



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

RAPHAEL NUNES DE SOUZA LIMA

GEOMORFOLOGIA FLUVIAL E O MEGADESASTRE'11 DO CÓRREGO DANTAS,
NOVA FRIBURGO (RJ): TRAJETÓRIAS, AJUSTES E MUDANÇAS.

Rio de Janeiro
2017

RAPHAEL NUNES DE SOUZA LIMA

GEOMORFOLOGIA FLUVIAL E O MEGADESASTRE'11 DO CÓRREGO
DANTAS, NOVA FRIBURGO (RJ): TRAJETÓRIAS, AJUSTES E MUDANÇAS.

Tese apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Geografia do
Departamento de Geografia do Instituto de
Geociências, Universidade Federal do Rio
de Janeiro como requisito para a obtenção
do título de doutor em Geografia

Orientador: Prof. Dr. Mônica dos Santos
Marçal.

Rio de Janeiro

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

CIP – Catalogação na Publicação

L732g Lima, Raphael Nunes de Souza
 GEOMORFOLOGIA FLUVIAL E O MEGADESASTRE'11 DO
CÓRREGO DANTAS, NOVA FRIBURGO (RJ): TRAJETÓRIAS,
AJUSTES E MUDANÇAS. / Raphael Nunes de Souza Lima.
- Rio de Janeiro, 2017.
 150 f.

 Orientadora: Mônica dos Santos Marçal.
 Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio
de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de
Pós-Graduação em Geografia, 2017.

 1. geomorfologia fluvial. 2. trajetória de
ajuste. 3. córrego Dantas. 4. Megadesastre'11. 5.
Nova Friburgo (RJ). I. Marçal, Mônica dos Santos,
orient. II. Título.

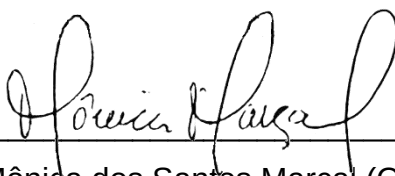
RAPHAEL NUNES DE SOUZA LIMA

GEOMORFOLOGIA FLUVIAL E O MEGADESASTRE'11 DO CÓRREGO DANTAS,
NOVA FRIBURGO (RJ): TRAJETÓRIAS, AJUSTES E MUDANÇAS

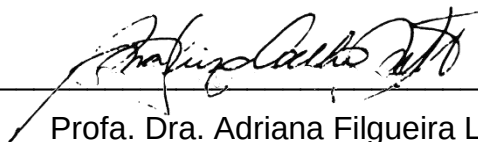
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Departamento de Geografia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito para a obtenção do título de doutor em Geografia

Aprovada em: 14/12/2017.

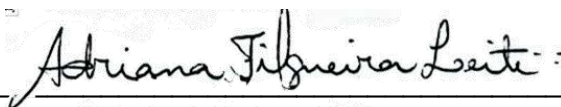
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Mônica dos Santos Marçal (Orientadora)
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)



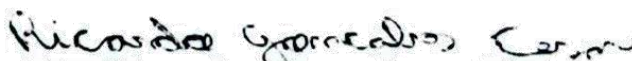
Profa. Dra. Adriana Filgueira Leite
Universidade Federal Fluminense (UFF)



Profa. Dra. Ana Luiza Coelho Netto
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)



Prof. Dr. Antônio Carlos de Barros Corrêa
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)



Prof. Dr. Ricardo Gonçalves Cesar
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Este trabalho é dedicado às vítimas de catástrofes socioambientais.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Mônica Marçal, que esteve ao meu lado durante toda a minha trajetória acadêmica, fazendo a diferença em tantos momentos decisivos desse percurso.

Aos estagiários, bolsistas, mestrandos e doutorandos do grupo GEOMORPHOS/UFRJ pela colaboração nos trabalhos de campo, pela convivência fraterna que propiciou imprescindíveis discussões e por todo o suporte durante o processo de conclusão da tese.

Aos amigos professor Gary Brierley e professora Kirstie Fryirs, cujo trabalho e entusiasmo sempre inspiraram. “Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes”.

À professora Ana Luiza Coelho Neto e ao grupo GEOHECO/UFRJ pelo compartilhamento da base de dados referente à área de estudos, além do acolhimento em sua casa de pesquisa de Nova Friburgo.

Ao PPGG/UFRJ, e a todo o corpo de professores e funcionários por viabilizarem este trabalho.

Por fim, agradeço aos amigos e familiares, em especial à minha querida esposa e filha.

“Vivemos em uma sociedade extremamente dependente da ciência e tecnologia, na qual pouquíssimos sabem alguma coisa sobre ciência e tecnologia. Isto é uma clara prescrição para o desastre”.

Carl Sagan, 1990 (*The Skeptical Inquirer*)

RESUMO

No contexto em que se discute o acirramento das mudanças ambientais globais, com o aumento dos eventos climáticos extremos, torna-se cada vez mais relevante a compreensão das respostas dos rios a eventos climáticos extremos, sobretudo quando o sistema fluvial se relaciona em regiões montanhosas. A pesquisa desenvolveu-se em torno de análises da trajetória de mudança e ajustes geomorfológicos ocorridos no Córrego Dantas, Nova Friburgo (RJ) a partir das respostas geomorfológicas decorrentes do evento de grande magnitude que ocorreu entre os dias 11 e 12 de janeiro de 2011, conhecido como Megadesastre'11. A abordagem conceitual da pesquisa buscou fornecer compreensão científica da geomorfologia para interpretar as respostas de sistemas fluviais montanhosos à grandes entradas de sedimentos e explicar seu papel na dinâmica de comportamento e mudanças dos mesmos. Para alcançar os objetivos propostos, a metodologia foi baseada em três eixos: (1) Caracterização e análise dos controles regionais e locais da bacia; (2) Avaliação da trajetória de ajustes e mudanças geomorfológicas e antrópicas operadas no córrego Dantas, posteriores ao Megadesastre' 11; (3) análise síntese da trajetória de mudanças geomorfológicas no córrego Dantas. Concluiu-se, de maneira geral, que ao longo deste período, ocorreu o processo de reestabelecimento de condições semelhantes às verificadas no estado de referência anterior ao desastre. Em alguns trechos, mais resilientes, os rios retornaram ao seu comportamento sem haver intervenções diretas. Já nos trechos que apresentaram grandes acúmulos de sedimentos, as intervenções realizadas ofereceram condições para que o canal se ajustasse mais rapidamente às condições de referência, e começasse a apresentar um processo de estabilização nos processos de deposição.

