nos anos analisados

### Terço Médio

As características deste trecho apontam maiores sinuosidades e grande quantidade de feições fluviais (Figura 19), como indicam seus Estilos Fluviais. Apesar da elevada sinuosidade desenvolvida por um longo período de tempo, como mostram as fotografias áreas de 1954, não há mudanças significativas nas formas apresentadas de 1954 a 2012 (Figura 20).



Figura 19 - Presença de barras de pontal no terço médio do rio Sagrado  
Fonte: Kleina (2013)

Constata-se ainda que, entre os anos de 1954 e 1980 existia uma bifurcação da drenagem que dividia o fluxo de água em dois (Figura 21), localizada próxima à foz do rio Canhemborá, fisionomia que não foi observada nas imagens recentes.

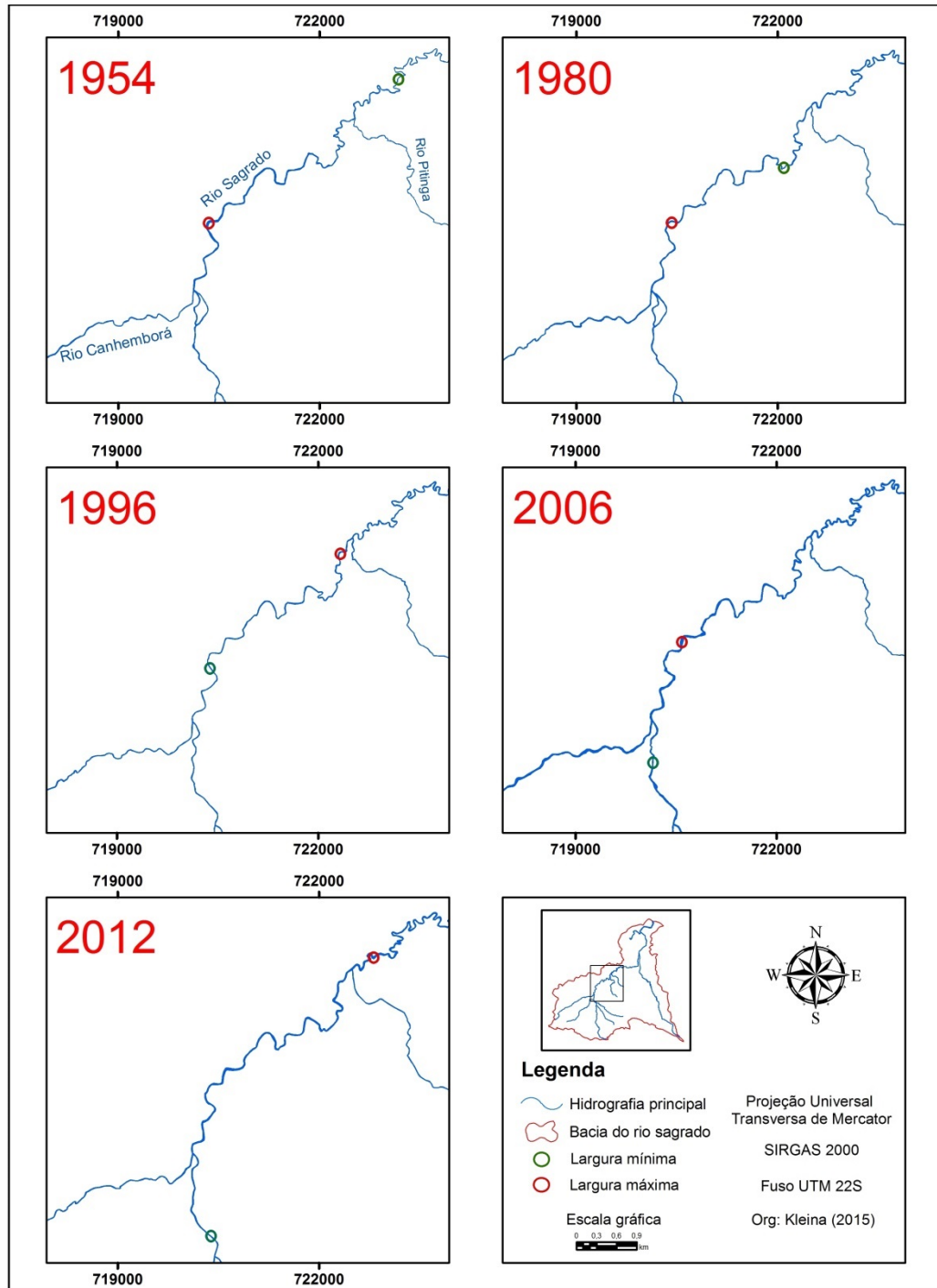


Figura 20 - Mudanças fluviiais no terço médio do rio Sagrado nos anos analisados



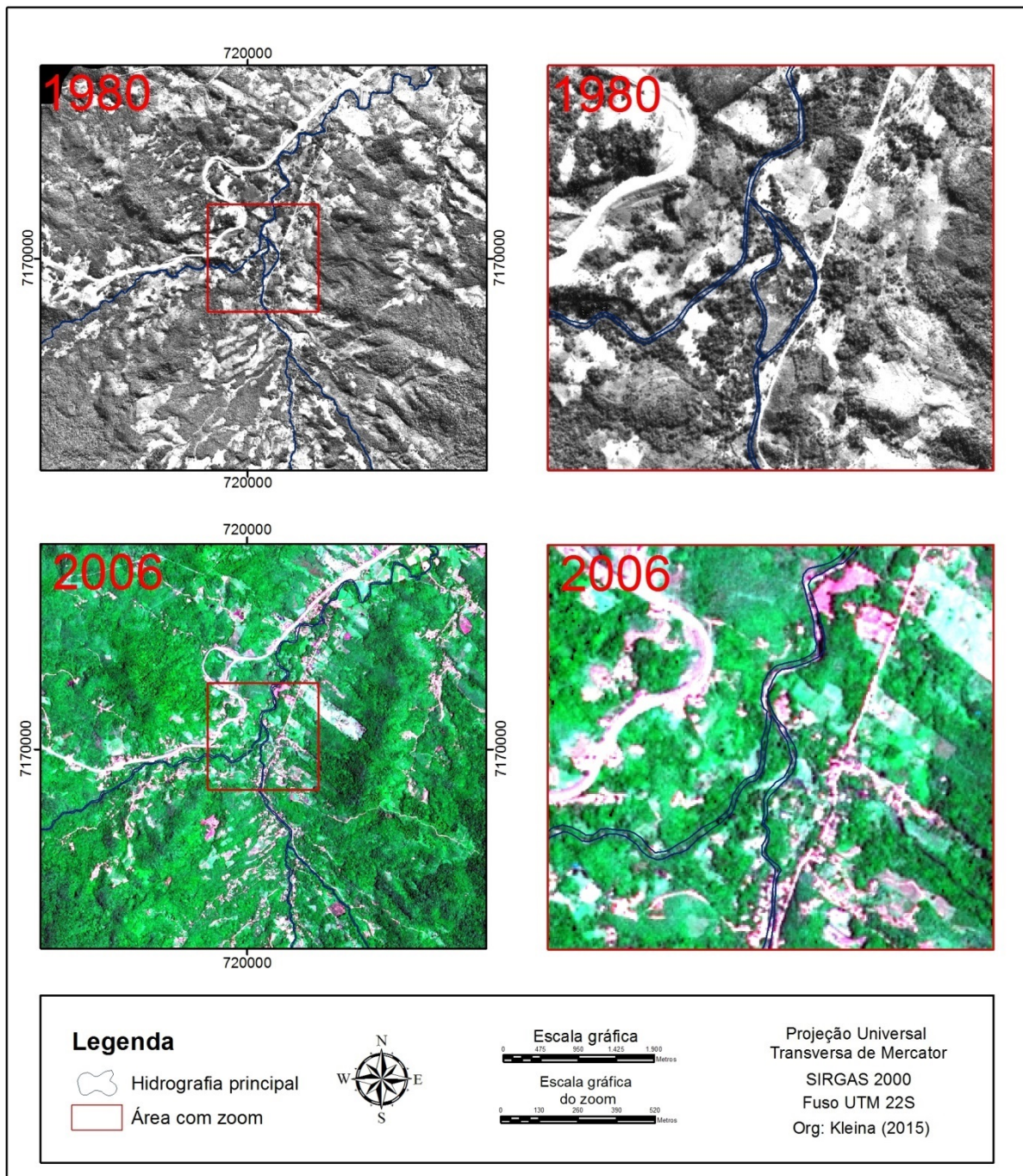


Figura 21 - Desaparecimento da bifurcação fluvial de 1980 para 2006

Apesar das alterações na forma não se mostrarem muito evidentes, os acréscimos das larguras mínimas e máximas demonstram que os processos de erosão continuam a atuar fortemente neste trecho (Tabela 4).

Notam-se grandes alterações nas larguras máximas deste terço do canal fluvial, primeiramente com redução até o ano de 1996, e posteriormente, um aumento considerável de 1996 para 2012. Evidencia-se que, a partir de 1996 se intensificaram os processos erosivos no terço médio do rio Sagrado, e que apesar

de serem pontuais, as larguras médias nos anos estudados apresentam os mesmos resultados.

Tabela 4 - Larguras mínimas e máximas aproximadas no terço médio do rio Sagrado nos anos analisados

<b>Terço médio do rio Sagrado</b>			
<b>Ano</b>	<b>Largura mínima (m)</b>	<b>Largura máxima (m)</b>	<b>Características do terço</b>
<b>1954</b>	4,8	33	Vale parcialmente confinado a não confinado; forma meandrante; declividade moderada a muito baixa; presença de ilhas e barras fluviais e grandes intervenções antrópicas na APP
<b>1980</b>	3,8	20,9	
<b>1996</b>	4,2	21,8	
<b>2006</b>	9,5	39,5	
<b>2012</b>	10,4	38,5	

Fonte: A autora

### Terço Inferior

As transformações ao longo do tempo no terço inferior do rio Sagrado são as mais evidentes, como comprova a Figura 22. A mais importante se refletiu de 1954 a 1980 (Figura 23), quando passou de meandrante para retificada, associadas as intervenções antrópicas, alterando as condições naturais da drenagem.

A área no entorno é composta por poucas residências, apenas de agricultores, a planície é ocupada por agriculturas anuais, o que contribui com os processos de erosão. A retificação deste terço, constatada a partir de 1980 trouxe consigo o aumento artificial em sua largura, como evidencia a Tabela 5.

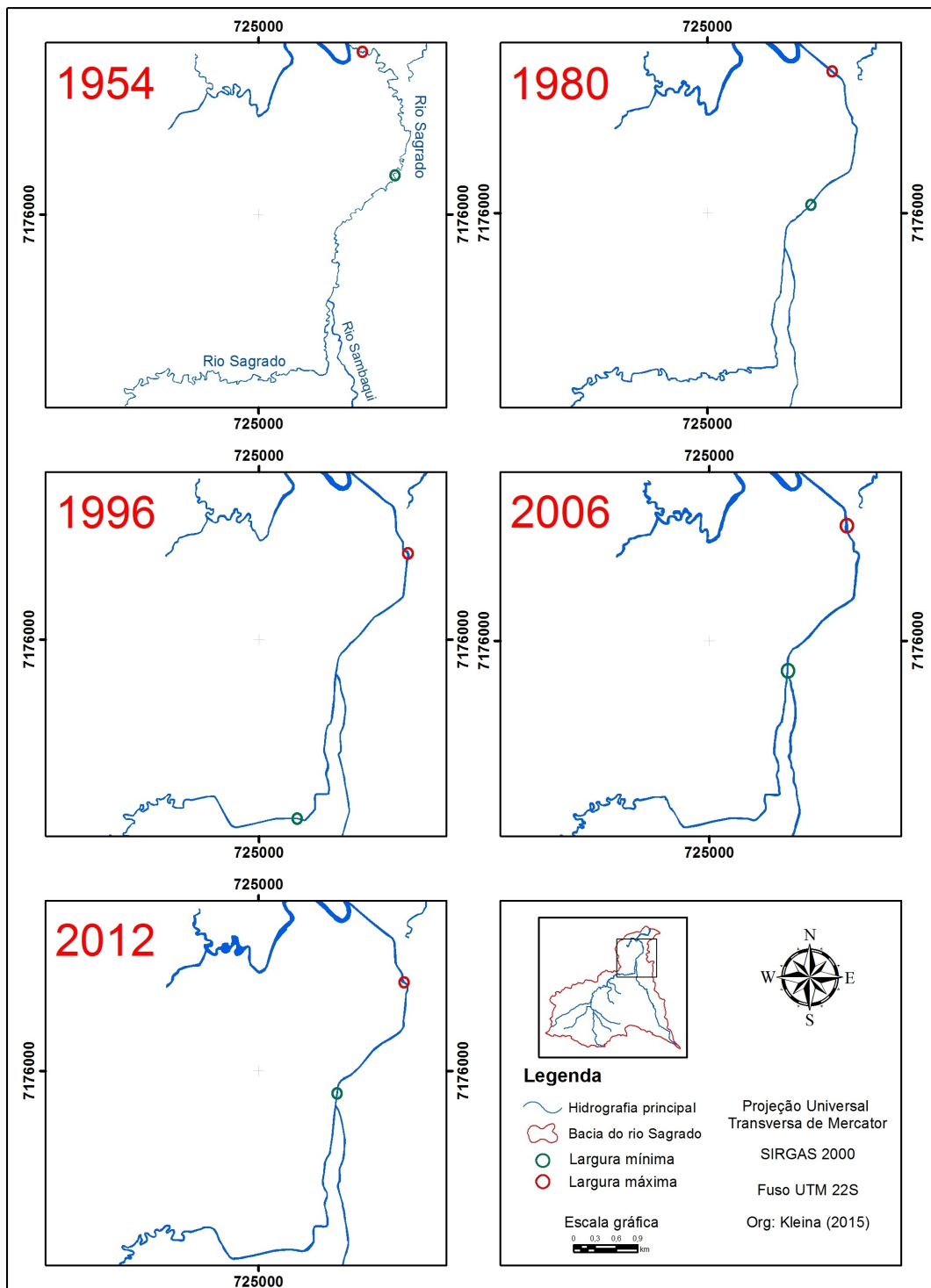


Figura 22 - Mudanças fluviais no terço inferior do rio Sagrado nos anos analisados



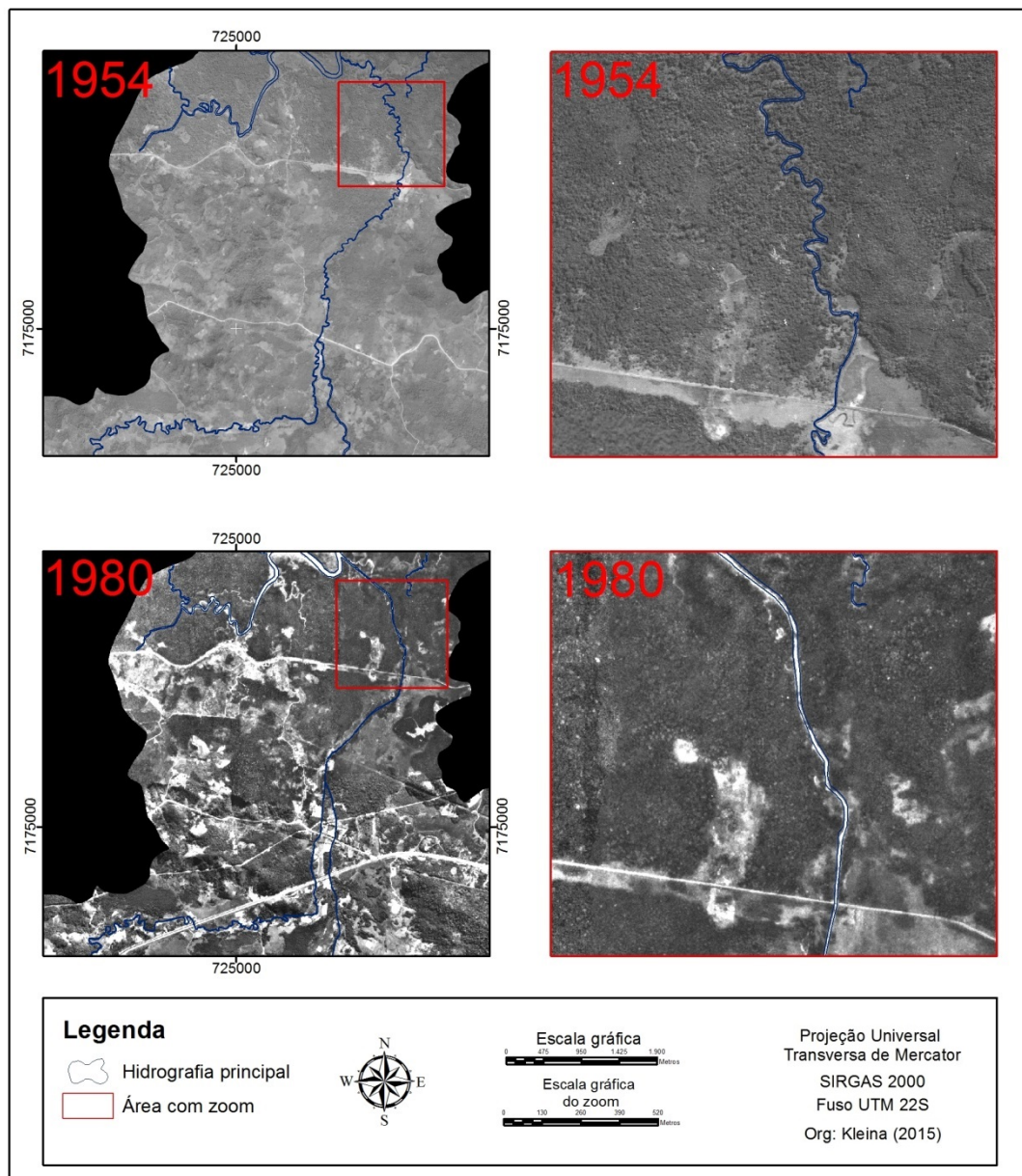


Figura 23 - Alteração das formas fluviais, de meandrante em 1954 para retificada em 1980

Tabela 5 - Larguras mínimas e máximas aproximadas no terço inferior do rio Sagrado nos anos analisados

Terço inferior do rio Sagrado			
Ano	Largura mínima (m)	Largura máxima (m)	Características do terço
1954	1,6	16,1	Vale não confinado; forma retificada; declividade muito baixa; presença de ilhas e barras e muitos sedimentos em suspensão; altas atividades antrópicas na APP
1980	4,4	18,6	
1996	8,7	27,6	
2006	9,9	35,7	
2012	9,2	30	

Fonte: A autora



Nota-se que, a partir de 1980 houve considerável aumento, tanto das larguras mínimas, quanto das máximas registradas para o terço inferior do rio Sagrado, sendo a média de dez metros de largura registrada para 1954, enquanto que para 2012, dezoito metros.

Esta retificação e aumento da largura, juntamente com a ampliação das áreas ocupadas e criação de estradas rurais não pavimentadas, são os grandes responsáveis pelo acréscimo de sedimentos que chegam até a baía de Antonina, e que conseqüentemente geram seu assoreamento (PAULA, 2010), trazendo prejuízos financeiros, com necessidade de dragagens, mas também ambientais, como a perda de ecossistemas, principalmente aquáticos.

Pode-se destacar ainda, de acordo com a Figura 22 que os pontos de larguras mínimas mapeadas são coincidentes entre os anos, exceto para 1996, o que demonstra que este ponto encontra-se estável em relação à erosão.

Visto que o terço inferior foi o trecho que sofreu as maiores alterações em sua sinuosidade, mediram-se os comprimentos nos anos estudados, apresentados pela Tabela 6.

Tabela 6 - Comprimento aproximado do terço inferior do rio Sagrado nos anos analisados

Ano	Rio Sagrado				
	1954	1980	1996	2006	2012
Comprimento (km)	11,18	8,32	7,90	7,96	7,93

Fonte: a autora

O grande número de meandros observados em 1954 foi o responsável pela maior extensão do rio Sagrado registrada, porém, com as conclusões das obras de retificação, evidentes nas imagens de satélite em 1996, a extensão se tornou constante, fato que aponta pouca evolução de suas formas nestes últimos anos de observações.

O rio Sagrado perdeu mais de três quilômetros em extensão neste período, transformando toda a dinâmica natural da drenagem, e ocasionando os problemas já destacados anteriormente. Por meio da Figura 24, pode-se observar, pela coloração da água (turbidez), grande quantidade de sedimentos em suspensão, comparando com as figuras dos terços médio e superior, o que evidencia o transporte principalmente de materiais finos neste segmento.



Figura 24 - Presença de sedimentos em suspensão no inferior do rio Sagrado  
Fonte: Kleina (2013)

A classificação das mudanças anteriormente discutidas foi baseada nos exemplos propostos por Fryirs *et al.*, (2009), denominados de ajustes fluviais. Como base, utilizou-se dos segmentos dos EFs, que trazem os parâmetros-chave referentes aos canais fluviais, como sinuosidade, declividade e tipo de vale, fundamentais ao mapeamento.

Apenas dois Estilos não apresentam ajustes, denominados de sinuoso de vale confinado e sinuoso de vale parcialmente confinado, ambos pertencentes ao terço superior, apresentam alta declividade, leito rochoso, pouca erosão e nenhuma deposição, não exibindo assim mudanças significativas em suas formas ao ponto de apresentarem algum tipo de ajustamento, e por isso não se enquadram na classificação proposta pela Figura 7.

Os ajustes fluviais reconhecidos para o rio Sagrado (1954 e 2012) encontram-se na Tabela 9, Figura 25 (mudanças antrópicas) e Figura 26. Foi possível identificar diversos ajustamentos, principalmente nos EFs meandros tortuosos com deposição e meandros irregulares com deposição, devido à elevada sinuosidade, os sedimentos erodidos são depositados nas curvas dos meandros, e por isso, os ajustes se tornam mais frequentes.

Tabela 7 - Ajustes ocorridos no rio Sagrado nos anos de 1954 e 2012

<b>Estilo Fluvial</b>	<b>Tipo de Ajuste</b>	<b>Figuras 25 e 26</b>	<b>Terço (rio Sagrado)</b>
<b>Sinuoso sem deposição</b>	Retificação	25 (A, B, C, D, E, F)	Inferior
<b>Sinuoso com deposição</b>	Retificação	25 (G, H, I)	
<b>Meandros tortuosos com deposição</b>	Rotação da Curva	26 (A)	Médio
	Retilinação	26 (B)	
	Dimensão Lateral	26 (C)	
<b>Meandros irregulares com deposição</b>	Retilinação	26 (D)	
	Translação da curva	26 (E)	
	Dimensão Lateral	26 (F)	
<b>Canal irregular sem deposição</b>	Retilinação	26 (G, H, I)	Superior

Fonte: A autora

As mudanças antrópicas geradas em todo o terço inferior do rio Sagrado alteraram as formas meândricas em 1954 para retificadas em 1980, fato que modificou completamente a fisiografia fluvial (Figura 25).

A retilinação é o ajuste mais frequente encontrado (Figura 26 G, H e I), presente em três Efs diferentes, com destaque para o terço superior do rio Sagrado. A declividade acentuada proporciona o escoamento das águas com alta velocidade, e por isso há grande capacidade erosiva, perdendo sinuosidade e, conseqüentemente, em extensão neste segmento.

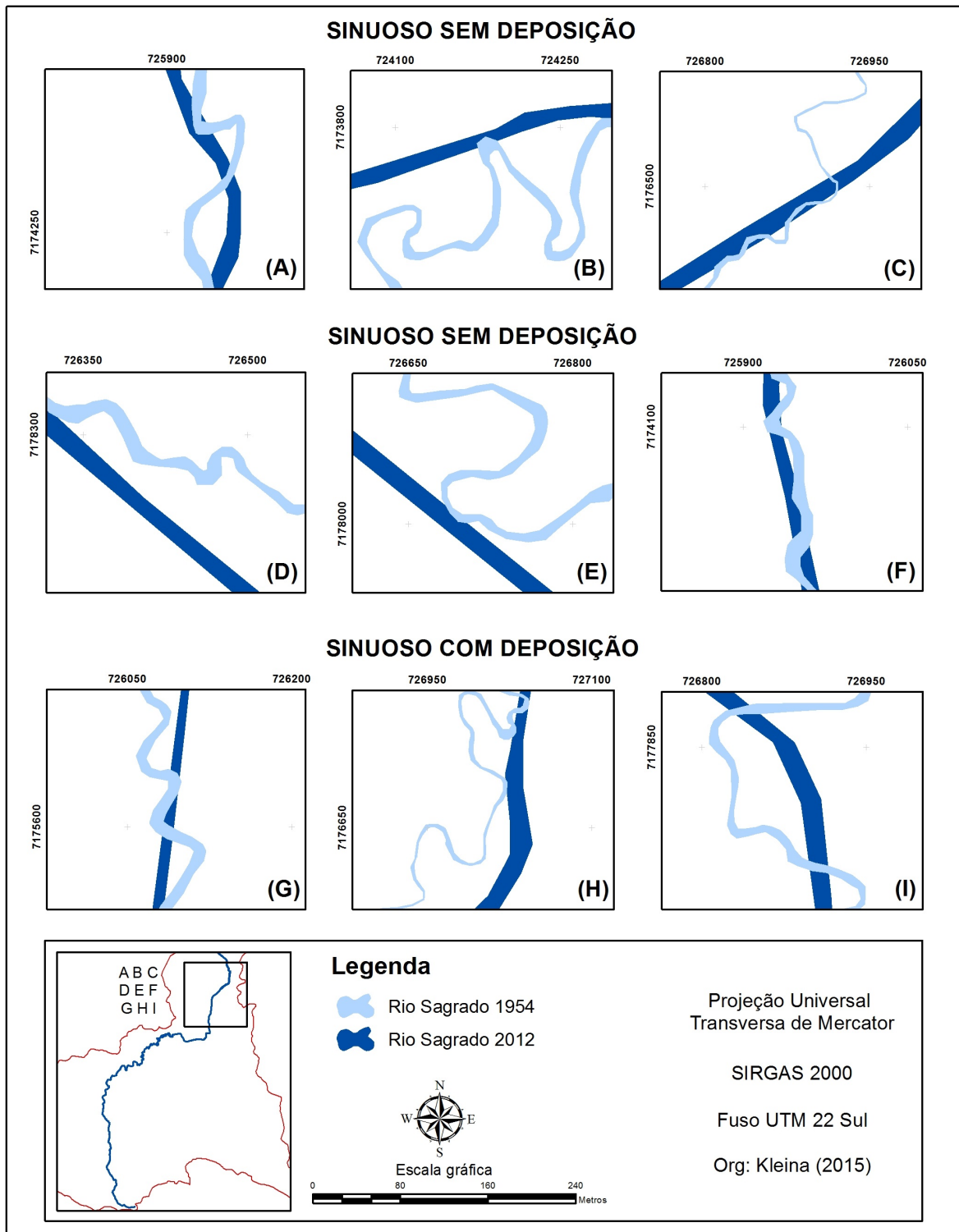


Figura 25 - Ajustes identificados nos Estilos Fluviais do rio Sagrado nos anos de 1954 e 2012, com destaque para mudanças antrópicas

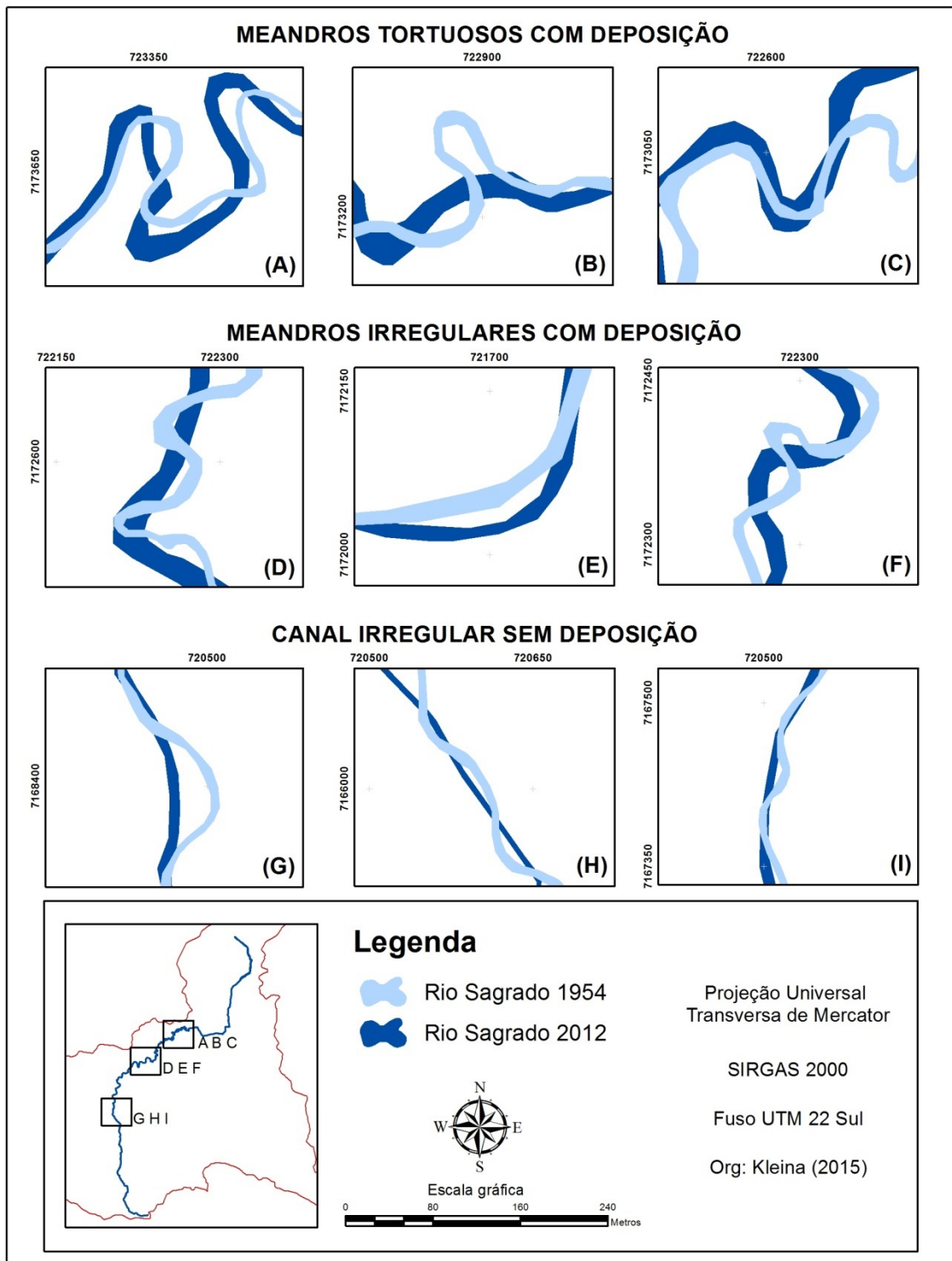


Figura 26 - Ajustes identificados nos Estilos Fluviais do rio Sagrado nos anos de 1954 e 2012

Observam-se também ajustamentos durante os anos de 1980, 1996 e 2006 nos EFs meandros tortuosos com deposição, meandros irregulares com deposição e canal irregular com deposição, representados pela Figura 27 e descritos pela Tabela 8. Nos EFs denominados sinuoso com deposição e sinuoso sem deposição

(anteriormente tratados) não há variações significativas, sendo portanto, desconsiderados neste período.

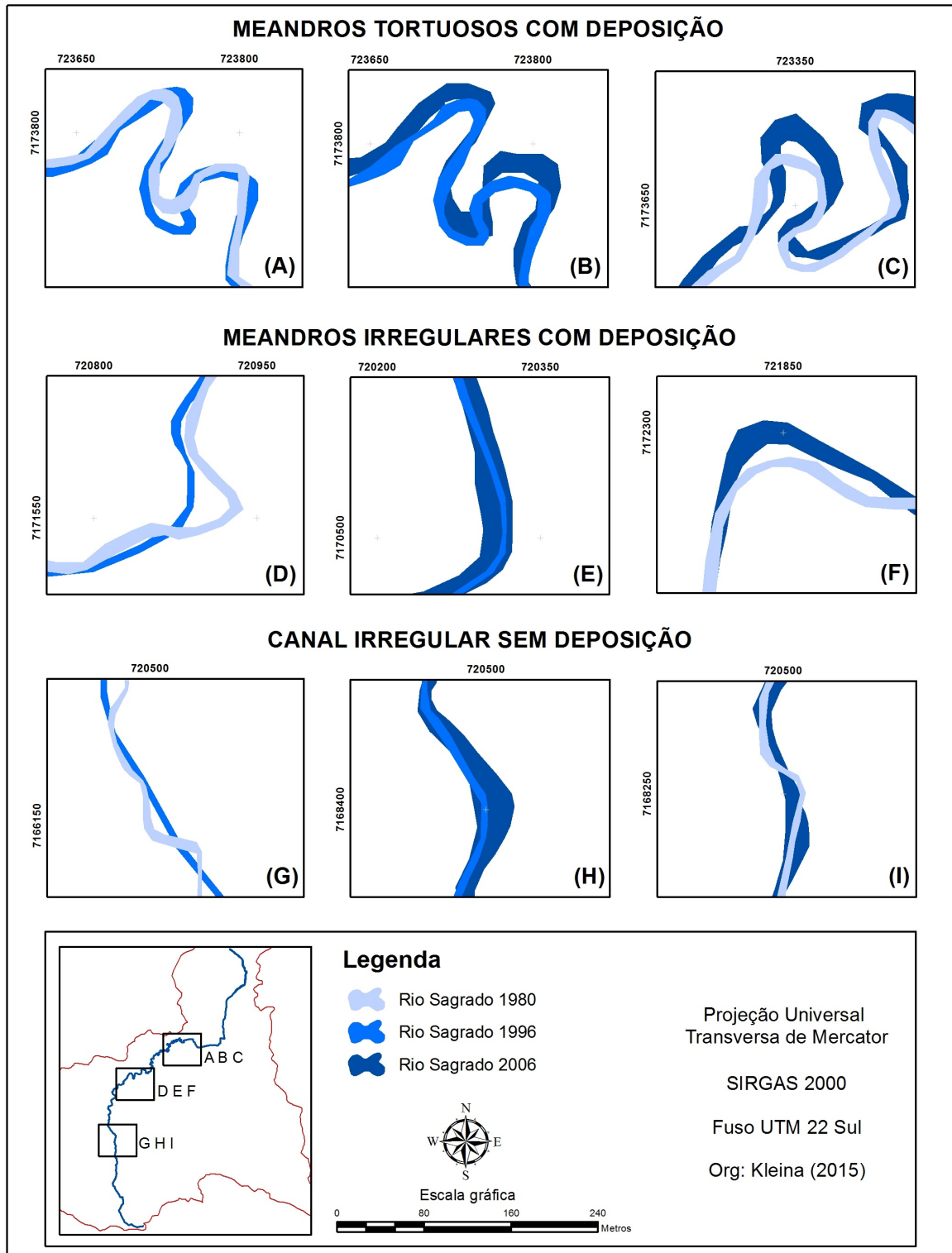


Figura 27 - Ajustes identificados nos Estilos Fluviais do rio Sagrado nos anos de 1980, 1996 e 2006

Tabela 8 - Ajustes ocorridos nos terços superior e médio no rio Sagrado nos anos de 1980, 1996 e 2006

<b>Estilo Fluvial</b>	<b>Tipo de Ajuste</b>	<b>Figura 27</b>	<b>Terço (rio Sagrado)</b>
<b>Meandros tortuosos com deposição</b>	Rotação da Curva	(A, B, C)	Médio
<b>Meandros irregulares com deposição</b>	Retilinação	(D)	
	Dimensão Lateral	(E)	
	Extensão da Curvatura	(F)	
<b>Canal irregular sem deposição</b>	Retilinação	(G)	Superior
	Dimensão Lateral	(H, I)	

Fonte: A autora

Além da retificação observada nos anos de 1954 e 2012, ocorre também no Estilo canal irregular sem deposição, com mudanças na dimensão lateral (acréscimo de largura), representada pela Figura 27 (H e I).

Ajustes como de rotação da curva são aqueles que mais se manifestam em drenagens meândricas, como por exemplo, no Estilo meandros tortuosos com deposição, de declividades medianas a baixas. Em drenagens de declividades acentuadas, predomina a erosão das margens, e conseqüentemente, a retificação.

O rio Sagrado está em processo de ajustamento, provocado pelos altos níveis de erosão, que puderam ser visualizados em trabalho de campo, realizado no ano de 2013.

### Rio Sambaqui

Segundo rio mais extenso encontrado na bacia (Figura 28), com aproximadamente quinze quilômetros de extensão, nasce na cota 980 metros e deságua em 10 metros do nível do mar. Representa grande contribuição na produção de sedimentos, visto que, assim como o rio Sagrado, apresenta alterações em sua forma, transformando toda a dinâmica de transporte e deposição dos sedimentos.