Palavras chaves: geomorfologia fluvial; trajetória de ajuste; córrego Dantas; Megadesastre'11; Nova Friburgo (RJ)

ABSTRACT

In the context of the worsening of global environmental changes, with the increase of extreme climatic events, this issue becomes increasingly relevant. In this sense, what should one expect from river responses to extreme climatic events, especially when the river system is related to mountainous regions? The research was developed around analyzes of the geomorphological changes and geomorphological adjustments that took place in the Dantas Stream, Nova Friburgo (RJ), based on the geomorphological responses resulting from the event of great magnitude that occurred between January 11th and 12th, 2011, known as Megadesastre'11. The conceptual approach of the research sought to provide a scientific understanding of geomorphology to interpret the responses of mountainous fluvial systems to large sediment entrances and to explain their role in the dynamics of behavior and changes of sediments. In order to reach the proposed objectives, the methodology was based on three axes: (1) Characterization and analysis of the regional and local controls of the basin; (2) Evaluation of the trajectory of adjustments and geomorphological and anthropic changes operated in the Dantas stream, after Megadesastre '11; (3) Synthesis analysis of the trajectory of geomorphological changes in the Dantas stream. It was concluded, in general, that during this period, the process of the reestablishment of conditions is similar to those verified in the pre-disaster reference state occurred. In some stretches, more resilient stretches, the rivers returned to their behavior without direct interventions. In managed stretches, the interventions provided the conditions for the channel to adjust more quickly to the reference conditions and began to present a stabilization in the deposition processes.

Keywords: fluvial geomorphology; adjustment trajectory; Dantas stream; Megadesastre'11; Nova Friburgo (RJ)

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Deslizamentos na bacia do córrego Dantas.....	4
Figura 2- Mapa de Localização da área de estudos.....	6
Figura 3- Conectividade em uma bacia idealizada. As ligações laterais, longitudinais e verticais apresentam forças diferentes no alto, médio e baixo curso de uma bacia idealizada, de acordo com a configuração dos processos de cada zona e a localização dos bloqueios.	13
Figura 4- Variáveis espaciais e escalas utilizadas para 21 esquemas de classificação geomorfológica de canais.....	15
Figura 5- Respostas do sistema a eventos de distúrbio. Dependendo da sensibilidade do sistema a ajustes, respostas podem ser rápidas com recuperação veloz, podem ser lentas ou podem induzir adaptações no sistema a um novo estado.....	18
Figura 6- Modelo conceitual destacando o nível e influência das comunidades locais e científica nos projetos de reabilitação das escalas locais a internacionais	25
Figura 7- Fluxograma metodológico da pesquisa.....	27
Figura 8- Mosaico das cenas georreferenciadas para cada data.	30
Figura 9- Mapeamento dos movimentos de massa, diferenciando eventos conectados e desconectados.	31
Figura 10- Parâmetros para análise dos controles locais da forma e comportamento do rio.	32
Figura 11- Tipos de definição do grau de confinamento do canal.	33
Figura 12- Conceitos utilizados para interpretação das margens do vale.	34
Figura 13- Localização das seções transversais do monitoramento realizado.....	41
Figura 14- Rio Bengalas 1890	44
Figura 15- Enchente Rio Bengalas 1940	44
Figura 16- Galpões utilizados pela indústria têxtil na região do médio curso	45
Figura 17- Casas destruídas por deslizamentos e enchente do córrego Dantas	46
Figura 18- Edificações ao longo da bacia do córrego Dantas. Ao longo da calha principal foram definidas áreas de risco através de estudo de cheias	

realizado por Ecologus 2012, visando subsidiar o planejamento das ações de desapropriação e obras.	47
Figura 19- EVENTO DE 18/01/2005 (esquerda) EVENTO DE 11/12/2002 (direita).	47
Figura 20- EVENTO DE 12/01/2004 (a esquerda) EVENTO DE 04/02/2005 (a direita).....	48
Figura 21- Croqui de um projeto de praça do parque fluvial do córrego Dantas.	50
Figura 22- Croqui de um projeto de praça do parque fluvial do córrego Dantas.	50
Figura 23- Trechos de intervenção realizados no âmbito do projeto Rios da Serra .	51
Figura 24- Seção típica de enrocamento trapezoidal constante no projeto.	51
Figura 25- Acresção vertical em planície fluvial resultante da deposição de sedimentos arenosos.	54
Figura 26- Mapa Geológico da Bacia do Córrego Dantas, onde as linhas pretas representam o posicionamento de seções geológicas.	55
Figura 27- Seções geológicas segundo a marcação na figura 25 acima.	55
Figura 28- Padrões de relevo	58
Figura 29- Mapa do Índice de Posicionamento Topográfico das encostas do córrego Dantas.	59
Figura 30- Conectividade encosta-calha fluvial	60
Figura 31- Mapa de concavidades	61
Figura 32- Localização de alvéolos e knickpoints.....	63
Figura 33- Precipitação mensal acumulada, em mm, na estação meteorológica de Nova Friburgo/RJ (1961-1990).	64
Figura 34- Análise da área de influência das estações através da interpolação por Polígono de Thiessen.	65
Figura 35- Série histórica de chuvas máximas mensais para períodos de 24h. Em detalhe, chuva máxima diária para o mês de janeiro de 2011. Estações Vargem Grande, Fazenda Mendes e Cascatinha do Cônego	66
Figura 36- Histograma da distribuição da intensidade de chuva (mm.h-1) da tempestade de 11-12 de janeiro e curvas de precipitação acumulada.	67
Figura 37- Precipitação em 24 horas no dia 12/01/2011.	68
Figura 38- Localização da bacia do córrego Dantas e sua divisão em alto, médio e baixo curso.	69

Figura 39- Perfil longitudinal do córrego Dantas e afluentes associada à embasamento geológico.....	70
Figura 40- Característica das paisagens do alto curso.....	70
Figura 41- Característica das paisagens do médio curso. Loteamento Dois Esquilos, Vendas das Pedras, Olaria do Spinelli, Ponte Petra, Loteamento Vale dos Pássaros.....	71
Figura 42- Bairros e Localidades Jardim Califórnia, Santa Bernadete, Girassol, Córrego Dantas	72
Figura 43- Hierarquia da rede de drenagem (Strahler) do córrego Dantas.	73
Figura 44- Área de contribuição dos tributários do córrego Dantas.....	74
Figura 45- Classificação do vale do Córrego Dantas com localização da Seção Estratigráfica e Sondagens a Percursão (SP36 e SP06)	76
Figura 46- Área onde foi realizada a seção estratigráfica. Fundo do vale foi exumado durante Megadesastre 11, expondo barranco. Camada argilosa denota formação de planície fluvial associada a evento pretérito de deslizamento.	78
Figura 47- Seção estratigráfica à margem esquerda do córrego Dantas, realizada em 13/07/2016. (coordenadas do ponto: 0751560 / 7536517 WGS84 23k).	79
Figura 48- Formação de área alagada na Vista aérea da confluência do córrego Dantas e Boa Vista. Formação de múltiplos canais com escoamento lento e elevada carga sedimentar. Fotografia tirada imediatamente após o evento de 2011.....	80
Figura 49- Área da confluência do córrego Dantas e Boa Vista. Formação de planície de inundação associada ao entulhamento do fundo do vale e espriamento do fluxo do rio. Fotografia tirada imediatamente após o evento de 2011.....	80
Figura 50- Dados de boletim de sondagem projeto executivo. Ponto SP06, próximo à confluência com o rio Bengalas (DIRAM/INEA).....	82
Figura 51- Dados de boletim de sondagem projeto executivo. Ponto SP36, localidade de Girassol (DIRAM/INEA)	83

Figura 52- Gráficos do quantitativo de margens confinadas para os anos de 2010 (A), 2011 (B) e 2014 (C). Fotos da localidade Girassol em: (D) 2011 (foto sobrevoio INEA/DIRAM) e (E) 2013 (Ecologus)	85
Figura 53- Mapeamento da margem e classificação do seu confinamento para o período de 2011	86
Figura 54- Mapeamento da margem e classificação do seu confinamento para o período de 2011	87
Figura 55- Mapeamento da margem e classificação do seu confinamento para o período de 2011.	88
Figura 56- Mapa dos estilos fluviais da bacia do córrego Dantas.....	90
Figura 57- Mapa dos estilos fluviais da bacia do córrego Dantas.....	91
Figura 58- Estilos Fluviais do córrego Dantas	93
Figura 59- Resposta inicial de incisão e exumação de depósitos antigos em vale confinado	94
Figura 60- Resposta inicial de acreção vertical na de planícies descontínuas em vale parcialmente confinados.	95
Figura 61- Movimento de massa conectado provocado pela erosão hídrica na base da encosta	96
Figura 62- Distribuição espacial dos movimentos de massa conectados e desconectados na bacia do córrego Dantas.....	97
Figura 63- Acreção vertical de depósitos de areia média e grossa em planície parcialmente confinada. Algumas casas soterradas indicam acúmulo de 2m em alguns pontos.	98
Figura 64- Remobilização dos sedimentos da planície com deposição de areia fina e argilas. Calha fluvial dragada emergencialmente para desobstrução do fluxo.....	98
Figura 65- Regeneração florestal em encostas de deslizamento. (A) Fotografia 2011; (B)2013.....	99
Figura 66- Chuvas máximas/24h mensais (ANA-estação Vargem Grande).....	101
Figura 67- Tabela Unidades Geomorfológicas 07/08/2010 (1)Número de unidades geomorfológicas (2) área mapeada das unidades geomorfológicas	102
Figura 68- Mapeamento das Unidades Geomorfológicas 07/08/2010.....	103
Figura 69- Mapeamento das Unidades Geomorfológicas 19/01/2011.....	105

Figura 70- Unidades Geomorfológicas 19/01/2011 (1) Número de unidades geomorfológicas (2) área mapeada das unidades geomorfológicas	106
Figura 71- Mapeamento das Unidades Geomorfológicas 06/05/2011.....	107
Figura 72- Unidades Geomorfológicas 06/05/2011 (1) Número de unidades geomorfológicas (2) área mapeada das unidades geomorfológicas	108
Figura 73- Mapeamento das Unidades Geomorfológicas 24/05/2013.....	109
Figura 74- Unidades Geomorfológicas 24/05/2013 (1) Número de unidades geomorfológicas (2) área mapeada das unidades geomorfológicas.	110
Figura 75- Unidades Geomorfológicas 02/01/2014 (1) Número de unidades geomorfológicas (2) área mapeada das unidades geomorfológicas	110
Figura 76 - Mapeamento das Unidades Geomorfológicas 02/01/2014.....	111
Figura 77- Unidades Geomorfológicas 28/01/2014 (1) Número de unidades geomorfológicas (2) área mapeada das unidades geomorfológicas.	112
Figura 78- Unidades Geomorfológicas 15/07/2016 (1) Número de unidades geomorfológicas (2) área mapeada das unidades geomorfológicas.	112
Figura 79- Mapeamento das Unidades Geomorfológicas 28/01/2014.....	113
Figura 80- Mapeamento das Unidades Geomorfológicas 15/007/2016.....	114
Figura 81- Localização das seções de monitoramento no córrego Dantas e sua posição no canal.....	115
Figura 82- Perfis topográficos da seção transversal 1 A.	116
Figura 83- Foto da seção 1 A. Fluxo turbulento incipiente (run) 05/07/2016.	116
Figura 84- Perfis topográficos da seção transversal 1B	117
Figura 85- Foto da seção 1 A. Fluxo com energia moderada, formando Soleiras (riffle) 05/07/2016.	117
Figura 86- Perfis topográficos da seção transversal 2.....	118
Figura 87- Barra composta por diferentes fluxos formadores. Verifica-se gradação nos sedimentos arenosos e presença de canal secundário. Apresenta substrato composto de seixos sustentados por areia grossa e média. À direita é possível identificar outros matacões posicionados na margem e outras barras formadas por processo semelhante (22/03/2016).	118
Figura 88- Perfis topográficos da seção transversal 3.....	119
Figura 89- Barras laterais formadas dentro da calha projetada do córrego Dantas (22/03/2016).	119