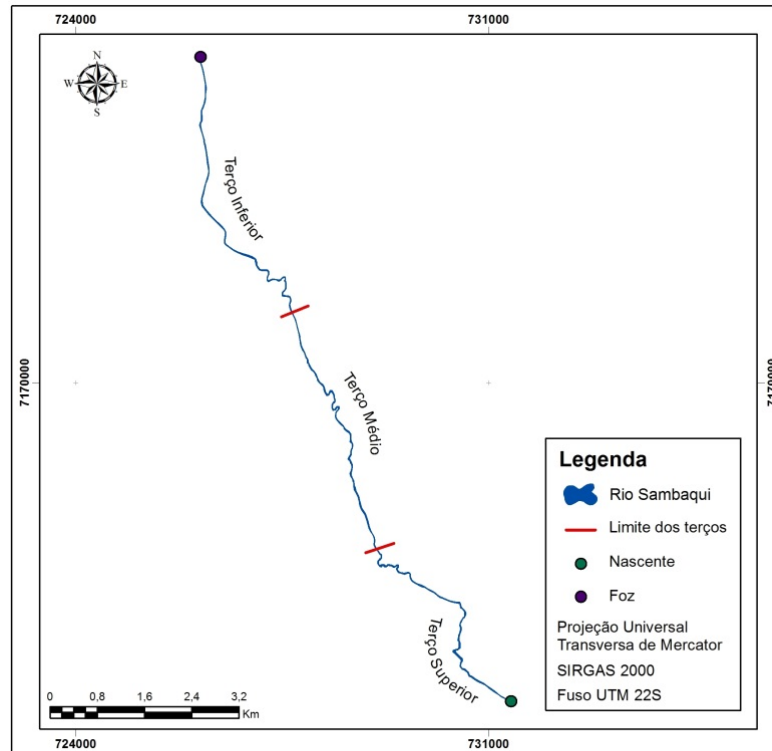


Figura 28 - Divisão dos terços do rio Sambaqui

O terço superior possui aproximadamente 4,2 km de extensão, e não apresenta feições fluviais de depósito, enquanto que o terço médio, com 5,9 e o terço inferior, com 4,9 (Figura 29) apresentam depósitos de ilhas e barras. Segundo o perfil longitudinal, o rio Sambaqui mostra-se mais equilibrado que o rio Sagrado, com uma ruptura de declive no terço superior e uma no terço médio. Sua planície também é reduzida comparada ao maior rio da bacia, com aproximadamente oito quilômetros de extensão.

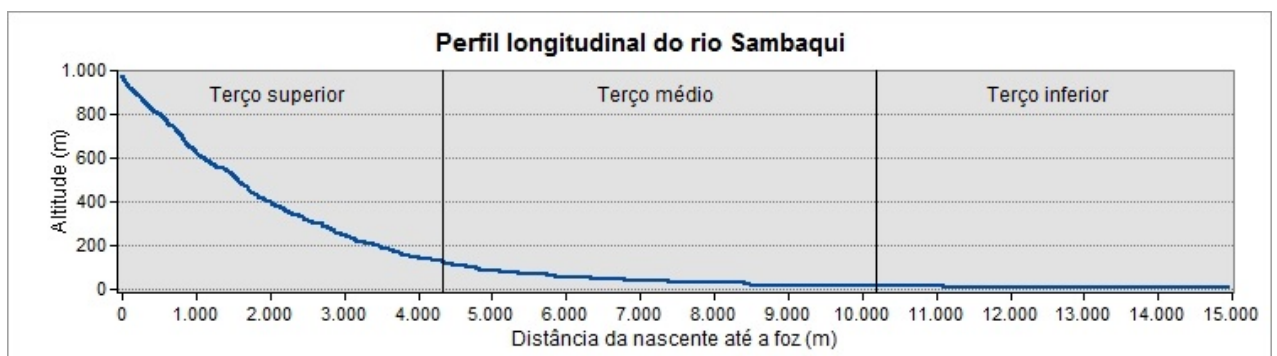


Figura 29 - Perfil longitudinal do rio Sambaqui dividido por terços



## Terço Superior

As alterações em sua morfologia são as menores entre os trechos estudados, curvas de sinuosidade suave são identificadas no último ano mapeado (Figura 30), criando lentamente novas formas na paisagem. Este aumento mesmo que sutil da sinuosidade é a responsável pela ampliação das larguras mínimas e máximas registradas (Tabela 9).

Tabela 9 - Larguras mínimas e máximas aproximadas do terço superior do rio Sambaqui nos anos analisados

Terço superior do rio Sambaqui			
Ano	Largura mínima (m)	Largura máxima (m)	Características do terço
1954	7,3	27,3	Vale confinado a parcialmente confinado; baixa sinuosidade; declividade muito alta a alta; ausência de feições fluviais de depósito e poucas intervenções antrópicas na APP
1980	9,3	23,4	
1996	8,1	21,8	
2006	9	26,5	
2012	10,1	29,5	

Fonte: A autora

Estes pontos de máximas e mínimas larguras não se situam próximos uns dos outros, portanto, não há relação direta entre o aumento da erosão com uma determinada localidade, exceto nos três últimos anos mapeados, na qual, as máximas são detectadas muito próximas entre si, o que indica que determinado local possui características mais suscetíveis a processos erosivos.

O acréscimo da largura, em quase três metros das mínimas e máximas entre 1954 e 2012, evidencia que este terço sofre mais erosão que o superior do rio Sagrado. Em relação às mudanças nas formas, apenas no ano de 2012 são apresentadas as alterações mais significativas, tornando possível classificá-la como drenagem de sinuosidade irregular, segundo Kellerhals *et al.*, (1976).

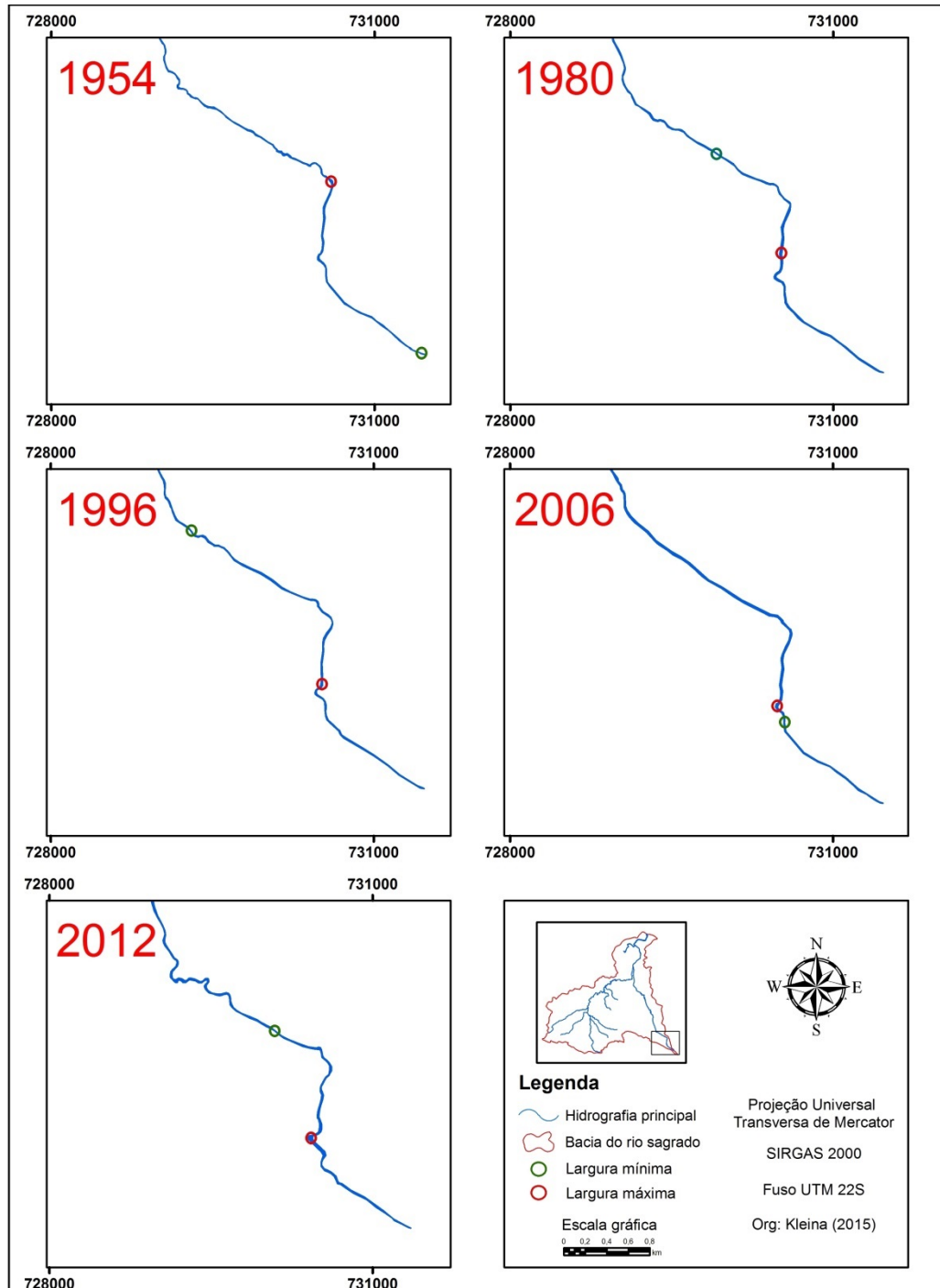


Figura 30 - Mudanças fluviais no terço superior do rio Sambaqui nos anos analisados

De acordo com o método aplicado dos EFs, a drenagem encontra-se encaixada e o vale classificado entre confinado a parcialmente confinado, com declividades das vertentes superiores a 47% até 30% (PAULA e NOWATZKI, 2009; e KLEINA, 2013). Estas altas declividades, atreladas a chuvas extremas foram as responsáveis pelos movimentos de massa na região da Serra do Mar durante o evento de março de 2011 (Figura 31). As fotografias correspondem a bacia do rio

Jacareí, totalmente afetada por movimentos de massa (Figura 31A) e corridas de lama, com transbordamento do canal fluvial, deslocando a lama e os detritos encosta abaixo (Figura 31B), alagando a planície de inundação, destruindo casas e lavouras (Figura 31C) além da ponte sobre o rio Jacareí (Figura 31D).

A bacia do rio Sagrado também foi afetada por este evento, com cicatrizes nas vertentes da porção sudeste da bacia, ao qual drena o rio Sambaqui. Os materiais, que variam de finos até matacões e troncos de árvores foram transportados por meio das drenagens, que em contato com as margens do rio provocaram aumento da velocidade e do fluxo das águas, acelerando os processos de erosão, com aumento médio de largura de aproximadamente 3 metros de 2006 para 2012.



Figura 31 - Fotografias do evento do dia 11 de março de 2011 na região da Serra do Mar  
Fonte: Hedeson S. Jornal Gazeta do Povo, 13/03/2011, retirada de Pinto *et al.*, (2012)

### Terço Médio

A partir do mapeamento dos EFs, classificou-se grande parte deste terço como de canal irregular, com presença de feições fluviais de depósito. As alterações

mais visíveis em relação à sinuosidade estão presentes em 2012, com o surgimento de alguns meandros (Figura 32).

As localizações das feições de deposição coincidem com os locais onde se apresentam as maiores larguras registradas, ou seja, nas curvas de meandros, na qual a margem externa erode e interna deposita, porém, o processo de erosão supera o de deposição, ocasionando aumento de largura do canal fluvial.

A Tabela 10 ressalta as larguras mínimas e máximas registradas nos anos analisados, com destaque para 2006 e 2012, localizadas em uma curva de meandro, que tendem a sofrer processos erosivos nas suas margens côncavas.

Tabela 10 - Larguras mínimas e máximas aproximadas do terço médio do rio Sambaqui nos anos analisados

<b>Terço médio do rio Sambaqui</b>			
<b>Ano</b>	<b>Largura mínima (m)</b>	<b>Largura máxima (m)</b>	<b>Características do terço</b>
<b>1954</b>	4,2	18,4	Vale não confinado; canal irregular; declividade moderada a muito baixa; presença de ilhas e barras; grandes intervenções antrópicas nas APP
<b>1980</b>	6,2	19,7	
<b>1996</b>	9,2	19,1	
<b>2006</b>	5,6	33,5	
<b>2012</b>	11,1	32,9	

Fonte: A autora

De acordo com a Tabela, a dimensão lateral do terço sofreu aumento progressivo, com expansão de sete metros de largura para as mínimas registradas de 1954 para 2012 e de quatorze metros para as máximas, classificando o segmento como áreas com concentrações de erosão. O aumento considerável da mínima em 2012 provavelmente está relacionado com o evento ocorrido em 2011, onde os pontos mais estreitos foram alargados com o transporte dos materiais grosseiros pelo canal fluvial.

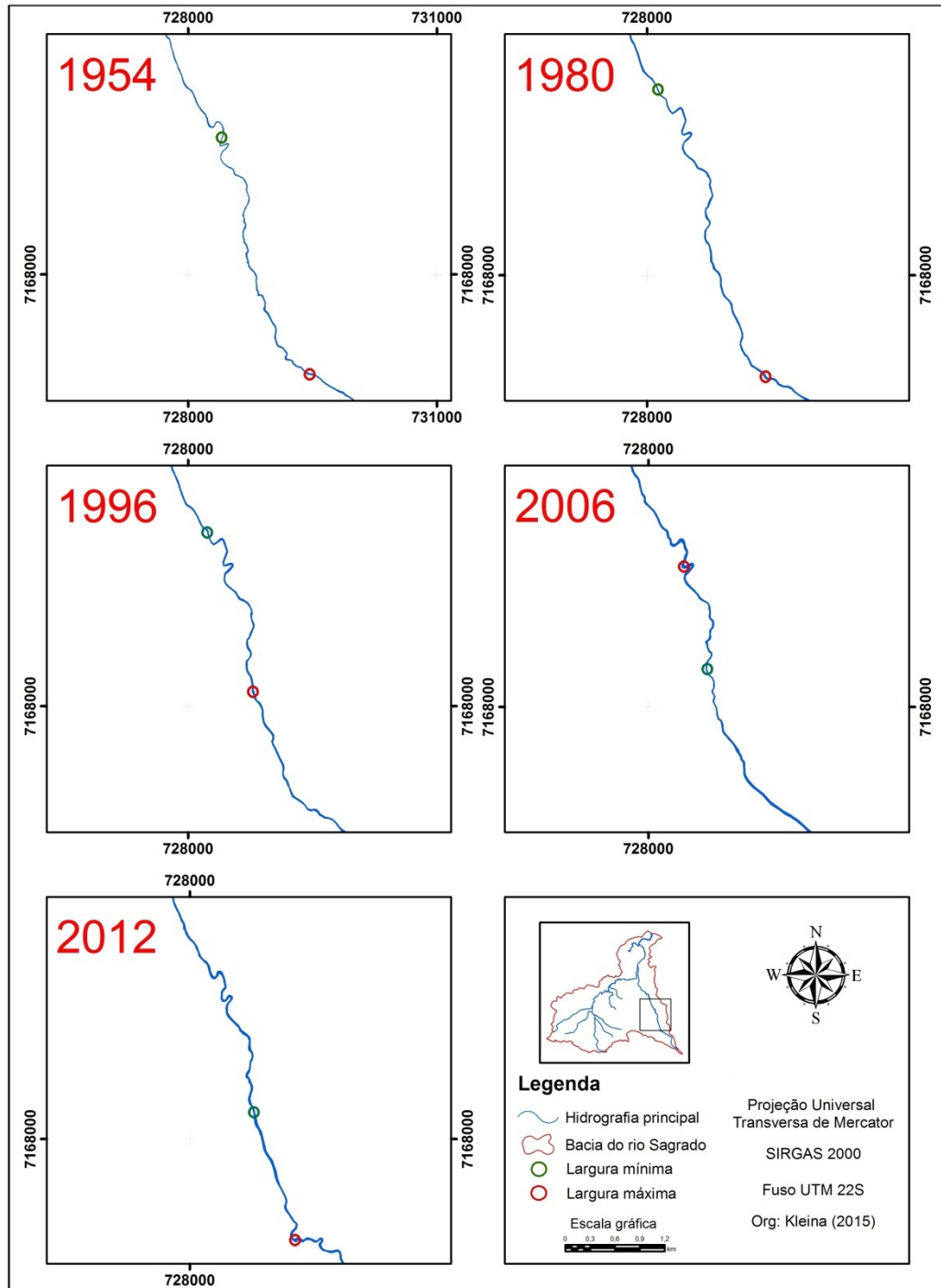


Figura 32 - Mudanças fluviais no terço médio do rio Sambaqui nos anos analisados

### Terço Inferior

Assim como o rio Sagrado, o rio Sambaqui também passou por interferências antrópicas de 1954 para 1980, que alteraram as formas meândricas para retificadas, representadas pela Figura 33.

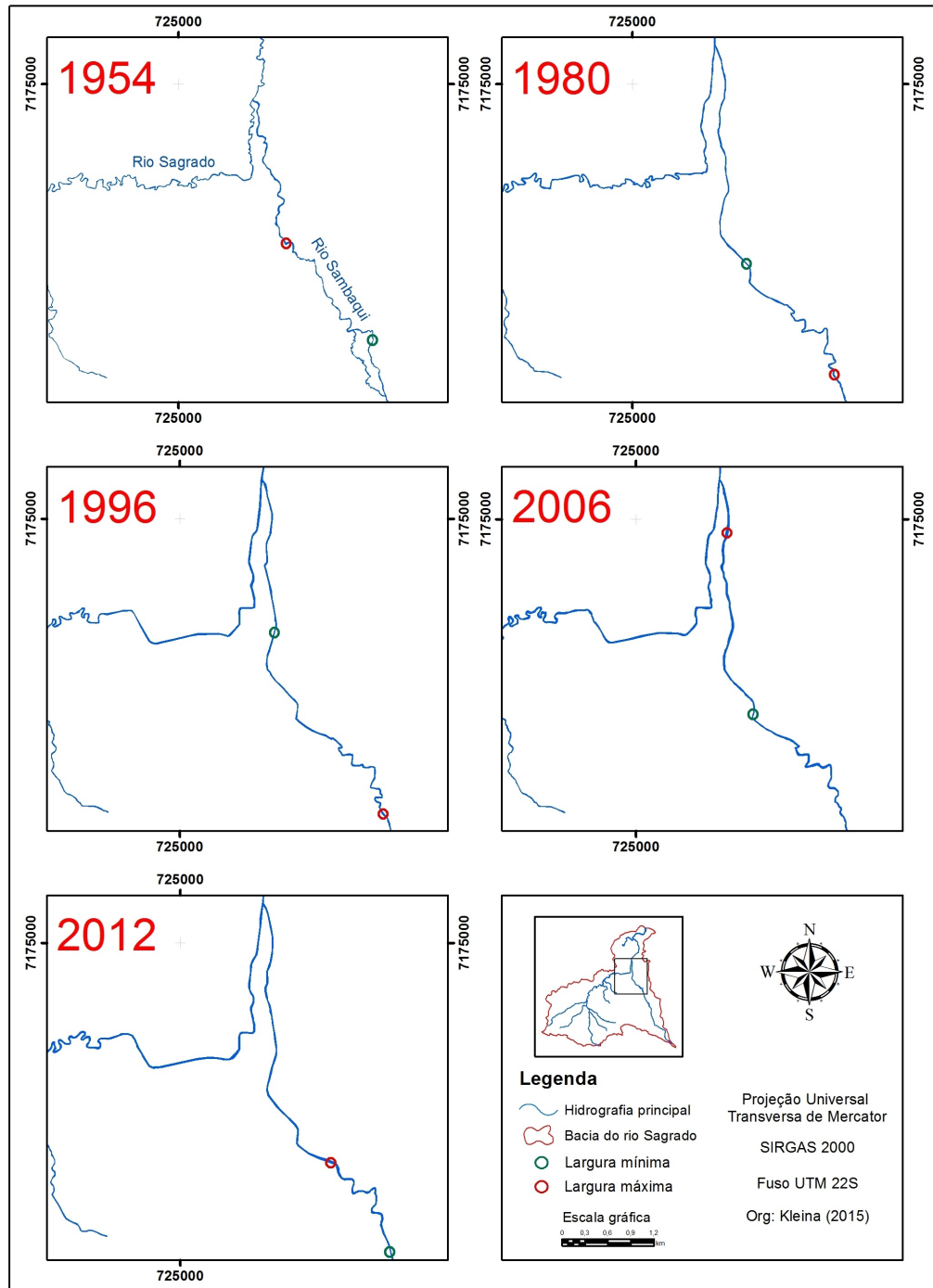


Figura 33 - Mudanças fluviais no terço inferior do rio Sambaqui nos anos analisados

Outra alteração significativa se sucedeu neste afluente, associada à foz, onde a confluência do rio Sambaqui com o Sagrado, no ano de 1954, se localizava a 70 metros ao sul da principal rodovia. Atualmente encontra-se ao norte desta antiga rodovia, a 735 metros em linha reta e 746 metros acompanhando o fluxo de água, e ainda a mais de 1200 metros da atual rodovia BR-277, ao sul.