Figura 90- Perfis topográficos da seção transversal 4.....	120
Figura 91- Modelo conceitual da trajetória de ajustes para o estilo fluvial Cpo do Córrego Dantas, apresentando quatro estagios da evolução do canal. O estágio inicial representa o padrão pré Megadesastre11', e sua sequência de estágios segue as tendências de ajustes de largura e profundidade do leito, bem como marcos da nterferência antrópica.	121
Figura 92- Modelo conceitual da trajetória de ajustes para o estilo fluvial Cpo do Córrego Dantas, apresentando quatro estagios da evolução do canal. O estágio inicial representa o padrão pré Megadesastre11', e sua sequência de estágios segue as tendências de ajustes de largura e profundidade do leito, bem como marcos da nterferência antrópica.	122
Figura 93- Modelo conceitual da trajetória de ajustes para o estilo fluvial PCm do Córrego Dantas, apresentando três estagios da evolução do canal. O estágio inicial representa o padrão pré Megadesastre11', e sua sequência de estágios segue as tendências de ajustes de largura e profundidade do leito, bem como marcos da nterferência antrópica.	123
Figura 94- Modelo conceitual da trajetória de ajustes para o estilo fluvial PCpd do Córrego Dantas, apresentando quatro estagios da evolução do canal. O estágio inicial representa o padrão pré Megadesastre11', e sua sequência de estágios segue as tendências de ajustes de largura e profundidade do leito, bem como marcos da nterferência antrópica.	124
Figura 95- Modelo conceitual da trajetória de ajustes para o estilo fluvial Cpo do Córrego Dantas, apresentando quatro estagios da evolução do canal. O estágio inicial representa o padrão pré Megadesastre11', e sua sequência de estágios segue as tendências de ajustes de largura e profundidade do leito, bem como marcos da nterferência antrópica.	124
Figura 96- Modelo conceitual da trajetória de ajustes para o estilo fluvial Cpo do Córrego Dantas, apresentando quatro estagios da evolução do canal. O estágio inicial representa o padrão pré Megadesastre11', e sua sequência de estágios segue as tendências de ajustes de largura e profundidade do leito, bem como marcos da nterferência antrópica.	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Materiais e fontes de dados utilizados na pesquisa.....	28
Tabela 2- Lista de unidades geomorfológicas planares e concavas internas ao canal (exemplo, barras) e suas definições. Fonte: (adaptado de Wheaton et al 2015).....	36
Tabela 3- Lista de unidades geomorfológicas convexas internas ao canal (exemplo, barras) e suas definições (adaptado de Wheaton et al2015)	38
Tabela 4- Precipitação e Tempo de Recorrência.....	65
Tabela 5- Atributos distintivos dos estilos fluviais na bacia do córrego Dantas.	92
Tabela 6- Inventário de ocorrências de deslizamentos conectados e desconectados.	96

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	2
2 OBJETIVO	7
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-CONCEITUAL	8
3.1 Ambientes Fluviais: escalas, dimensões e tipologias de rios	8
3.1.1 Escalas Espaciais dos Sistemas Fluviais.....	10
3.1.2 Escalas Temporais dos Sistemas Fluviais	15
3.1.3 Mapeamento Geomorfológico e Taxonomia de Feições Fluviais.....	20
3.2 Arcabouço Metodológico dos Estilos Fluviais (River Styles)	21
3.3 Paradigmas Atuais na Gestão de Rios.....	23
4 METODOLOGIA	26
4.1 Aquisição de Dados	28
4.2 Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica (SIG)	29
4.2.1 Modelo Digital de Elevação e Produtos Derivados	29
4.2.2 Imagens de Satélite e Mapeamentos	29
4.3 Trabalhos de Campo.....	40
5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS	42
5.1 A História do Córrego Dantas, Antes e Após o Megadesastre'11.	42
5.2 Controles Regionais do Sistema Fluvial do Córrego Dantas	52
6 RESULTADOS	75
6.1 Características do Vale	75
6.2 Proformas dos Estilos Fluviais	89
6.3 Análise dos <i>Inputs</i> de Sedimentos e sua Conectividade ao Longo do Sistema Fluvial ..	94
6.4 Análise Temporal e Espacial das Respostas Geomorfológicas.....	99
7 DISCUSSÕES - Trajetória de Mudanças. Uma Análise da Resiliência/Sensibilidade do Sistema	121
8 CONCLUSÕES	126
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	128

1 INTRODUÇÃO

Os eventos geoclimáticos, associados às características assumidas pelas formas de ocupação do espaço geográfico, foram historicamente responsáveis pela ocorrência de desastres, provocando ano a ano um número crescente de perdas de vidas humanas. No contexto em que se discute o acirramento das mudanças ambientais globais, com o aumento dos eventos climáticos extremos, essa questão se torna cada vez mais relevante.

Os rios são importantes indicadores de stress ambiental quando ocorre excesso no suprimento de sedimentos e ajustes no canal devido a fatores relacionados ao desmatamento, pastagens e outras atividades que criam impactos acumulativos nos sistemas fluviais (ROSGEN, 1994; LEOPOLD et al 1964). Nesse sentido, o que se deve esperar das respostas dos rios a eventos climáticos extremos, sobretudo quando o sistema fluvial se relaciona a regiões montanhosas úmidas ou hiper úmidas?

Em tais ambientes, as ocorrências de movimentos de massa são frequentes e geralmente descarregam grandes quantidades de sedimentos nos canais fluviais, através dos fluxos de detritos. Kanji et al (2003) em um levantamento histórico dos fluxos de detritos no Brasil chamam a atenção para eventos de grande destruição e morte associados a chuvas de grande magnitude e numerosos deslizamentos de materiais saprolíticos e coluviais em regiões montanhosas.

A compreensão sobre as formas e processos dos rios, resultantes de grandes *inputs* de matéria e energia, juntamente com interpretações da variabilidade natural e evolução de longo prazo dos sistemas fluviais, têm concentrado a atenção das pesquisas nos seus efeitos espaciais e temporais, pois fornecem um conjunto de informações que corroboram para a avaliação da trajetória de ajustes dos canais frente a eventos de perturbação (KORUP et al, 2004; KORUP, 2006; Wohl, 2014).

Nesse sentido, compreender os padrões e efeitos das perturbações sobre os diferentes compartimentos que compõem o sistema fluvial é de fundamental importância para identificar os mecanismos que visem proteção do rio e de populações. Em outras palavras, a capacidade de desvendar as influências locais a partir de relações sistêmicas compreende um desafio atual para pesquisadores e proporciona base de informações úteis para a gestão de rios, pois permite traçar a

trajetória evolutiva de sua bacia (CUNHA, 2005; CULLUM, 2003; LIMA e MARÇAL, 2013; MARÇAL *et al.* 2017;).

No estado do Rio de Janeiro, apesar da existência de leis municipais que dispõem sobre Zoneamento dos municípios e o ordenamento do Uso e Ocupação do Solo, inundações frequentes, bem como problemas sociais graves relacionados à habitação e saneamento afetam, ainda nos dias de hoje, populações em diversos municípios.

A dimensão do evento de grande magnitude que ocorreu entre os dias 11 e 12 de janeiro de 2011 e conhecido como ***Megadesastre'11*** fez com que autoridades governamentais e a população civil se mobilizassem para prestar emergencialmente todo o tipo de apoio possível às populações atingidas. Para os citados municípios foi decretado estado de calamidade pública, dando início a um conjunto de ações que incluíram elaboração de diagnósticos e estudos de propostas para intervenções de recuperação ambiental das bacias mais impactadas. Na esfera Estadual, o INEA (Instituto Estadual do Ambiente) projetou e executou um conjunto de obras emergenciais e de macrodrenagem, no contexto do Projeto Rios da Serra, definindo um conjunto de serviços de engenharia, visando reestabelecimento das condições de escoamento da calha fluvial.

Neste evento, centenas de movimentos de massa gravitacionais foram deflagrados por condições climáticas extremas de precipitação, com chuva acumulada em 24 horas de 241,8 mm, com pico de 61,8 mm em uma hora. De acordo com o Anuário de Desastres Naturais, este evento deixou 912 mortos, além de 350 pessoas desaparecidas e 45 mil pessoas desabrigadas (Figura 1). Foi também considerado o maior desastre natural registrado no Brasil, no qual sete municípios da Região Serrana foram atingidos, sendo que as regiões mais afetadas foram os vales do Rio Cuiabá, em Petrópolis, do Córrego do Príncipe e do Rio Vieira, em Teresópolis e do Córrego Dantas em Nova Friburgo (DRM, 2011).

Os impactos causados pelo evento mencionado foram diferenciados em cada um dos municípios atingidos. De acordo com Dourado *et al* (2012) tal diferenciação se deu pela forma com que a chuva se deslocou na região (sentido SWW-NEE), a forma com que se deu a descarga da chuva durante esse trajeto e as características geológicas, geomorfológicas e morfométricas de cada bacia hidrográfica da região.

Figura 1- Deslizamentos na bacia do córrego Dantas.



Foto: DIRAM/INEA (2011).

A bacia de 6ª ordem do Córrego Dantas, devido à alta densidade populacional, foi uma das que mais registraram perdas de vidas humanas, bens materiais e danos em infraestruturas. Ao longo de toda a bacia ocorreram movimentos de massa que incidiram diretamente sobre a rede de drenagem, principalmente ao longo do canal principal, predominando o tipo Catarina¹ (LAGO *et al*, 2011; CORREIA *et al*, 2011).

Cabe destacar que no contexto geomorfológico da Serra do Mar, Sudeste do Brasil, os movimentos de massa decorrentes de tempestades tropicais são mecanismos dominantes de aporte de grandes volumes de sedimentos em canais fluviais. Trabalhos pioneiros elaborados por Meis e Silva (1968) já apontavam que em todo o Brasil tropical atlântico é possível observar os testemunhos das ações erosivas de grande magnitude, tanto sob a forma de cicatrizes quanto sob a forma de colúvios.

¹ Deslizamentos tipo “Catarina”: Em referência ao principal tipo de movimento que atingiu o estado de Santa Catarina no verão de 2008, é um movimento de alta velocidade, onde o material mobilizado sofre ruptura na transição solo residual jovem/solo maduro. A deflagração do movimento ocorre pela subida de poro-pressão na base das concavidades das encostas e o material mobilizado corresponde à capa de solo maduro e vegetação.