A hipótese da alteração da foz é por se encontrar muito próxima à antiga rodovia, hoje atual PR-408, que em períodos de precipitação elevada, assim como

são verificadas na região da Serra do Mar, tenderiam a maior probabilidade de ocorrências de inundações na via, que por consequência, prejudicariam na circulação e fluxo de veículos, causando prejuízos financeiros, em vista que se tratava da principal ligação do estado com o porto de Paranaguá.

Com a criação de uma nova rodovia (BR-277) afastada da confluência dos dois rios, e a retificação destes, o provável risco de inundação foi reduzido consideravelmente, contudo esta obra trouxe mudanças significativas na paisagem.

A retificação é uma solução temporária que visou melhorar alguns problemas, mas a longo prazo acabou por prejudicar e trazer novos distúrbios, devido ao aumento na produção de sedimentos. Para compreender este processo, mediram-se os comprimentos do terço inferior do rio Sambaqui nos anos estudados, sendo apresentados pela Tabela 11.

Tabela 11 - Comprimento aproximado do terço inferior do rio Sambaqui nos anos analisados

Ano	Rio Sambaqui				
	1954	1980	1996	2006	2012
Comprimento (km)	3,88	4,32	4,34	4,32	4,28

Fonte: A autora

Assim como no rio Sagrado, modificações antrópicas transformaram o leito fluvial do rio Sambaqui, de meandrante para retificado, que por consequência reduziram sua extensão. Entretanto, nota-se que aumentou de 1954 a 1980, fato este explicado pelo reposicionamento de sua foz, deslocada ao norte da antiga confluência. A partir de 1980, manteve-se constante, revelando mínimas variações de sinuosidade até o ano de 2012.

Devido a pequena sinuosidade do terço superior e médio, e ainda a retificação do inferior do rio Sambaqui, os sedimentos em sua grande maioria, não permanecem neste afluente em forma de feições fluviais, o que contribuiu ainda mais com o processo de assoreamento da baía de Antonina. Diferentemente do rio Sambaqui, o rio Sagrado é mais meandrante, e por isto apresenta grande quantidade de depósitos, que tendem a aumentar de tamanho, assim como se formarem novas feições fluviais (KLEINA, *et al.*, 2014).

Em relação às larguras mínimas e máximas registradas (Tabela 12), retratam que as maiores variações se sucederam entre 1980 e 2006. Com as obras de retificação a largura foi reduzida de 1954 para 1980 no terço inferior do rio

Sambaqui, todavia, após sua conclusão se intensificaram os processos erosivos, alterando as condições de velocidade do fluxo d'água, que por consequência gerou a expansão de mais de dez metros de largura entre uma margem fluvial a outra (1996 para 2006/2012).

Tabela 12 - Larguras mínimas e máximas aproximadas do terço inferior do rio Sambaqui nos anos analisados

<b>Terço inferior do rio Sambaqui</b>			
<b>Ano</b>	<b>Largura mínima (m)</b>	<b>Largura máxima (m)</b>	<b>Características do terço</b>
<b>1954</b>	5,3	28,3	Vale não confinado; forma retificada; declividade muito baixa; presença de ilhas e barras e altas intervenções antrópicas na APP
<b>1980</b>	4,2	16,5	
<b>1996</b>	7,4	18	
<b>2006</b>	7	30,3	
<b>2012</b>	8	28,5	

Fonte: A autora

Assim como o rio Sagrado, o Sambaqui também se ajusta à elevada carga sedimentar que lhe é imposta. De acordo com Paula *et al.*, (2010) as vertentes que abrangem a área de drenagem deste rio possuem suscetibilidade muito alta a produção de sedimentos, o que evidencia a grande quantidade de ajustes fluviais encontrados.

As Figuras 34 (retificação) e 35 e Tabela 13 apresentam os ajustamentos identificados nos anos de 1954 e 2012. Os Estilos Fluviais que compreendem o mapeamento são os meandros irregulares com deposição, canal irregular com deposição, canal irregular sem deposição, sinuoso sem deposição e sinuoso com deposição, com nomenclaturas semelhantes àquelas identificadas no rio Sagrado.

Os Estilos Fluviais do terço superior (sinuoso de vale confinado e sinuoso de vale parcialmente confinado) não apresentaram mudanças significativas a ponto de sofrerem ajustamentos, mantendo suas características ao longo dos anos.



Tabela 13 - Ajustes ocorridos no rio Sambaqui nos anos de 1954 e 2012

<b>Estilo Fluvial</b>	<b>Tipo de Ajuste</b>	<b>Figura 34 e 35</b>	<b>Terço (rio Sambaqui)</b>
<b>Sinuoso sem deposição</b>	Retificação	34 (A, B, C)	Inferior
<b>Sinuoso com deposição</b>	Retificação	34 (D, E, F)	
<b>Meandros irregulares com deposição</b>	Extensão da Curvatura	35 (A)	Médio
	Translação da Curva	35 (B)	
	Retilinação	35 (C)	
<b>Canal irregular com deposição</b>	Translação da Curva	35 (D, E)	Médio
	Dimensão Lateral	35 (F)	
<b>Canal irregular sem deposição</b>	Retilinação	35 (G, I)	Superior e Médio
	Dimensão Lateral	55 (H)	

Fonte: A autora

Os principais ajustes estão associados às alterações antrópicas (retificação) no terço inferior, com mudanças no perfil do canal, interferindo em todo o sistema fluvial da bacia. Este tipo de intervenção, realizada em várias bacias hidrográficas do mundo, tem por objetivo facilitar ou propiciar a navegação fluvial, contribuir para eliminar focos de possíveis doenças ou então controlar enchentes (ASSUMPÇÃO e MARÇAL, 2012), porém traz consequências, como é o caso da bacia do rio Sagrado, com aumento da largura do canal, erodindo as APP's de rio e, conseqüentemente, ampliando as taxas de produção de sedimentos.

Os deslocamentos nas curvas dos meandros presentes na Figura 35, como a extensão da curvatura (A) e translação da curva (D e E), demonstram a evolução das formas ao longo dos anos. Na retilinação (C, G e I) a principal mudança se refere a ampliação da largura, presente em dois Estilos Fluviais, sendo mais frequentes no canal irregular sem deposição.

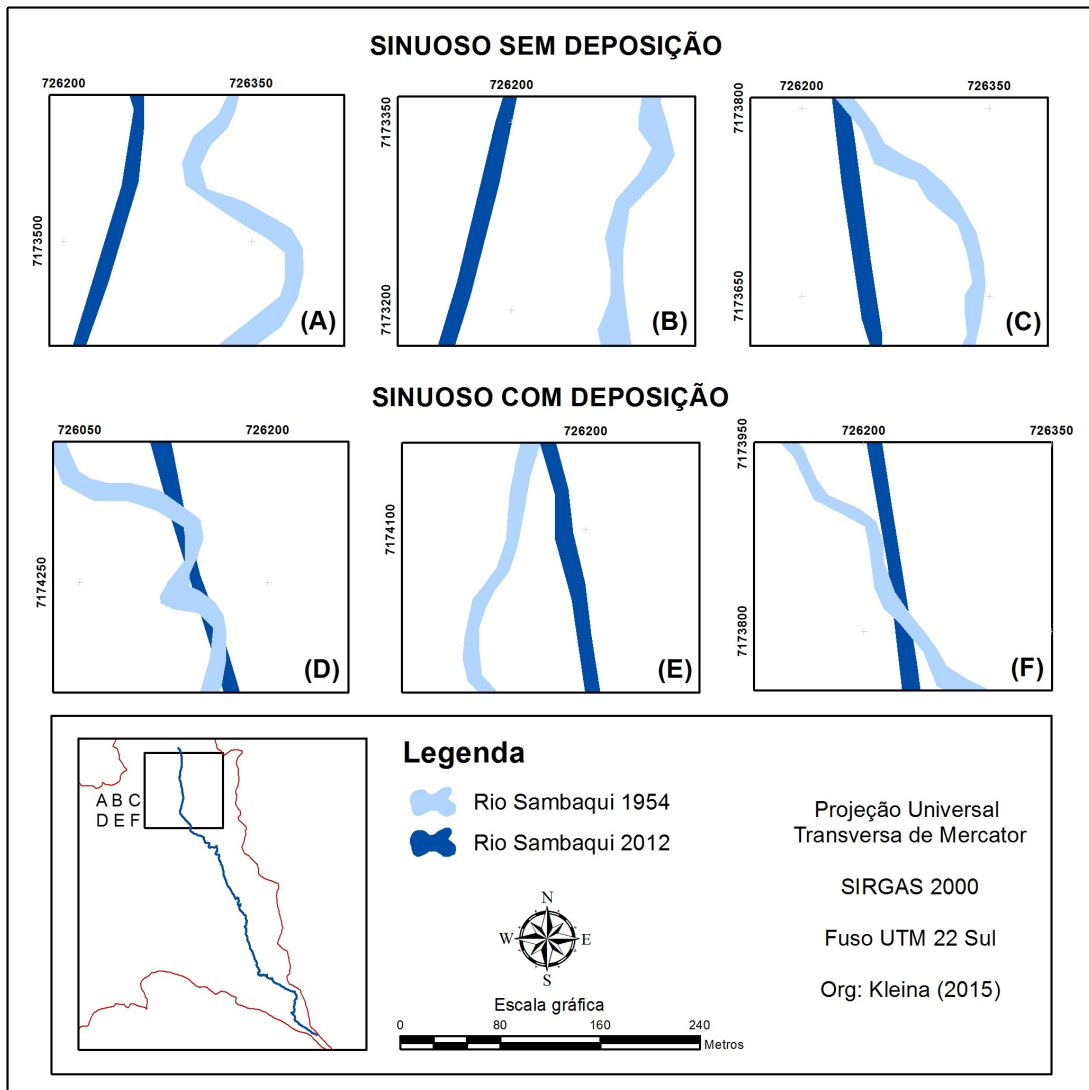


Figura 34 - Ajustes identificados nos Estilos Fluviais do rio Sambaqui nos anos de 1954 e 2012, com destaque para as mudanças antrópicas

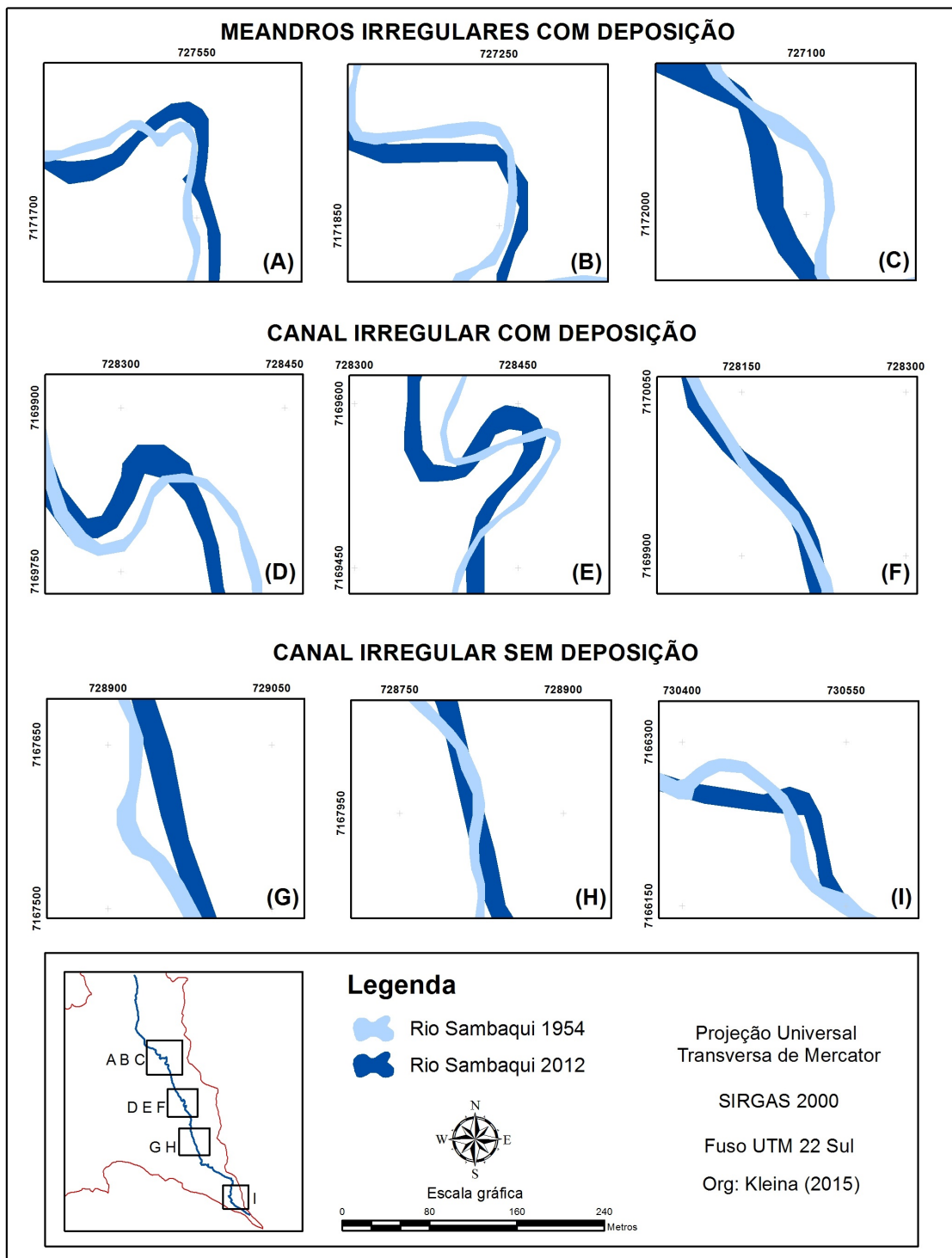


Figura 35 - Ajustes identificados nos Estilos Fluviais do rio Sambaqui nos anos de 1954 e 2012

A dimensão lateral evidencia o aumento da largura do canal fluvial, presente em três EFs, em 1980, 1996 e 2006, com destaque para os meandros irregulares com deposição e o canal irregular sem deposição, como destaca a Figura 36 e Tabela 14. Assim como no terço inferior do rio Sagrado, não ocorreram ajustes nos

Estilos Fluviais sinuoso com deposição e sinuoso sem deposição, por isso não são representados neste trabalho.

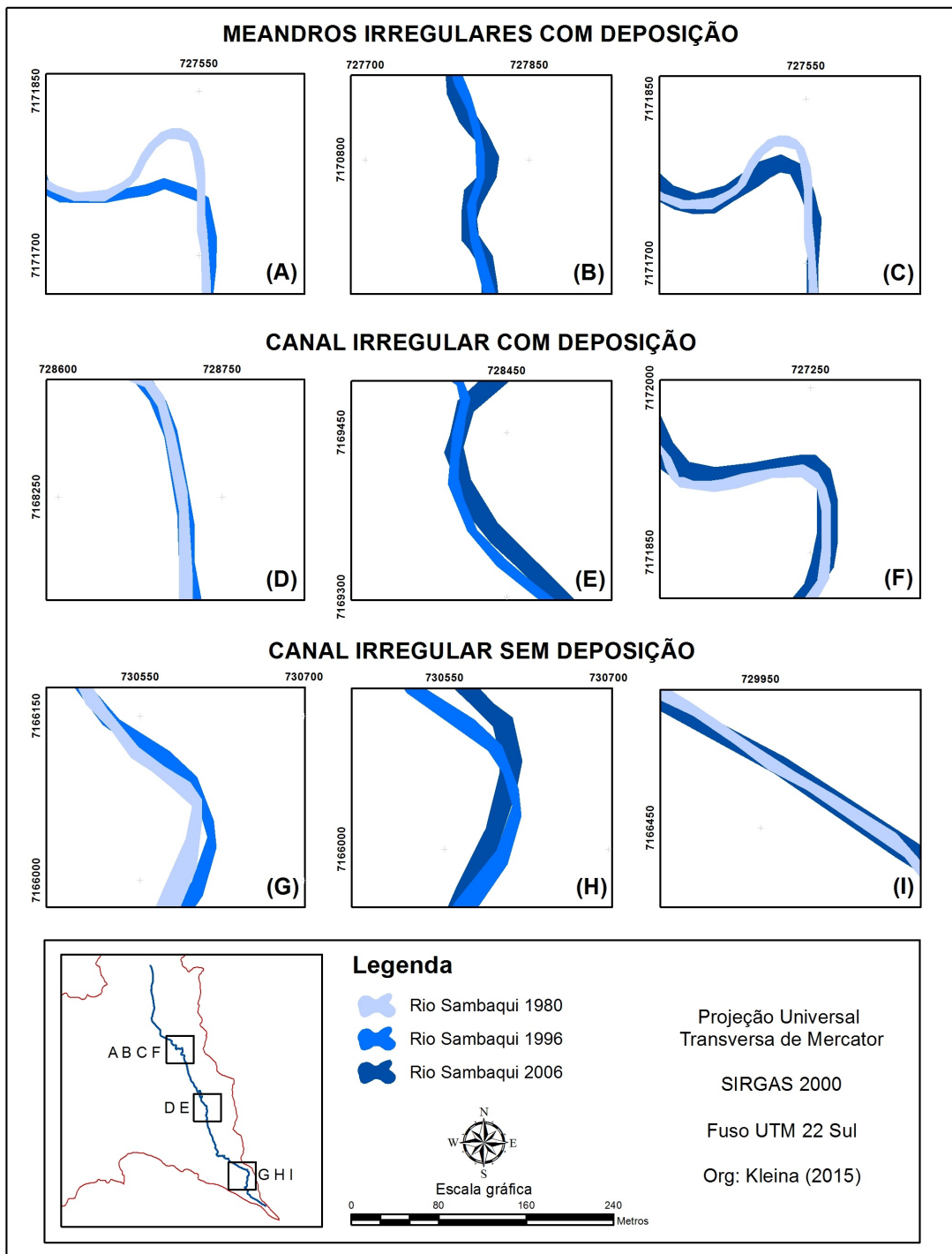


Figura 36 - Ajustes identificados nos Estilos Fluviais do rio Sambaqui nos anos de 1980, 1996 e 2006

Tabela 14 - Ajustes ocorridos nos terços superior e médio no rio Sambaqui nos anos de 1980, 1996 e 2006

<b>Estilo Fluvial</b>	<b>Tipo de Ajuste</b>	<b>Figura 36</b>	<b>Terço (rio Sambaqui)</b>
<b>Meandros irregulares com deposição</b>	Retilinearização	(A)	Médio
	Dimensão Lateral	(B, C)	
<b>Canal irregular com deposição</b>	Dimensão Lateral	(D, E)	
	Extensão da Curvatura	(F)	
<b>Canal irregular sem deposição</b>	Extensão da Curvatura	(G)	Superior e Médio
	Translação da Curva	(H)	
	Dimensão Lateral	(I)	

Fonte: A autora

Ao comparar os ajustes mapeados que ocorreram em 1954 e 2012 com aqueles nos outros anos abordados (1980, 1996 e 2006), nota-se que o rio Sambaqui é muito dinâmico, apresentando tipos de ajustamentos diferentes entre os dois períodos analisados.

#### Rio dos Neves

Localizado em área de planície, é o rio mais largo da bacia, sua declividade é muito baixa (menor que 5%), e os sedimentos em grande parte, são transportados em suspensão até a baía de Antonina, contudo possui a presença de barras laterais arenosas, sendo grande parte destas instáveis, sem cobertura vegetal.

Essas extensas barras podem ser vistas nas fotografias aéreas e imagens de satélite, com menores proporções em 1954 e maiores em 2012, e demonstram que, apesar de muitos dos sedimentos transportados contribuírem com o assoreamento na baía, já descrito aqui, grande parte ainda permanece na bacia, depositado na forma de feições fluviais. Vale ressaltar que toda a extensão deste rio sofre influência da maré, responsável pelo transporte de muitos dos sedimentos em suspensão, gerando acréscimos progressivos nos tamanhos dessas barras existentes.

Contudo, os aumentos das larguras mínimas e máximas (Tabela 15 e Figura 37) indicam que predominam os processos de erosão sobre a deposição. Observe-se que tanto as mínimas (ponto A), quanto as máximas (ponto B) se encontram no mesmo local nos anos abordados, exceto para a mínima no ano de 1996, fato que reforça a ideia de instabilidade da bacia (KLEINA *et al.*, 2014), visto que não apenas

neste rio, mas também no Sagrado e Sambaqui ocorrem acréscimos em suas larguras.

Tabela 15 - Larguras mínimas e máximas aproximadas do rio dos Neves nos anos analisados

<b>Rio dos Neves</b>			
<b>Ano</b>	<b>Largura mínima (m)</b>	<b>Largura máxima (m)</b>	<b>Características do rio</b>
<b>1954</b>	8,9	122,6	Vale não confinado, canal irregular sem deposição; declividade muito baixa; presença de extensas barras arenosas e a APP encontra-se conservada
<b>1980</b>	11,9	115,6	
<b>1996</b>	5,9	124,2	
<b>2006</b>	16,4	127,9	
<b>2012</b>	15,2	137,1	

Fonte: A autora

Enquanto medidas mitigadoras não forem tomadas para conter o avanço da antropização em áreas legalmente protegidas, não apenas em APP's, mas também no avanço de atividades agropecuárias nos sopés da Serra, os problemas de erosão e, conseqüentemente, transporte e deposição acelerados de sedimentos persistirão, causando prejuízos ambientais e econômicos, como por exemplo, nas dragagens realizadas na baía de Antonina.

Apenas duas formas de ajustes foram reconhecidas nesta drenagem em 1954 e 2012, apontadas pela Tabela 16 e Figura 38, na qual o Estilo Fluvial correspondente é meandros irregulares com deposição.

Tabela 16 - Ajustes ocorridos no rio dos Neves nos anos de 1954 e 2012

<b>Estilo Fluvial</b>	<b>Tipo de Ajuste</b>	<b>Figura 38</b>
<b>Meandros irregulares com deposição</b>	Dimensão Lateral	(A, C, E)
	Extensão da Curvatura	(B, D, F)

Fonte: A autora

A Área de Preservação Permanente no entorno dessa drenagem está preservada (NOWATZKI, 2010), contudo, a expansão do canal fluvial evidencia que a erosão continua a agir, mesmo em locais de baixa sinuosidade e declividade.

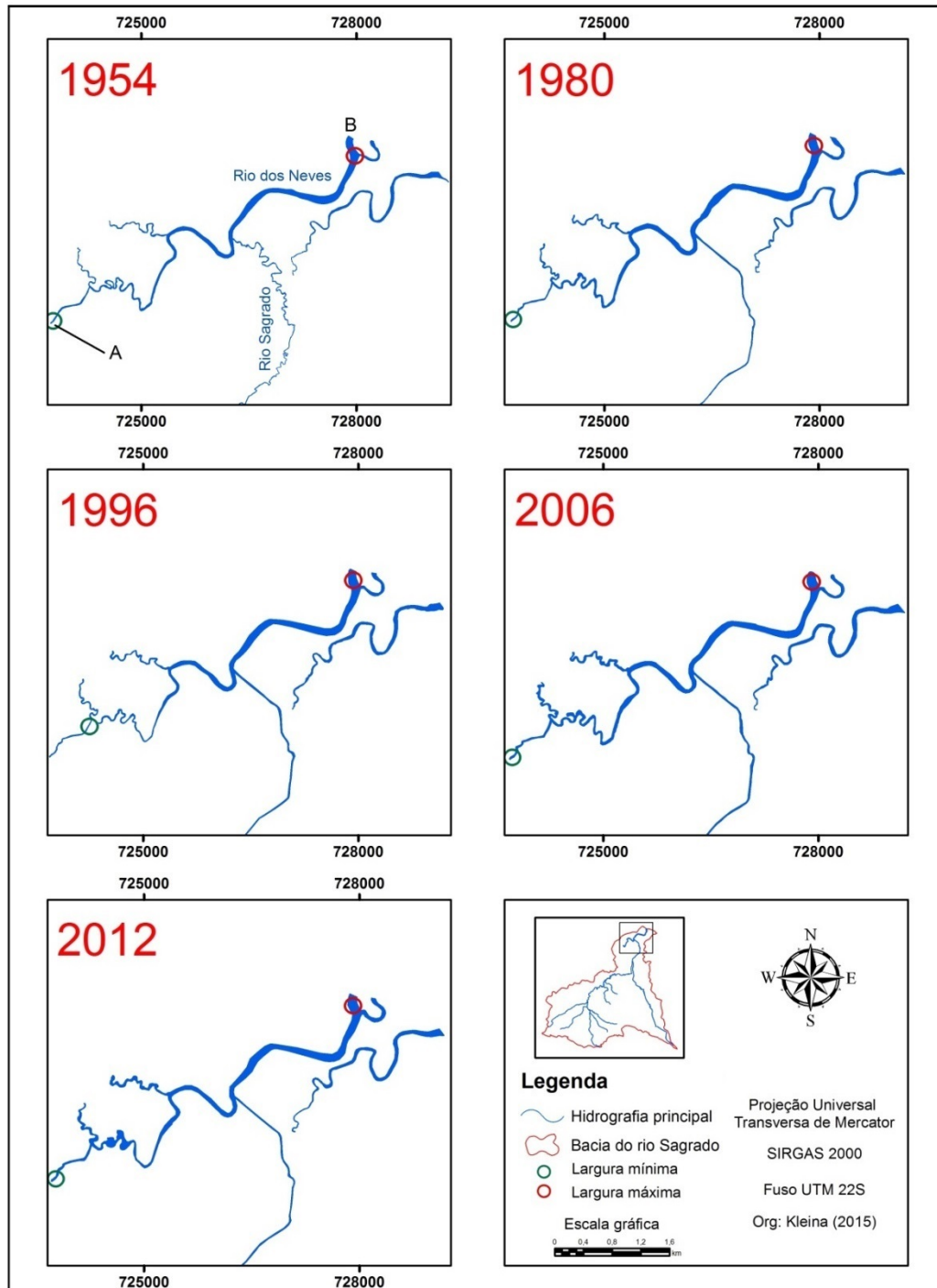


Figura 37 - Mudanças fluviais no rio dos Neves nos anos analisados

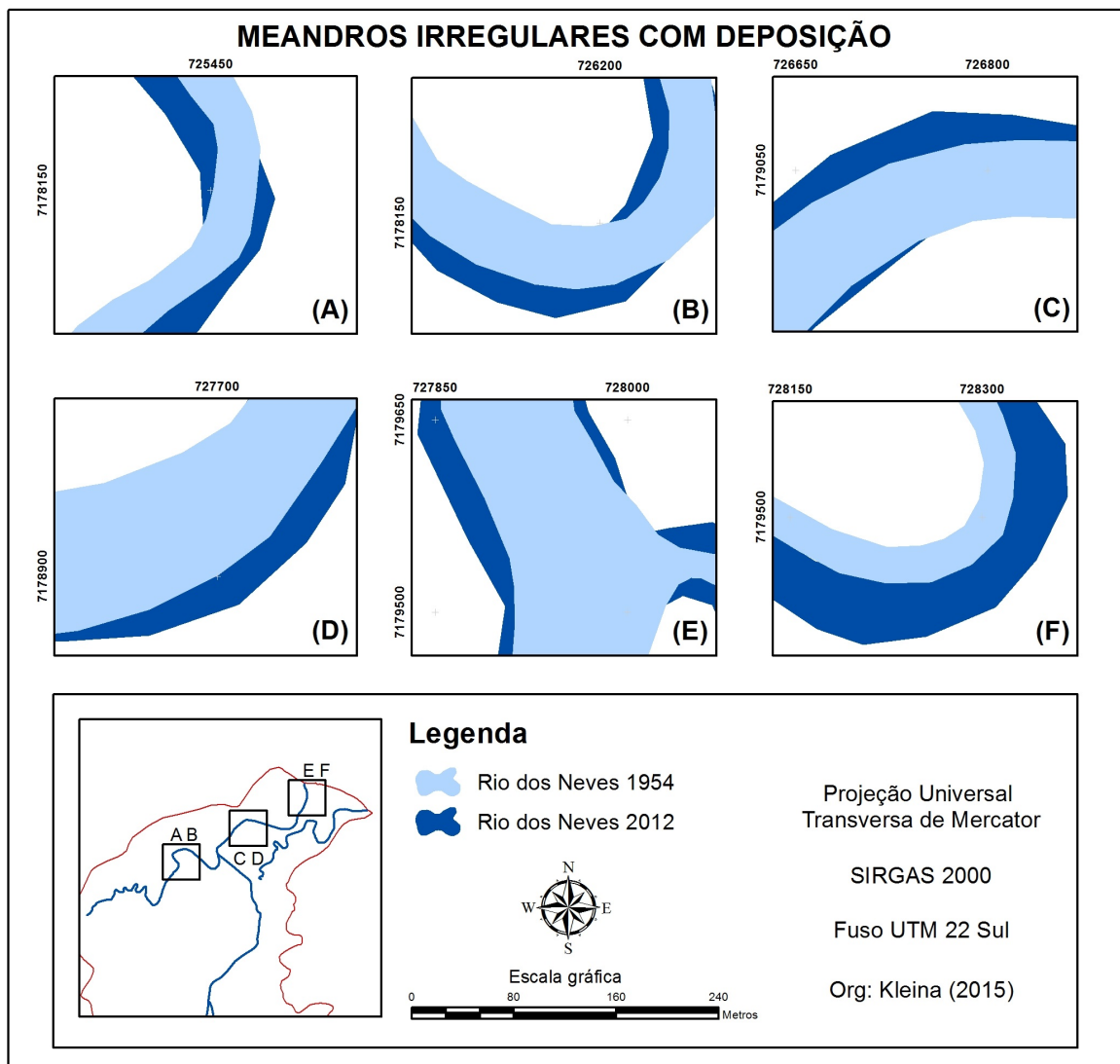


Figura 38 - Ajustes identificados no rio dos Neves nos anos de 1954 e 2012

A dinâmica água e sedimentos em trechos meândricos proporcionou a variação na extensão da curvatura em 1954 e 2012, quando os meandros se deslocam lateralmente, mas não há acréscimo de largura, ou seja, a erosão é proporcional à deposição, removendo os sedimentos inconsolidados das suas margens côncavas e depositando nas margens convexas.

Nos anos de 1980, 1996 e 2006, os ajustes mais frequentes são encontrados em segmentos de pouca sinuosidade, e estão relacionados à mudança na largura, com acréscimos de suas dimensões, evidenciando maior erosão do que deposição.

As mudanças provocadas nos anos de 1954 e 2012 são bastante evidentes, indicando que está se ajustando às condições de instabilidade fluvial da bacia (KLEINA *et al.*, 2014). As Figuras 39 e 40 retratam o tipo de ajustamento mais comum nestes anos, não com o objetivo de comparação, mas para evidenciar qual a



mudança mais frequente durante os anos abordados. Em 1954 e 2012 predominaram as retificações, com 11 casos identificados, alguns em áreas declivosas, contudo a grande maioria em declividades moderadas a baixas, fato não muito comum em rios meândricos, que tendem a evoluir gerando maiores sinuosidades. Nos anos de 1980, 1996 e 2006, o mais frequente é a dimensão lateral, com aumento da largura dos canais fluviais, o que comprova a acelerada produção de sedimentos pela bacia (PAULA, 2010). As mudanças antrópicas (retificações) não foram contabilizadas, devido a todo o terço inferior do rio Sagrado e Sambaqui ter sofrido este tipo de ajuste.

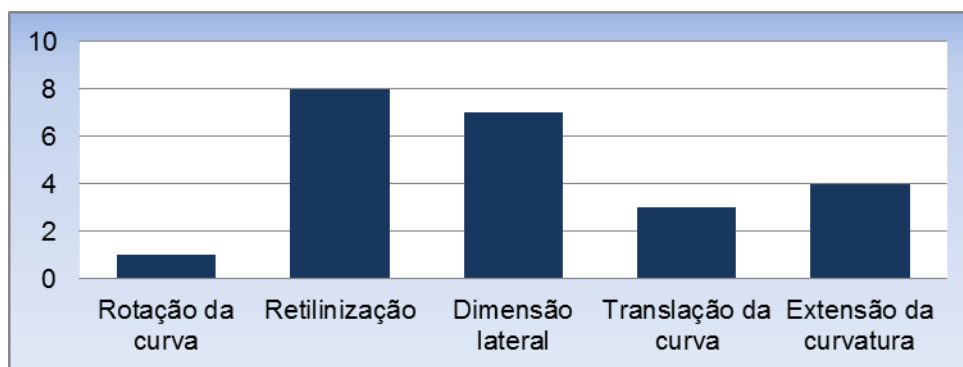


Figura 39 - Quantificação dos tipos de ajustes fluviais identificados na bacia do rio Sagrado nos anos de 1954 e 2012  
Fonte: A autora

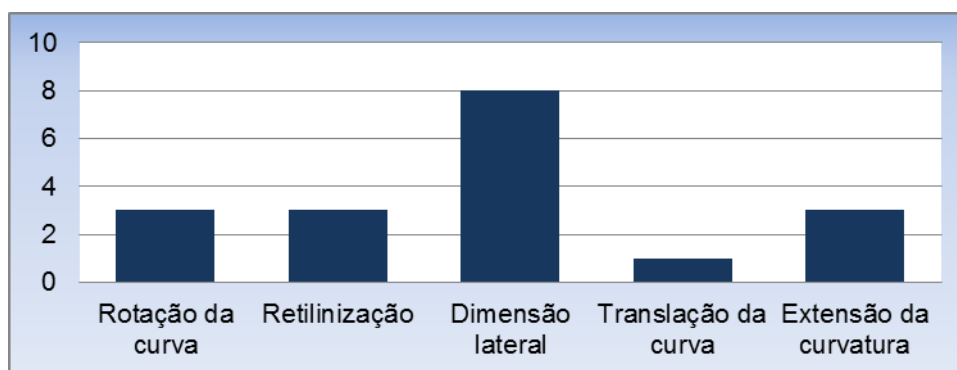


Figura 40 - Quantificação dos tipos de ajustes fluviais identificados na bacia do rio Sagrado nos anos de 1980, 1996 e 2006  
Fonte: A autora

Estudos geomorfológicos demonstram que as alterações antrópicas em cursos d'água provocam a aceleração dos processos (erosão e deposição) atuantes, modificando as formas desenvolvidas naturalmente por milhares de anos. Mudanças no uso do solo e nas APP's, assim como ocorrem na bacia do rio Sagrado, indicam que os ajustes continuarão a evoluir em elevada dinamicidade.

O estágio de equilíbrio da drenagem e da bacia pode ser classificado como de degradação, ou seja, o processo de retroalimentação é positivo (degradação), ocorrendo impactos em uma seção do canal e se propagando em outros setores, como é o caso das erosões nas vertentes e terços superiores das drenagens e deposição nos terços inferiores, formando planícies de inundação e feições de depósito.

Outra possibilidade de analisar ajustes em drenagens refere-se às mudanças em seus Estilos Fluviais (SOUZA, 2014), ou seja, nas características adquiridas pelos segmentos ao longo do tempo. Há a possibilidade de alteração de Estilo nos denominados retificados com e sem deposição, como se pode observar em Kleina *et al.*, (2014), dada pela facilidade de deslocamento dos sedimentos, que formam as feições fluviais (ilhas e barras) nos terços inferiores dos rios Sagrado e Sambaqui.