Em relação aos depósitos de encosta (colúvios), autores como, Ab'Saber (1962), Bigarella, Mousinho e Silva (1965) relacionam sua gênese a episódios ocasionados no pleistoceno até os dias atuais. Avelar *et al* (2011) apontam que eventos com características similares ocorreram no estado do Rio de Janeiro em 1966, 1967, 1988, 1996 e 2010, contribuindo para a percepção de que a dinâmica climática atual também é responsável pela contínua formação destes depósitos na paisagem. Tal perspectiva traz ainda mais importância ao estudo dos movimentos de massa, dos efeitos das grandes entradas de sedimentos para a evolução de sistemas fluviais e suas implicações para o manejo de rios em regiões montanhosas.

Diante dessas questões, pesquisas importantes se destacam e vêm ainda sendo conduzidas a fim de compreender as causas, características e mecanismos que deflagraram os movimentos de massa no *Megadesastre'11* e outros eventos pretéritos similares (AMARAL *et al.*, 201; BORGES *et al*, 2011; AVELAR *et al*, 2011; COELHO NETTO *et al*, 2011; PINTO & FREITAS, 2012; PINHO *et al*, 2011; MELO *et al.*, 2011; PINTO e FREITAS, 2012; RODRIGUES *et al.*, 2012; DOURADO *et al.*, 2012; FRAIFELD e FREITAS, 2013; LIMA *et al*, 2014; dentre outros). Por outro lado, poucos ainda são as pesquisas relacionadas à análise e quantificação dos efeitos resultantes de grandes fluxos de detritos que vão se deslocar nas encostas e nas calhas dos rios envolvidos nesse *Megadesastre'11*.

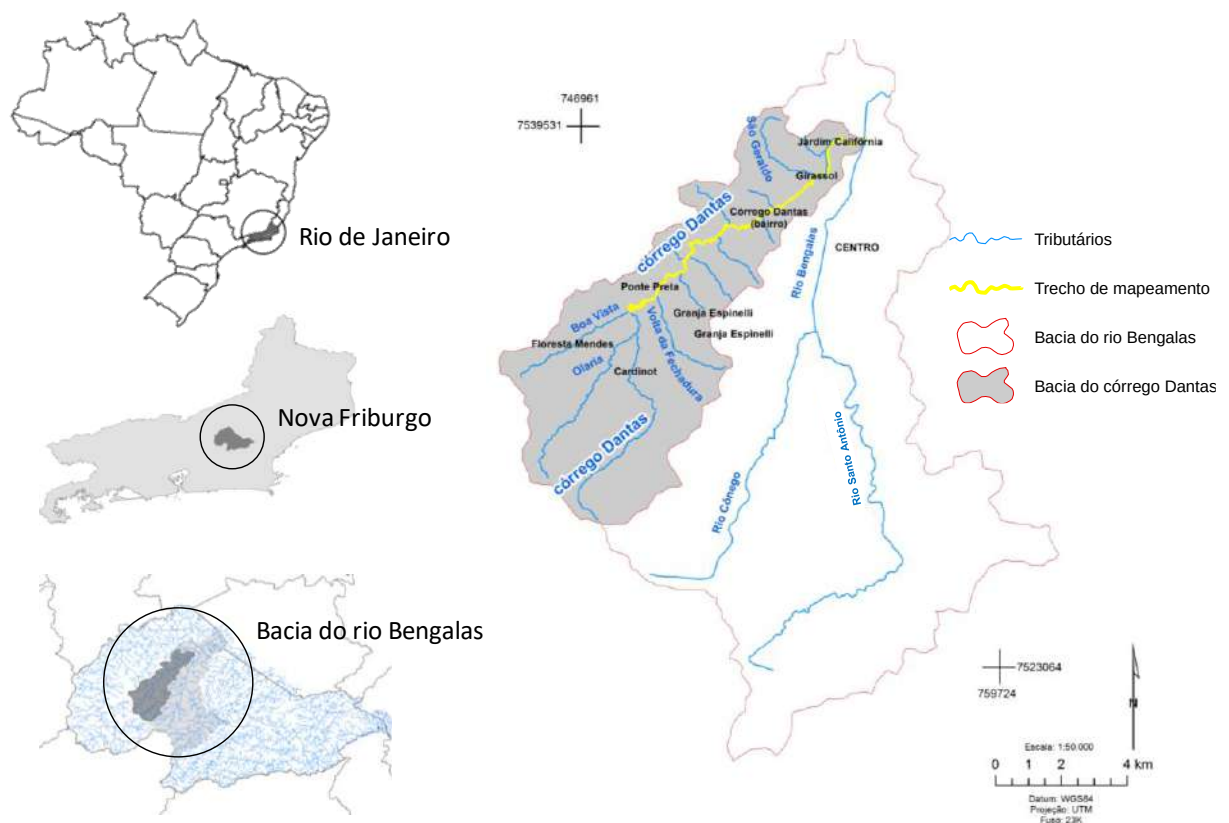
As investigações existentes no campo da geomorfologia fluvial, nesta área, corroboram com questões relevantes, porém muitas vezes ignoradas em projetos de manejo de rios e planejamento habitacional na Região do Córrego Dantas, tais como. De que forma este sistema se ajusta a eventos extremos de entrada de sedimentos? Como a interferência antrópica pode afetar a taxa dos processos nesses ambientes? É possível retorno ao estágio de referência do sistema fluvial impactado?

Neste sentido, a presente pesquisa desenvolveu-se em torno de análises acerca da trajetória de mudança e ajustes geomorfológicos ocorridos no Córrego Dantas, abrangendo parte da área urbana de Nova Friburgo, atingida durante este evento extremo de entrada de sedimento, bem como trechos que receberam intervenções estruturais na calha.

A área de estudo compreende a sub-bacia do Córrego Dantas, afluente da margem esquerda do Rio Bengalas (Bacia do Paraíba do Sul) localizada no município de Nova Friburgo, Região Serrana do estado do Rio de Janeiro (Figura 2). O Córrego

Dantas se desenvolve através de um vale de formato alongado, desenvolvido sobre linhas preferenciais de fratura, com talvegue de 20,5 km e área de contribuição de aproximadamente 53 km². A sub-bacia tem como principais afluentes são os córregos: Boa Vista, São Geraldo, Olaria e Volta da Fechadura. A porção central da bacia está situada a seis quilômetros da sede do município e se caracteriza como área urbana, predominantemente residencial, com atividade econômica voltada para o comércio, prestação de serviço e indústria e, em sua área rural, agropecuária.

Figura 2- Mapa de Localização da área de estudos



O segmento do Córrego Dantas de aproximadamente 11 km que vai da confluência do córrego Boa Vista até a confluência com o rio Bengalas foi selecionado para estudos mais detalhados, tendo em vista ser a área com a maior disponibilidade de evidências de modificações morfológicas após o evento *Megadesastre'11*.

2 OBJETIVO

O objetivo da pesquisa é compreender a trajetória das respostas geomorfológicas do Córrego Dantas, distribuídas espacial e temporalmente, frente às variações de magnitude e frequência das chuvas, da entrada de sedimentos no sistema fluvial e das intervenções antrópicas diretamente conduzidas na calha fluvial. A partir das respostas geomorfológicas decorrentes do evento geoclimático de grande magnitude, denominado *Megadesastre'11*, busca-se compreender os padrões de resiliência, capacidade de ajuste e suscetibilidade às mudanças do canal. Para tanto, foram formulados os seguintes objetivos específicos:

1. Explicar os controles regionais na morfologia do rio (controles geológicos, geomorfológicos, climáticos e morfométricos).
2. Caracterizar os diferentes ambientes fluviais do Córrego Dantas, estabelecendo parâmetros de controles locais anteriores ao desastre;
3. Identificar espacial e temporalmente a ocorrência de feições geomorfológicas no córrego Dantas;
4. Explicar as respostas do canal em termos de concentração/dissipação de energia e transferência/deposição de sedimentos pós-desastre.
5. Explicar os padrões de ajustes geomorfológicos operados na bacia;
6. Avaliar as implicações da magnitude e frequência dos processos geomorfológicos do córrego Dantas para a gestão e manejo da bacia.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-CONCEITUAL

A abordagem teórica e conceitual delineada nesta pesquisa buscou fornecer, em linhas gerais, um caminho calcado na compreensão científica da geomorfologia para interpretar as respostas de sistemas fluviais montanhosos à grandes entradas de sedimentos e explicar seu papel na dinâmica de comportamento e mudanças dos mesmos. Desta forma, este capítulo abrangerá duas partes, onde a primeira discute os ambientes fluviais na perspectiva da abordagem sistêmica, das escalas e dimensões em que operam os processos, e as classificações de feições e tipologias fluviais, como importantes ferramentas para interpretação do comportamento do rio. A segunda aborda os paradigmas atuais nas questões relacionadas ao manejo de rios.

3.1 *Ambientes Fluviais: escalas, dimensões e tipologias de rios*

O conceito de sistema é um conceito-piloto, que pode ser considerado uma unidade complexa organizada resultante das interações entre um observador e o universo fenomênico, que permite representar e conceber unidades complexas constituídas por inter-relações organizacionais entre elementos.

A noção de sistemas não é simples e nem absoluta, comporta na sua unidade, relatividade, dualidade, multiplicidade, cisão, antagonismo e o problema da sua inteligibilidade abre a problemática da complexidade (MORIN, 2013). Portanto, a organização transforma, produz, liga e mantém o sistema.

O conceito de sistema tornou-se, a partir da década de 1950, um arcabouço amplamente utilizado nas ciências ambientais, ao propor uma abordagem que destaca os níveis de complexidade nas interações de fluxos de energia e matéria, a partir de princípios que reconhecem a interação de processos físicos, químicos e bióticos. (CHRISTOFOLETTI, 1990; PIÉGAY & SCHUMM, 2003). Neste período, a geomorfologia fluvial aproximou-se ainda mais da hidrologia, da engenharia hidráulica e da geologia (MARÇAL & LIMA 2016). Nessa linha destacam-se importantes trabalhos como a ordem dos canais de Horton (1945) e Straler (1952), o índice de gradiente do rio de Hack (1957) e o nível de margens plenas de Wolman e Leopold (1957).

Ainda neste período, outras mudanças significativas ocorreram, em grande parte, como resultado de avanços tecnológicos. O trabalho de campo deixou de ser o principal domínio de atividade dos geomorfólogos e tornou-se uma das pernas de tripartite, envolvendo o trabalho de campo de rotina, o sensoriamento remoto e a análise de dados de monitoramentos (PIEGÁY *et al* (2015).

PIEGÁY *op cit.*, 2015 aponta que na primeira década do século XXI, a Geomorfologia Fluvial se desenvolveu em uma perspectiva dividida entre a ênfase investigativa das interações geológicas fundamentais (ex: tectônica, clima e topografia); a quantificação da variabilidade nos fluxos de materiais (ex: leis de transportes geomorfológicos); e a pesquisa focada nas interações fluvial-humana, desenvolvendo o conhecimento geomorfológico aplicado a preocupações contemporâneas da sociedade (ex: restauração de rios e vazões ecológicas²).

Neste contexto, a Geomorfologia Fluvial passou a reconhecer um conjunto mais diversificado de ambientes fluviais do que aqueles que foram o foco das pesquisas pioneiras durante a década de 1960. As noções de magnitude e frequência que modelam a forma dos rios (LEOPOLD e WOLMAN, 1964; WOLMAN e GERSON, 1978), os ajustes de energia e a forma dos rios no tempo e no espaço (SCHUMM, 1973), e os efeitos do uso da terra nos rios (BRUNSDEN e THORNES, 1979), elevaram a complexidade com a qual os sistemas fluviais passaram a ser concebidos e analisados, trazendo diferentes possibilidades de entendimento da paisagem de um rio. Isso criou desafios para os quais os pressupostos estabelecidos, até então, sobre diferentes magnitudes e frequências de fluxo, distribuição de forças hidráulicas, condições de transporte de sedimentos, bem como sobre a maneira em que rios se ajustam, não seriam mais capazes de responder adequadamente para todo o espectro de tipos de rios que se passou a analisar (CORRÊA, 2005; LEGLEITER, 2013; KONDOLF *et al*, 2003; CHURCH, 2010; CARBONNEAU e PIÉGAY, 2012).