#### 4.3 CONCENTRAÇÃO DE EROSÃO

Os trechos que mais sofreram com o processo de erosão correspondem àqueles com acréscimos de cinco metros ou mais em suas larguras, baseados nos ajustes fluviais e características da bacia (Figura 41). Os afluentes Canhemborá, Ribeirão Fundo e Pitinga obtiveram em média um metro de acréscimo, enquanto que no terço médio do rio Sagrado, oito metros e inferior de oito a dez, chegando a quinze metros em segmentos pontuais no rio dos Neves.

Os terços superiores dos rios Sagrado e Sambaqui são erosivos, por apresentarem em média três a quatro metros de acréscimo em sua largura, contudo não foram classificados dentro das áreas com concentração de erosão por não ultrapassarem os cinco metros. Apesar da alta declividade, as margens rochosas impedem que os processos erosivos ocorram aceleradamente, ao contrário da maioria dos trechos fluviais encontrados na bacia hidrográfica do rio Sagrado modelados sobre a planície de inundação, em sua maioria sedimentos inconsolidados. A área com maior concentração de erosão encontra-se na foz da bacia, com valores acima dos quinze metros de expansão de uma margem a outra. Vale ressaltar que possui a influência da maré nesta porção da bacia, movimentando grande quantidade de sedimentos, com erosão e transporte dos sedimentos.

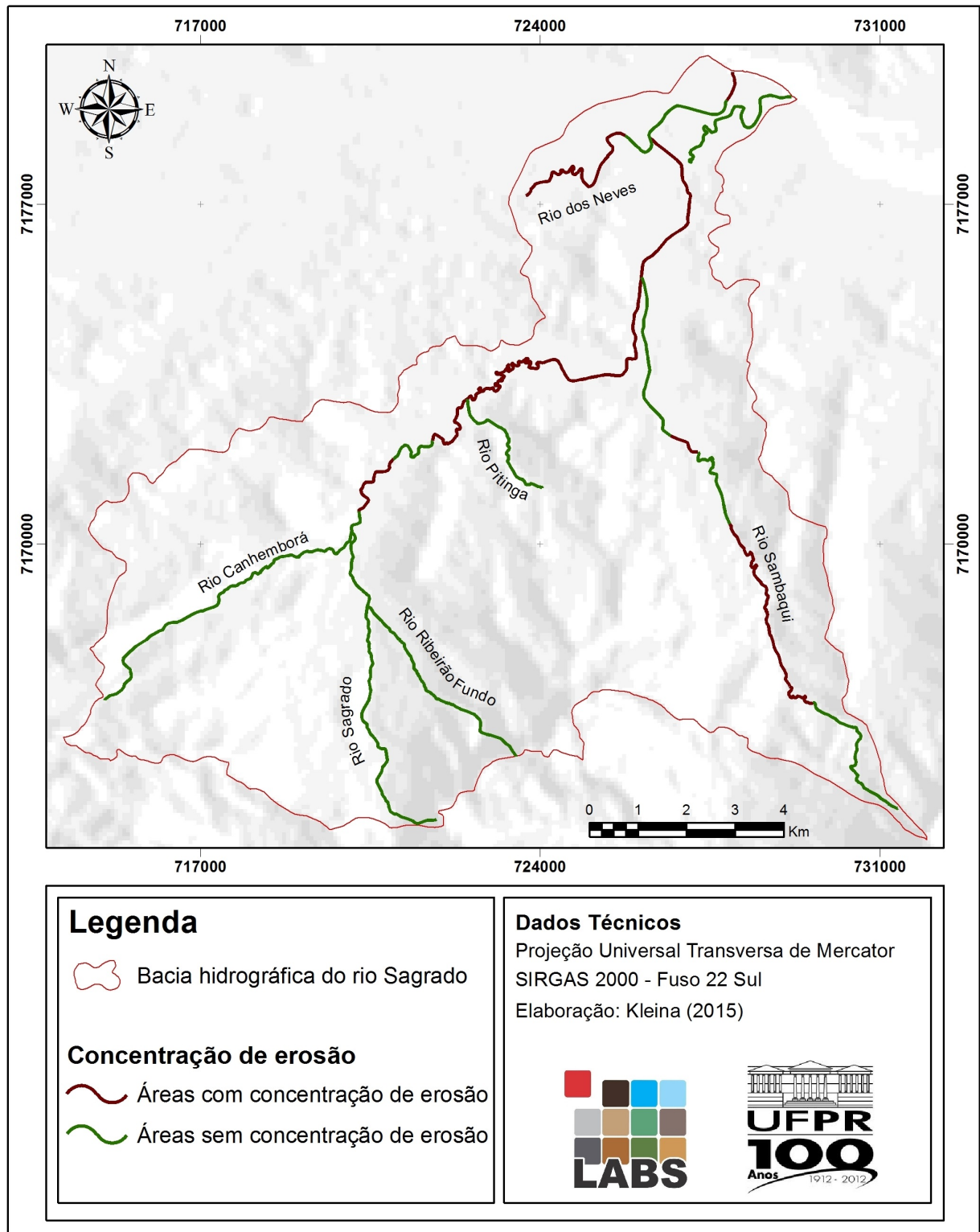


Figura 41 - Áreas fluviais com concentração de erosão na bacia hidrográfica do rio Sagrado

Diferente do segmento retificado do rio Sagrado, o rio Sambaqui apresentou pouco aumento de largura de 1954 para 2012, não ultrapassando quatro metros de

expansão, explicado pelo volume de água transportado no rio Sagrado ser superior ao Sambaqui, e conseqüentemente, possuir maior capacidade de erosão das margens.

#### 4.4 FLUXO ACUMULADO

A obtenção do fluxo acumulado tornou possível representar e localizar a quantidade relativa de água que passa por cada célula. Desta forma, os valores mais elevados são aqueles que representam maior fluxo acumulado, obtendo-se a quantidade de células a montante que drenam para cada uma das células a jusante.

Primeiramente a partir da TIN da bacia do rio Sagrado, foram corrigidas as imperfeições nela existentes, como buracos e depressões (Figura 42 (A)); posteriormente gerou-se a direção de fluxo das drenagens (Figura 42 (B)); como também o fluxo acumulado (Figura 42 (C)) com os maiores valores representados na cor branca, e por fim, foram tratados os dados e calculados os valores do fluxo acumulado (Figura 42 (D e E)).

Ainda de acordo com a Figura 42, especialmente a (E), têm-se os maiores valores de fluxo acumulado representados na cor vermelha, deste modo, são aqueles que mais possuem acumulação de água, com maiores probabilidades de ocorrências de erosões, ou seja, são áreas menos resistentes e mais propícias as mudanças.

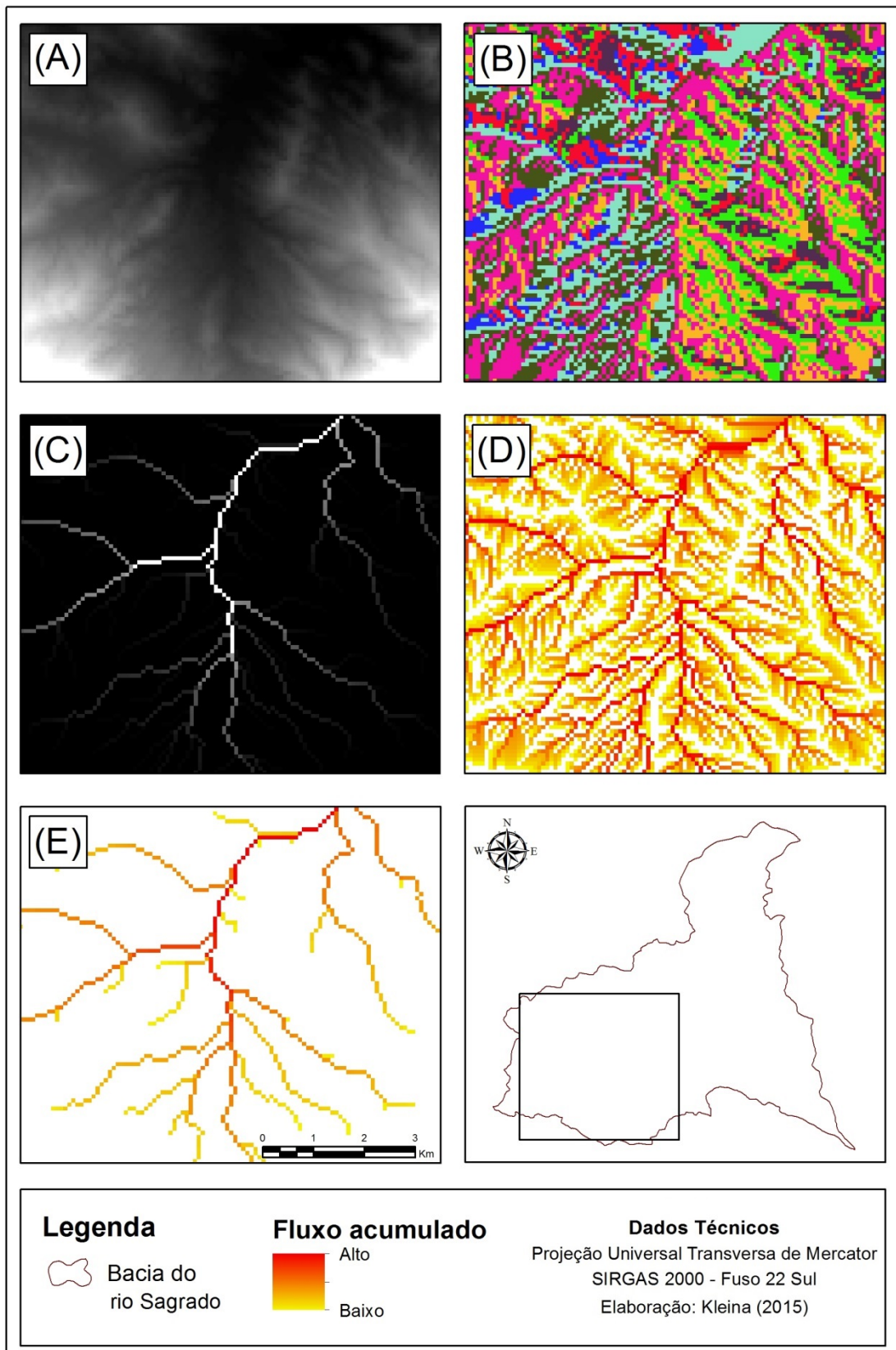


Figura 42 - Etapas para obtenção do fluxo acumulado

#### 4.5 CONECTIVIDADE FLUVIAL

Para explicar as relações das drenagens com o comportamento dos fluxos e ajustes do sistema, foi necessário analisar a conectividade entre os elementos da paisagem. Conforme a adaptação de Fryirs *et al.*, (2006), foram identificadas cinco formas de conectividades presente nos principais afluentes (relação rio/encosta/planície) da bacia do rio Sagrado, apresentadas na Figura 43 e descritas a seguir:

1 – *Tributário Conectado*: referem-se aos rios Sambaqui, Canhemborá, Ribeirão Fundo e Pitinga. Estes estão diretamente conectados ao rio principal, não havendo barreiras que impeçam a transmissão de matéria e energia entre eles com o rio principal.

2 – *Canal fluvial Desconectado*: corresponde a um pequeno canal fluvial temporário (sem nome), desconectado com a encosta, localizado na porção a jusante da bacia, na planície de inundação, cujas margens são compostas por sedimentos recentes. Este deságua na baía de Antonina, porém não recebe os sedimentos produzidos pela bacia.

3 – *Conectividade Montante-Jusante*: Produzida pelo transporte eficiente dos sedimentos ao longo dos canais fluviais, ou seja, pelo transporte de sedimentos de todos os afluentes da bacia do rio Sagrado.

4 – *Canal fluvial e Encostas desconectadas*: Rio dos Neves e terços inferiores dos rios Sagrado e Sambaqui, localizados na planície fluvial, de declividades muito baixas (inferiores a 5%), modelados sob sedimentos recentes e desconectados das encostas.

5 – *Canal Fluvial e Encostas conectadas*: Terços superiores dos rios Sagrado, Sambaqui, Canhemborá, Ribeirão Fundo e Pitinga. O fluxo da água está diretamente conectado com as encostas, de vales confinados e parcialmente confinados, não possui planície fluvial e por isso as declividades das vertentes são consideradas altas a muito altas, variando de acima de 47% até 30%.

Por meio da análise do mapeamento geomorfológico, interpretação das imagens de satélite e trabalhos em campo, verificou-se que não há barragens artificiais que impeçam a movimentação do fluxo d'água e sedimentos em toda a bacia, e são classificados como conectados ou ligados. Algumas das feições fluviais de depósito (ilhas e barras) possuem tamanhos consideravelmente grandes, que estreitam as margens dos cursos d'água e por isso são considerados como parcialmente conectados, desta forma, têm-se trechos:

*Conectados:* possuem boa capacidade de transporte de sedimentos, que variam de finos até grosseiros, o que os conferem como alta energia, com a presença de blocos nas laterais das margens das drenagens. Não foram identificadas feições fluviais de depósito nos afluentes Ribeirão Fundo e Canhemborá que possam diminuir a vazão ou então reter a carga sedimentar.

*Parcialmente conectados:* a declividade reduzida e forma meandrante tendem a depositar os sedimentos com maior facilidade, e por isso há grande presença de feições fluviais de depósito, que dificultam ou interrompem parcialmente a livre transmissão de água e sedimentos, caracterizando-o como média a baixa energia.

Nos trechos retificados, as mudanças artificiais proporcionaram o aumento da velocidade do fluxo, gerando consequências, como o aumento da erosão das margens, com o acréscimo progressivo das larguras dos terços inferiores dos rios Sagrado e Sambaqui.

A Tabela 17 apresenta a conectividade de acordo com os Estilos Fluviais de cada rio, apontando suas características e potenciais de alteração de conectividade com a presença de eventos extremos.

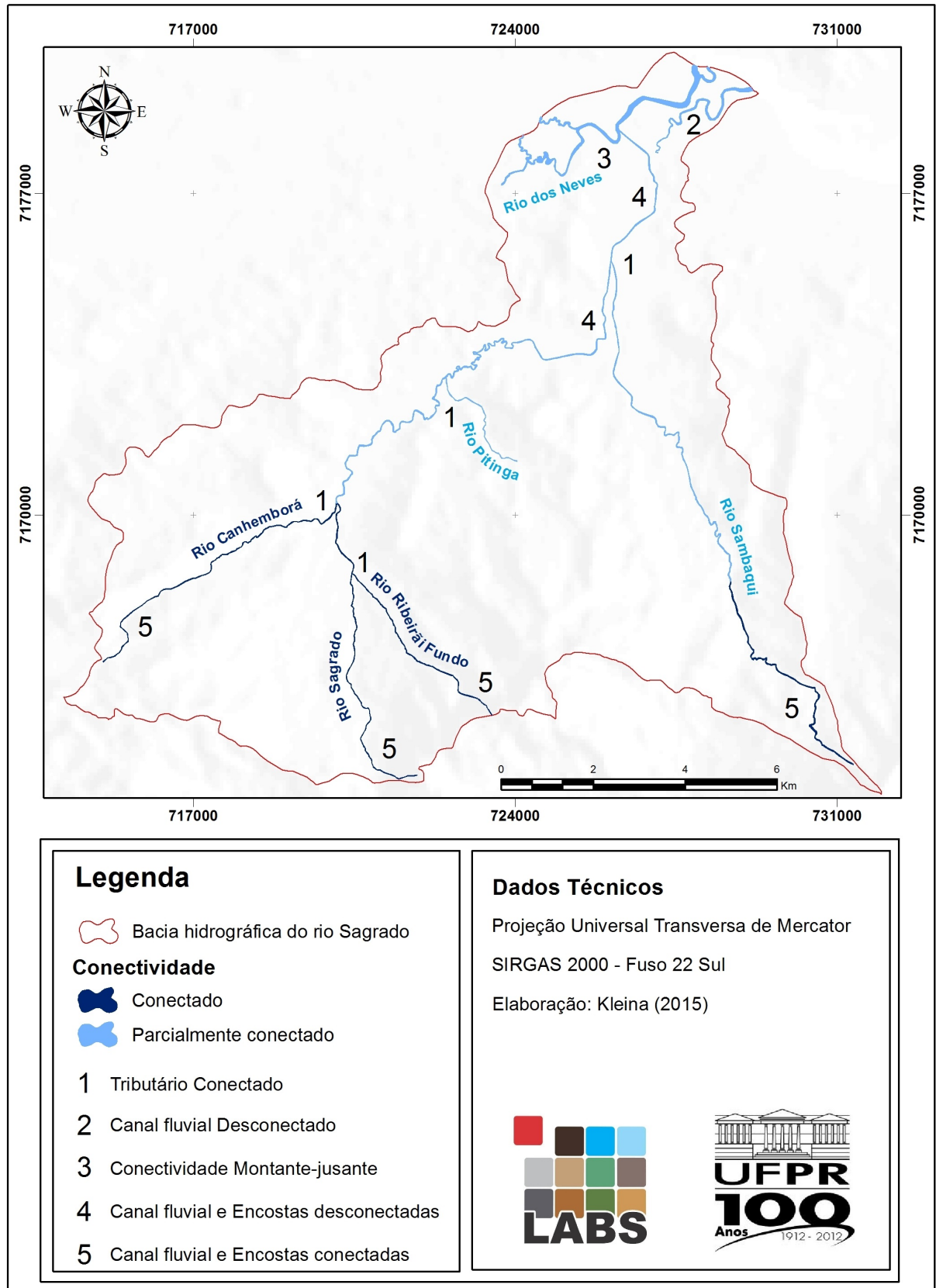


Figura 43 - Conectividade de subsistemas na bacia hidrográfica do rio Sagrado



Tabela 17 - Conectividade segundo os Estilos Fluviais

Rio	Estilo Fluvial	Conectividade	Características
Sagrado	R	Conectado	Altas declividades e leito rochoso proporcionam conectividade nos três primeiros E.F., porém à medida que se iniciam os processos de deposição, a conectividade torna-se parcial, na qual as feições estreitam o canal fluvial e podem prejudicar a transmissão de matéria e energia. OBS: se ocorrer um evento extremo todo o rio poderá se conectar
	SPC	Conectado	
	MISD	Conectado	
	MICD	Parcialmente conectado	
	MTCD	Parcialmente conectado	
	RSD	Parcialmente conectado	
	RCD	Parcialmente conectado	
Sambaqui	R	Conectado	Altas declividades, pouca sinuosidade e leito rochoso proporcionam conectividade nos três primeiros E.F. A partir da formação das feições no segmento irregular com deposição, o canal torna-se parcialmente conectado, com características semelhantes ao do rio Sagrado. OBS: se ocorrer um evento extremo todo o rio poderá se conectar
	SPC	Conectado	
	MISD	Conectado	
	ICD	Parcialmente conectado	
	RSD	Parcialmente conectado	
	MICD	Parcialmente conectado	
	RSD	Parcialmente conectado	
dos Neves	RSD	Parcialmente conectado	Extensas barras arenosas tornam o canal parcialmente conectado. OBS: mesmo com a presença de eventos extremos, o canal continuará parcialmente conectado, devido à presença de estradas rurais e algumas barras estáveis com cobertura vegetal
	MICD	Parcialmente conectado	
Canhemborá	R	Conectado	Tributário conectado com o rio principal. Não há barreiras que impeçam a transmissão de matéria e energia, ou seja, está conectado. OBS: Mesmo durante períodos menos chuvosos, o rio continuará conectado
	IPC	Conectado	
	INC	Conectado	
Ribeirão Fundo	R	Conectado	Tributário conectado com o rio principal e conectado com as encostas. OBS: Mesmo durante períodos menos chuvosos, o rio continuará conectado
	SPC	Conectado	
Pitinga	INC	Parcialmente conectado	Tributário conectado com o rio principal, porém a baixa declividade e formação da planície de inundação torna-o parcialmente conectado. OBS: se ocorrer um evento extremo todo o rio poderá se conectar

Fonte: A autora

Deste modo, o que torna alguns trechos fluviais parcialmente conectados são os sedimentos depositados nas laterais e centro dos canais, assim como também a planície de inundação, que desconecta o fluxo d'água com as encostas.

#### 4.6 RESISTÊNCIAS, PERTURBAÇÕES E SENSITIVIDADE FLUVIAL

Por meio da análise da evolução do uso do solo simplificado na bacia do rio Sagrado (Figura 44) foi possível observar os locais com maiores modificações na cobertura da terra entre os anos trabalhados. Ocorreram principalmente nas áreas de planícies dos rios Sagrado e Sambaqui, especialmente no terço médio, antes ocupadas por florestas em estágio inicial, médio/avançado e campos, e atualmente tomadas predominantemente por agriculturas, pastagens e campos.

Nas porções sudoeste, sul e sudeste da bacia, nas encostas da Serra do Mar paranaense, encontram-se as áreas mais resistentes da bacia, que não sofreram modificação em seu uso, cobertas por vegetação em estágio médio e avançado (Floresta Ombrófila Densa). As frequentes e muitas vezes volumosas chuvas (forças de perturbação) não alteraram suas características, exceto no evento de março de 2011, com a ocorrência de alguns movimentos de massa, contudo estes possuem dimensões pequenas em relação ao tamanho da bacia, e por isto mantêm-se as características originais da paisagem. A suscetibilidade média à produção de sedimentos é de 4,0 para os solos e 1,6 para a geologia (PAULA, 2010), o que indica que tanto os solos quanto a geologia contribuem para a grande resistência da paisagem, devido às condições deste ambiente, como o tipo de vegetação e declividades altas a médias, que dificultam o implante de sistemas de cultivo e pastagens.

As áreas com maiores distúrbios estão localizadas na planície de inundação, onde se encontram os sedimentos recentes. A inserção de atividades antrópicas em locais de declividades muito baixas, oferecerem menores resistências à implantação de pastagens e principalmente de agriculturas. O uso do solo na bacia comprova este fato, tendo grande crescimento, passando de 1,7 km<sup>2</sup> de áreas cultivadas em 1954 para 6,8 km<sup>2</sup> em 2012 (Tabela 18). Deste modo, qualquer que seja a força de perturbação aplicada no sistema, ele não conseguirá manter suas características, gerando mudanças na paisagem, o que explica a quantidade de ajustes fluviais encontrados.

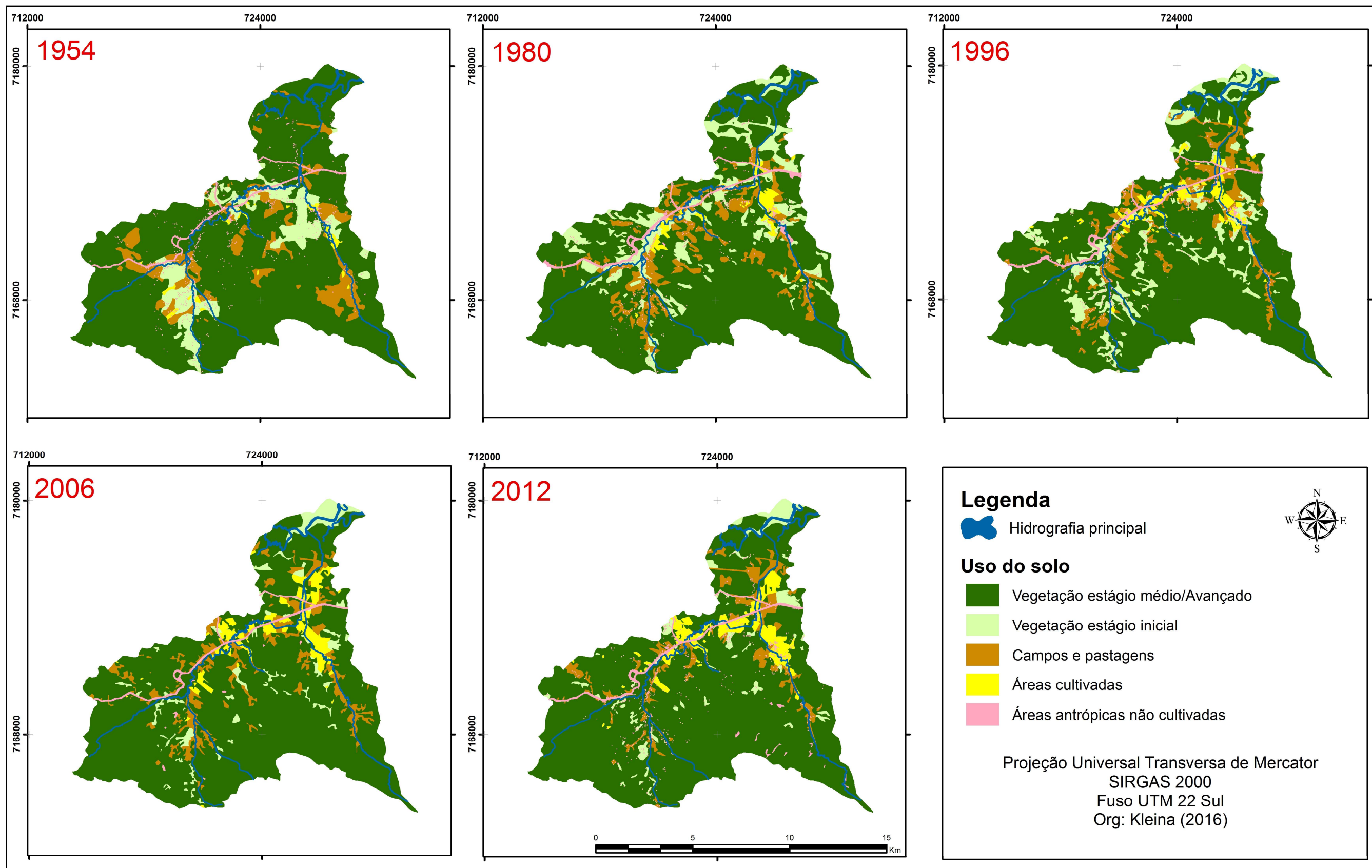


Figura 44 - Uso do solo na bacia hidrográfica do rio Sagrado nos anos analisados

Tabela 18 - Uso do solo da bacia do rio Sagrado dividido por classes

Ano	Classe (Km <sup>2</sup> )				
	Vegetação Médio/Avançado	Vegetação Inicial	Campos e Pastagens	Áreas antrópicas agricultáveis	Áreas antrópicas não agricultáveis
1954	110	12,1	13,6	1,7	0,08
1980	103,6	16,1	13,9	2,3	1
1996	106,2	14,9	11,6	3,7	1,2
2006	110	7,4	11,9	6,7	1,4
2012	111	6,1	8,4	6,8	1,5

Fonte: A autora

O terço médio e inferior do rio Sagrado são os segmentos fluviais que apresentam maior concentração de erosão, condizendo com os dados de fluxo acumulado, o que implica que estes são os segmentos mais sensíveis a mudança no uso do solo (Figura 45), ou seja, sofreram maiores distúrbios, e são classificados como alta sensibilidade (Figura 46). Segundo o projeto CAD (Contaminantes, Assoreamento, Dragagem e Áreas de Despejo no Estuário de Paranaguá, Paraná - Brasil), na bacia verificou-se que cerca de 8,4% de seu território, em 2009, pertencia ao uso agropecuário, dos quais 22% se encontrava-se em APP's, e outros 56,7% constituíam áreas de vegetação secundária em diferentes estágios de regeneração.

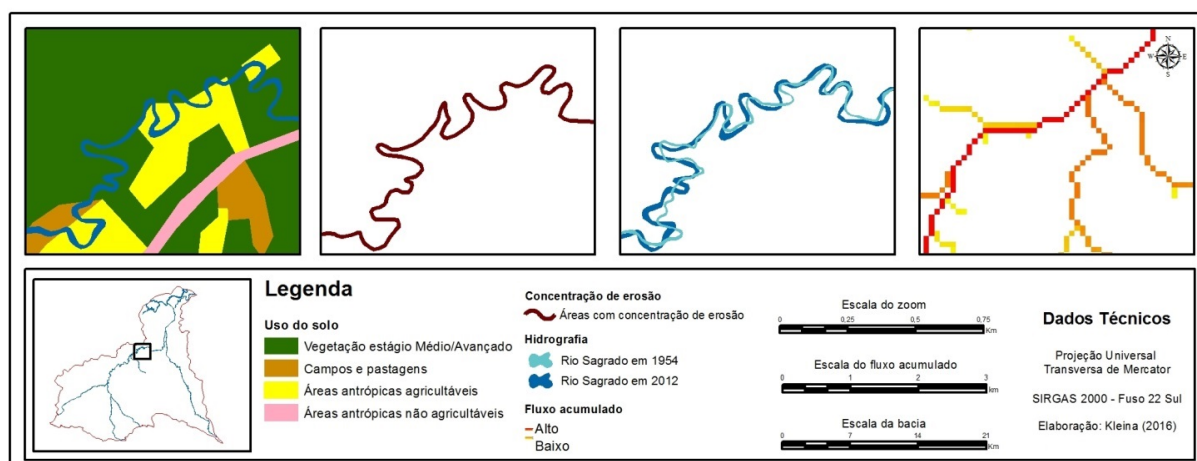


Figura 45 - Recorte do terço médio do rio Sagrado no uso do solo, concentração de erosão, hidrografia e fluxo acumulado

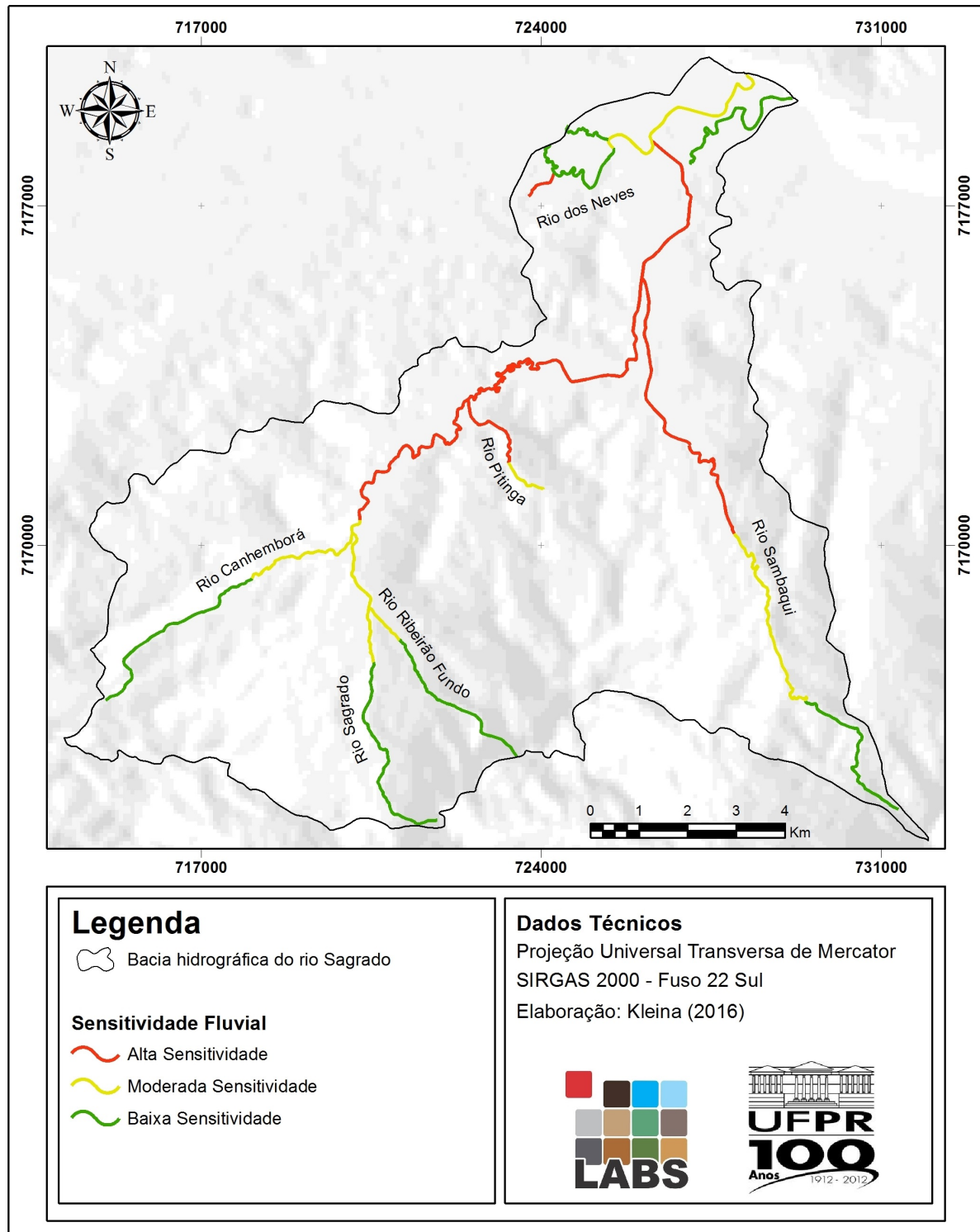


Figura 46 - Sensibilidade Fluvial na bacia do rio Sagrado

As áreas coluviais atualmente são ocupadas, em sua maioria, por vegetação em estágio médio/avançado, contudo possui potencial para implantação de agricultura, expandindo aquelas encontradas na planície de inundação, expondo o solo aos processos erosivos, e assim, aumentando a quantidade de sedimentos

transportados pelos rios e conseqüentemente, maiores ajustes nas drenagens da bacia.

Na porção norte da bacia, onde se encontra o terço inferior do rio Sagrado, ocorre vegetação em estágio médio e poucas intervenções antrópicas em 1954, com atividades próximas a antiga rodovia, contudo, apesar de grande parte estar preservada, atualmente o trecho tornou-se retificado, com a presença de feições fluviais. A agricultura encontra-se em expansão, por se tratar de uma área com pouca resistência, propícia a prováveis alterações, o que a classifica como alta sensibilidade.

Diferente da planície do rio Sagrado, a do rio dos Neves possui probabilidades menores de alterações, por se tratar de uma área com difícil acesso, porém é classificada como moderada sensibilidade devido a influência da maré, ocorrendo transformações inevitáveis, devido ao volume de água e transporte dos sedimentos pelo canal fluvial.

O terço inferior do rio Sambaqui sofreu graves interferências antrópicas com sua retificação, e não poderá retornar as suas características originais, podendo ser classificado como de alta sensibilidade, assim como parte do terço médio, que apresenta elevada quantidade de ajustes, modificações no uso do solo com áreas de campos e pastagens e presença de feições fluviais nos EFs descritos como canal irregular com deposição e meandros irregulares com deposição.

É possível notar ainda que em alguns locais a paisagem está se recuperando de perturbações referentes ao uso do solo, como são os casos de parte dos terços superiores dos rios Sagrado e Sambaqui, quando encontravam-se áreas de pastagens, campos e vegetação em estágio inicial em 1954, atualmente têm-se vegetação secundária em diferentes estágios de regeneração. Enfatiza-se ainda que, nestes segmentos (sinuoso de vale confinado e parcialmente confinado) não há presença de ajustes fluviais e áreas com concentração de erosão, assim como baixo fluxo acumulado (Figura 47), o que o caracteriza como trecho de baixa sensibilidade.



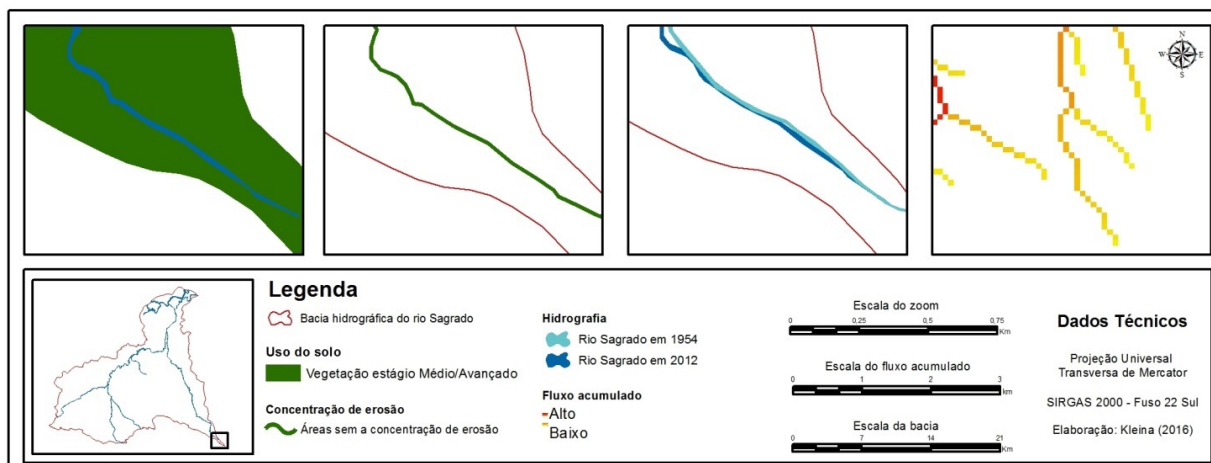


Figura 47 - Recorte do terço superior do rio Sambaqui no uso do solo, concentração de erosão, hidrografia e fluxo acumulado

Os terços superiores dos rios Canhemborá e Ribeirão Fundo não foram encontrados ajustes e nem mudanças na cobertura da terra, e a vegetação avançada, principalmente nas APP's de mata ciliar impedem a erosão das margens e do solo, mantendo as características da paisagem, mesmo em períodos de alta pluviosidade, denominando-os como de baixa sensibilidade.

O menor afluente dentre os principais da bacia, o rio Pitinga está localizado na planície, ocupada atualmente por áreas cultivadas, expostas a processos erosivos, que podem alterar facilmente a morfologia do leito fluvial. Áreas com baixas declividades e próximas a cursos d'água não conseguem resistir a qualquer tipo de alteração do estado inicial após a aplicação de qualquer força de perturbação, principalmente com a implantação de agriculturas, provocando ajustes neste tipo de paisagem.

De acordo com o mapa de evolução do uso do solo, a bacia está sofrendo um processo de degradação nas áreas de planícies, alterando suas condições originais e provocando ajustes acelerados, como ocorrem atualmente nos rios Sagrado e Sambaqui. A retirada da vegetação para a agricultura expõe o solo, deixando-o suscetível a erosões, ravinamentos e até voçorocas, transportando os sedimentos para os rios mais próximos. No terço médio do rio Sagrado, onde se encontram os maiores números de feições fluviais, segundo seus Estilos, há também concentração de erosão e vasta quantidade de ajustes, gerados pela variação na mudança do uso do solo na planície.

Como não há impedimentos que interrompam a conectividade na bacia, pode-se dizer que uma mudança no uso do solo no terço superior do rio Sambaqui, como

as cicatrizes do movimento de massa ocorrido em 2011, pode ocasionar mudanças nos terços médio e inferior, porém, não é possível revelar com exatidão, por meio da Sensitividade, onde ela está se manifestando ou irá se manifestar. Os segmentos parcialmente conectados prejudicam, mas não interrompem a livre circulação de água e sedimentos pelo sistema, proporcionada pelas feições fluviais (ilhas e barras) que estreitam o fluxo de água. Estas demonstram que a bacia encontra-se instável e em processo de degradação, por se apresentarem sem cobertura vegetal, o que indica que sua formação é recente.



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A retirada da vegetação natural próxima aos cursos d'água produz transformações na paisagem, principalmente com a implantação de áreas agrícolas, que desprotegem continuamente o solo, provocando erosões e transportando os sedimentos para os canais fluviais.

As feições de depósito presentes nos rios Sagrado, Sambaqui e dos Neves são instáveis, de formação recente, e apesar de muitas estreitarem o fluxo de água entre uma margem fluvial e outra, não são consideradas barreiras que interrompem a conectividade do sistema. Os depósitos interrompem parcialmente os canais, que podem se conectar totalmente durante eventos pluviométricos de média a alta magnitude.

Os eventos extremos provocaram mudanças na área, assim como ocorreu no ano de 2011, com movimentos de massa, pequenos em relação a tamanho da bacia, mas que alteraram as formas da drenagem com o transporte dos materiais pelo rio Sambaqui. As retificações, assim como os acréscimos das larguras, demonstram que este rio sofreu profundas transformações, tendendo apenas a continuação dos processos.

Por meio da análise da evolução do uso do solo, dos ajustes provocados nas drenagens e das feições de depósito no rio Sagrado mapeadas por Kleina *et al.*, (2014), percebe-se que as forças de perturbação superam as resistências do sistema, o que comprova a elevada quantidade de sedimentos produzida pela bacia, responsável pelo assoreamento da baía de Antonina (PAULA, 2010).

Os Estilos e ajustes fluviais indicam as características e modificações nos leitos dos canais durante o período temporal estudado, provocada por transformações no uso e ocupação do solo. As condições físicas da bacia, como uma vasta planície de inundação, favorecem o implante de novas atividades antrópicas, que continuam em expansão e com grandes possibilidades de mudanças futuras.

As mudanças nas formas fluviais mostraram-se claras nos mapeamentos, com probabilidades de variações nas nomenclaturas dos EFs, devido a dinamicidade das feições, que se locomovem com facilidade dentro do canal fluvial.

Os acréscimos das larguras nos canais fluviais são evidentes na medição das suas larguras mínimas e máximas, e também nos principais e mais comuns ajustes

identificados, representados pela retificação e dimensão lateral (largura). As informações contribuíram para localizar as áreas com maiores concentrações de erosões, ou seja, aquelas pouco resistentes após terem sofrido com a aplicação de uma força de perturbação.

Embora as planícies e as APP's de mata ciliar estejam em condições degradadas, a bacia também encontra-se em áreas de Serra, contendo grandes extensões preservadas e intocadas, o que contribui para a baixa sensibilidade. A vegetação densa protege as encostas, inclusive as margens fluviais dos processos erosivos, ravinamentos e voçorocamentos, favorecendo a alta resistência das serras e morros.

A alta sensibilidade fluvial é encontrada nos segmentos que sofreram e que tendem a sofrer grandes alterações após a aplicação de uma força de perturbação. Na bacia, estas forças se caracterizam por precipitações elevadas e mudanças no uso do solo (intervenções antrópicas), que proporcionam a erosão acelerada e conseqüentemente a produção de sedimentos para os canais fluviais. A baixa resistência neste tipo de paisagem impede que o ambiente permaneça intocado pelo homem, com possibilidades de expansão das atividades antrópicas nas baixas declividades.

Deste modo, ao reconhecer os pontos fundamentais para identificar a sensibilidade fluvial, como mapear os EFs, localizar os pontos com maiores erosões (concentração de erosão fluvial), os ajustes provocados nos anos estudados, assim como as mudanças e prováveis alterações no uso do solo, tornou-se possível aplicar a metodologia, demonstrando-se satisfatória, reunindo os dados necessários para cumprir os objetivos propostos.

Este método poderá auxiliar pesquisas futuras, permitindo o reconhecimento de pontos mais sensíveis a mudanças no uso do solo, tornando possível identificar os locais que necessitam de intervenções imediatas, a fim de recuperar as áreas degradadas e gerir melhor os recursos hídricos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSUMPÇÃO, A. P.; MARÇAL, M. S. Retificação dos canais fluviais e mudanças geomorfológicas na planície do rio Macaé (RJ). **Revista de Geografia** (UFPE), v. 29, n. 3, p. 19-36, 2012.
- BARROS, A. C. M.; SOUZA, J. O. P.; CORREA, A. C. B. Sensitividade da Paisagem na bacia do riacho Salgado, Belém de São Francisco. **Revista de geografia** (UFPE), v. Especial, In: VIII SINAGEO, 2010.
- BAYER, M.; CARVALHO, T. M. Processos morfológicos e sedimentos no canal do rio Araguaia. **Revista de Estudos Ambientais**, v.10. n. 2, p. 24-31. 2008.
- BLANTON, P.; MARCUS, W. A. Railroads, roads and lateral disconnection in the river landscapes of the continental United States. **Geomorphology**, v. 112, p. 212-227, 2009.
- BRIERLEY, G.; FRYIRS, K. A. Application of the River Styles framework as a basis for river management in New South Wales, Australia. **Applied Geography**, v. 22, p. 91-122, 2002.
- BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework. **Blackwell Publishing**, Oxford, UK, 2005.
- BRIERLEY, G.; FRYIRS, K. A.; JAIN, V. Landscape connectivity: the geographic basis of geomorphic applications. **Area**, v. 38, n. 2, p. 65-174, 2006.
- BRUNSDEN, D. Barriers to geomorphological change. In Thomas, D.S.G. and Allison, R. J. **Landscape Sensitivity**. Wiley e Sons, p. 7-12, 1993.
- BRUNSDEN, D. Geomorphological events and landform change. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 40, p. 273-288, 1996.
- BRUNSDEN, D. A critical assessment of the sensitivity concept in Geomorphology. **Catena**, v. 42, p. 99-123, 2001.
- BRUNSDEN, D.; THORNES, J. B. Landscape sensitivity and change. **Transactions of the Institute of British Geographers**, n. 4, p. 463-484, 1979.
- CARVALHO, T. M. Avaliação do transporte de carga sedimentar no médio rio Araguaia. **Revista Geosul**, v. 24. n. 47, p. 147-160, 2009.
- CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. **Physical Geography: A Systems Approach**. London: Prentice Hall, 1971.
- CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. **As Perspectivas dos Estudos Geográficos**. São Paulo: Difel, 1997.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgar Blücher Ltda, 1999.

CORRÊA, A. C. B.; SILVA, F. L. M.; SOUZA, J. O. P.; AZAMBUJA, R. N.; ARAÚJO, S. B. Estilos fluviais de uma bacia de drenagem no submédio São Francisco. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 26, n. 1, p. 181-215, 2009.

DOWNS, P. W.; GREGORY, K. J. The sensitivity of river channels in the landscape system. **Landscape Sensitivity**, Thomas DSG, Allison RJ (eds). John Wiley e Sons: Chichester, p. 15-30, 1993.

FERNANDEZ, O. V. Q. **Mudanças no canal fluvial do rio Paraná e processos de erosão nas margens: Região de Porto Rico-PR**. 86 f. Dissertação (Mestrado), IGCE/UNESP, Rio Claro, 1990.

FONTES, L. C. S. **Erosão marginal associada a impactos ambientais a jusante de grandes barragens: O caso do baixo curso do rio São Francisco**. 321 f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, 2002.

FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G. J.; PRESTON, N. J.; SPENCER, J. Catchment-scale (dis)connectivity in sediment flux in the upper Hunter catchment, New South Wales, Australia. **Geomorphology**, v. 89, p. 297-316, 2006.

FRYIRS, K. A.; SPINK, A.; BRIERLEY, G. J. Post-European settlement response gradients of river sensitivity and recovery across the upper Hunter catchment, Australia. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 34, 897-918, 2009.

GRAF, W. L. A lei da Razão em Geomorfologia Fluvial. **Notícia Geomorfológica**, v. 18, Campinas: ICH-DEGEOG, p. 57-78, 1978.

GUERRA, A. T. **Dicionário Geológico Geomorfológico**. Rio de Janeiro: IBGE, 6ª Edição, 1978.

HARVEY, A. M. Effective timescales of coupling within fluvial systems. **Geomorphology**, v. 44, p. 175-201, 2002.

HERZ, R.; DE BIASE, M. **Critérios e legendas para macrozoneamento costeiro**. Ministério da Marinha/Comissão Interministerial para os Recursos do Mar. Brasília, 1989.

HOOKE, J. Coarse sediment connectivity in river channel systems: a conceptual framework and methodology. **Geomorphology**, v. 56, 2003.

JAIN, V.; TANDON, S. K. Conceptual assessment of (dis)connectivity and its application to the Ganga River dispersal system. **Geomorphology**, v. 118, p. 349-358, 2010.

JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v. 54, n. 11, 1988.

KELLERHALS, R.; CHURCH, M.; BRAY, D. I. Classification and Analysis of river processes. **Journal of Hydraulics Division**, American Society of Civil Engineers, v.102, p. 813-829, 1976.

KLEINA, M.; SANTOS, L. J. C. Estilos Fluviais do rio Sagrado (Morretes/PR): comparação nos anos de 2006 e 2011. In: **Semana Integrada de Ensino, Pesquisa e Extensão** (Painel - 21º EVINCI), 2013.

KLEINA, M.; PAULA, E. V.; SANTOS, L. J. C. Análise comparativa dos Estilos Fluviais do rio Sagrado (Morretes/PR) para os anos de 2006 e 2011. **Revista Geografar** (UFPR), v. 9, n.1, p. 27-44, 2014.

KNOX, J. C. Agricultural influence on landscape sensitivity in the Upper Mississippi River Valley. **Catena**, n. 42, p. 193-224, 2001.

KONDOLF, G. M.; LARSON, M. Historical channel analysis and its application to riparian and aquatic habitat restoration. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, n. 5, p. 109-1026, 1995.

LIMA, R. N. S. **Conectividade dos ambientes fluviais: implicações para avaliação da sensibilidade do sistema de drenagem da bacia do Rio Macaé (RJ)**. 128 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

MAACK, R. **Geografia Física do estado do Paraná**. Curitiba: M. Roesner, 1968.

MARÇAL, M. S. Análise das mudanças morfológicas em seções transversais ao rio Macaé/RJ. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 1, 2013.

MARQUES NETO, R. A abordagem sistêmica e os estudos geomorfológicos: algumas interpretações e possibilidades de aplicação. **Revista Geografia (UEL)**, v. 17, n.2, p. 67-87, 2008.

MARENT, B. R. **Mensuração dos processos desnudacionais a longo-termo (10Be) na Serra do Mar no Estado do Paraná: implicações para a evolução do relevo**. 107 p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

MATTOS, S. H. V. L.; PEREZ FILHO, A. Complexidade e Estabilidade em Sistemas Geomorfológicos: uma introdução ao tema. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 5, n. 1, 2004.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2001.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

MINEROPAR - Minerais do Paraná S. A - (Serviço Geológico do Paraná). **Atlas geológico do Estado do Paraná**. Curitiba, 2001.

NOWATZKI, A. **O mapeamento das áreas de preservação permanente: aplicações nas bacias hidrográficas dos rios Pequeno, Alto Cachoeira e Sagrado – Área de drenagem da Baía de Antonina (PR)**. Monografia (Bacharel em Geografia). Departamento de Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. The extraction of drainage networks from digital elevation data. **Computer Vision, Graphics, and Image Processing**, San Diego, v. 28, n. 3, 1984.

PAULA, E. V. **Análise da Produção de Sedimentos na Área de Drenagem da Baía de Antonina/PR uma abordagem geopedológica**. 168 f. Tese (Doutorado em Geografia). Departamento de Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

PAULA, E. V.; NOWATZKI, A. **Programa de Controle Ambiental das Dragagens de Manutenção dos Portos de Paranaguá e Antonina: 2009. Relatório Parcial. Delimitação das áreas prioritárias à recuperação na bacia hidrográfica do Rio Sagrado (Morretes/PR)**. Antonina: ADEMADAN, 2009.

PAULA, E. V.; SANTOS, L. J. C.; UBER, J. A. Análise da suscetibilidade geopedológica à produção de sedimentos na área de drenagem da baía de Antonina/PR. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. especial VIII SINAGEO, n. 2, 2010.

PHILLIPS, J. D. Changes, perturbations, and responses in geomorphic systems. **Progress in Physical Geography**, v. 33, n. 1, p. 17-30, 2009.

PLANCHON, O.; DARBOUX, F. A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. **Catena**, v. 46, p. 159-176, 2001.

PIÉGAY, H.; SCHUMM, S. A. System approaches in fluvial geomorphology. In Kondolf, G. M. and Piégay, H., eds. Tools in Fluvial. **Geomorphology**, wiley, west Sussex, p. 105-134, 2003.

PINTO, R. C.; PASSOS, E.; CANEPARO, S. C. Classificação dos movimentos de massa ocorridos em março de 2011 na Serra da Prata, estado do Paraná. **Geoinfó**, v. 4, n. 1, p. 37-27, 2012.

QUINN, P. F.; BEVEN, K. J.; LAMB, R. How to calculate it and how to use it within the TOPMODEL framework. **Hydrological Processes**, v. 9, p. 161-182, 1995.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 112, n. 9, 2008.

ROCHA, P. C. Geomorfologia e Conectividade em ambientes fluviais do Alto rio Paraná, Centro-Sul do Brasil. **Boletim de Geografia (Maringá)**, v. 28, n. 2, p. 157-176, 2010.

RUHOFF, A. Geotecnologias em Recursos Hídricos – Modelagem numérica do terreno para aplicações hidrológicas, 2010. Disponível em: <<http://blog.andersonruhoff.com/2010/11/modelagem-numerica-do-terreno-para.html>>. Acesso em: 09 de dezembro de 2015.

SALGADO, A. A.; BIAZINI, J.; HENNING, S. Geomorfologia brasileira: panorama geral da produção nacional no início do século XXI (2001-2005). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9, n. 1, p. 84-91, 2008.

SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 46-57, 2010.

SOUZA, P. A. **Dinâmica hidrossedimentológica e padrões de conectividade no rio Macaé (RJ)**. 123 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, (PPGG/UFRJ), Rio de Janeiro, 2013.

SOUZA, J. O. P. **Modelos de evolução da dinâmica fluvial em ambiente semiárido – bacia do Riacho do Saco, Serra Talhada, Pernambuco**. 190 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Ciências Geográficas – DCG, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2014.

SOUZA, J. O. P.; BARROS, A.; CORRÊA, A. C. B. Classificação de canais semiáridos pelo semiárido, bacia do riacho do Saco, Pernambuco. **Geonorte**, Edição Especial 4, v. 10, n. 1, p. 222-227, 2014.

SOUZA, J. O. P.; CORRÊA, A. C. B. Conectividade e área de captação efetiva de um sistema fluvial semiárido: bacia do riacho Mulungu, Belém de São Francisco – PE. **Sociedade e Natureza**, v. 24, n. 2, p. 379-332, 2012.

SOUZA, J. O. P.; CORRÊA, A. C. B. Análise da sensibilidade da paisagem na bacia do riacho do Saco – PE. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 4, p. 615-630, 2015.

STEVANUX, J. C. **O Rio Paraná: geomorfogênese, sedimentação e evolução quaternária do seu curso superior (região de Porto Rico, PR)**. 261 f. Tese

(Doutorado em Geologia) – Departamento de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

TARBOTON, D. G.; BRAS, R. L.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. On the extraction of channel networks from digital elevation data. **Hydrological Processes**, Chichester, v. 5, n. 1, 1991.

THOMAS, M. F. Landscape sensitivity in time and space an introduction. **Catena**, v. 42, p. 83-98, 2001.

TROFIMOV, A. M.; PHILLIPS, J. D. Theoretical and methodological premises of geomorphological forecasting. **Geomorphology**, v. 5, p. 203-211, 1992.

UBER, J. A. Mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do rio Sagrado (Morretes/PR). In: **EVINCI**, 22, Curitiba. Livro de Resumos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

VALERIANO, M. M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia, conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 72-104, 2008.

VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem sistêmica e Geografia. **Geografia**, Rio Claro, v. 28, n. 3, 2003.

ZANCOPE, M. H. C.; CARPI JUNIOR, S.; PEREZ FILHO, A. Mudanças no Canal do Rio Mogi Guaçu - Brasil. In: **VI Simpósio Nacional de Geomorfologia**. Regional Conference on Geomorphology, v. 2, p. 63-63.

ZANCOPE, M. H. C.; CARPI JUNIOR, S.; PEREZ FILHO, A. Migração Fluvial, Pedogênese e Sedimentação na Planície do Rio Mogi Guaçu. In: **XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Natureza, Geotecnologias, Ética e Gestão do Território, v. 1, p. 82-83, 2007.

ZEHE, E.; SIVAPALAN, M. Threshold behavior in Hydrological Systems as (human) Geo-Ecosystems: Manifestations, Controls and Implications. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 13, p. 1273-1297, 2009.