Deste modo, em sistemas fluviais, a complexidade de processos geomorfológicos, hidrológicos e bióticos operando sobre múltiplas escalas espaciais e temporais produzem notável diversidade de ambientes ribeirinhos (POOLE, 2002).

² É a demanda necessária de água a manter num rio de forma a assegurar a manutenção e conservação dos ecossistemas aquáticos naturais, aspectos da paisagem de outros de interesse científico ou cultural (Benetti *et al* 2003)

Embora a heterogeneidade espacial garanta que a composição biofísica de todos os sistemas apresente especificidades, muitas relações espaciais e padrões se repetem entre sistemas (CULLUM *et al.*, 2008). Isto é, embora as contingências espaciais e temporais garantam que a composição biofísica de todos os sistemas seja única, muitas relações espaciais e padrões podem se repetir de uma bacia para a outra (BRIERLEY e FRYIRS, 2008).

Em razão das escalas em que operam as variáveis físicas em sistemas fluviais, diferentes caminhos conceituais desenvolveram-se para analisar sua organização espacial e temporal.

3.1.1 Escalas Espaciais dos Sistemas Fluviais

A escala compreende um recurso metodológico para a pesquisa geográfica. Segundo Castro (2014, p.92), “a escala não existe, o que existe é o fenômeno”. Deste modo, o autor discute a escala como um problema operacional fundamental na definição do recorte espacial significativo para a análise do fenômeno. Refletir sobre a escala em geografia é tomar o fenômeno e sua abrangência espacial, independente do ator responsável por ele. É conferir visibilidade à parcela ou dimensão do real, permitindo pensar o fenômeno a partir da medida da sua significância, isto é, da extensão que lhe dá sentido.

Assim como o fenômeno, a escala de análise também não é dada por natureza, mas fruto de uma escolha intelectual, influenciada pelas matrizes intelectuais dos pesquisadores e seu contexto, baseadas numa distinção metodológica entre realidade e objeto de conhecimento.

Identificar as escalas de análise apropriadas para cada nível de organização interna de um sistema fluvial é uma tarefa que desafia os pesquisadores. Em razão das escalas em que operam as variáveis físicas em sistemas fluviais, dois caminhos conceituais desenvolveram-se para analisar sua organização espacial e temporal. De um lado, uma visão de rede (ênfatisando controles na escala do sistema), de outro, uma visão de trechos (focando na descontinuidade e nos controles locais) (PETTS e AMOROS, 1996; Schumm, 1977).

Para Cullum *et al.* (2008), essas duas perspectivas compõem o paradigma da continuidade e descontinuidade. Segundo os autores, enquanto a primeira oferece

modelos de interpretação preditivos da rede, a segunda visa compreender ocorrência de heterogeneidades induzidas por fatores controladores que operam em escala local.

Diversos componentes do sistema fluvial podem ser investigados em escalas distintas, mas nenhum componente deve ser totalmente ignorado, pois a hidrologia, a hidráulica, a geologia e a geomorfologia interagem em todas as escalas. Desse modo, a visão total do sistema fluvial não deve ser negligenciada, mesmo quando somente uma pequena parte dele está sendo analisada.

A habilidade de desvendar as influências locais a partir de relações sistêmicas compreende um desafio atual para pesquisadores e proporciona base de informações útil para a gestão de rios, pois permite identificar sinergias e interações entre diferentes ambientes (CULLUM, 2003).

Neste contexto, os sistemas fluviais e seus componentes podem ser considerados em diferentes escalas espaciais, podendo ter maior ou menor detalhe. A integração das informações levantadas sobre elementos de diferentes níveis escalonares pode ser feita dependendo, em primeiro lugar, do objetivo da análise e, em segundo, da natureza dos dados disponíveis. (SIMON e CASTRO, 2003).

Destaca-se três perspectivas contemporâneas sobre a análise espacial de sistemas fluviais, apontadas por Cullum *et al*, (2008): Sistema Fluvial como uma Rede Hierárquica; Dimensões do Sistema Fluvial; e Classificação Geomorfológica de rios.

A primeira perspectiva sobre sistemas fluviais é embasada em uma visão de rede, enfatizando controles na escala do sistema, tendo as escalas do sistema e local uma relação hierárquica. A segunda representa uma abordagem baseada em trechos e foca na descontinuidade e nos controles locais. Já a terceira abordagem discute modelos de integração de escalas de análise para fins de classificação de rios.

A perspectiva do Sistema Fluvial como uma Rede Espacial Hierarquizada engloba a Teoria da Hierarquia que é amplamente utilizada na ecologia e ciências da terra (ALLEN e STARR, 1982). Dentro desta teoria os sistemas são apreendidos como elementos dispostos em diferentes níveis de organização. Elementos em níveis mais elevados na hierarquia restringem atributos e comportamento em níveis mais baixos.

Apesar de influências locais e descontinuidades que geram heterogeneidades, os padrões gerais de organização espacial sugeridos pelas teorias baseadas em *continuum* fluvial e geometria fractal são encontrados em muitos sistemas fluviais. Essas duas perspectivas distintas compõem o paradigma da descontinuidade e continuidade. Conciliar ambas perspectivas é relevante para abordagens baseadas

em processos que ligam atributos físicos observáveis com a previsão de comportamentos e trajetória de mudanças.

Todos esses aspectos são abordados de maneira hierárquica, onde fenômenos de escala local estão subordinados aos de escala regional. Alguns modelos visam orientar e otimizar o uso de informações geográficas, ajudando a diferenciar os aspectos que podem ser relevantes dos que representam informações adicionais supérfluas.

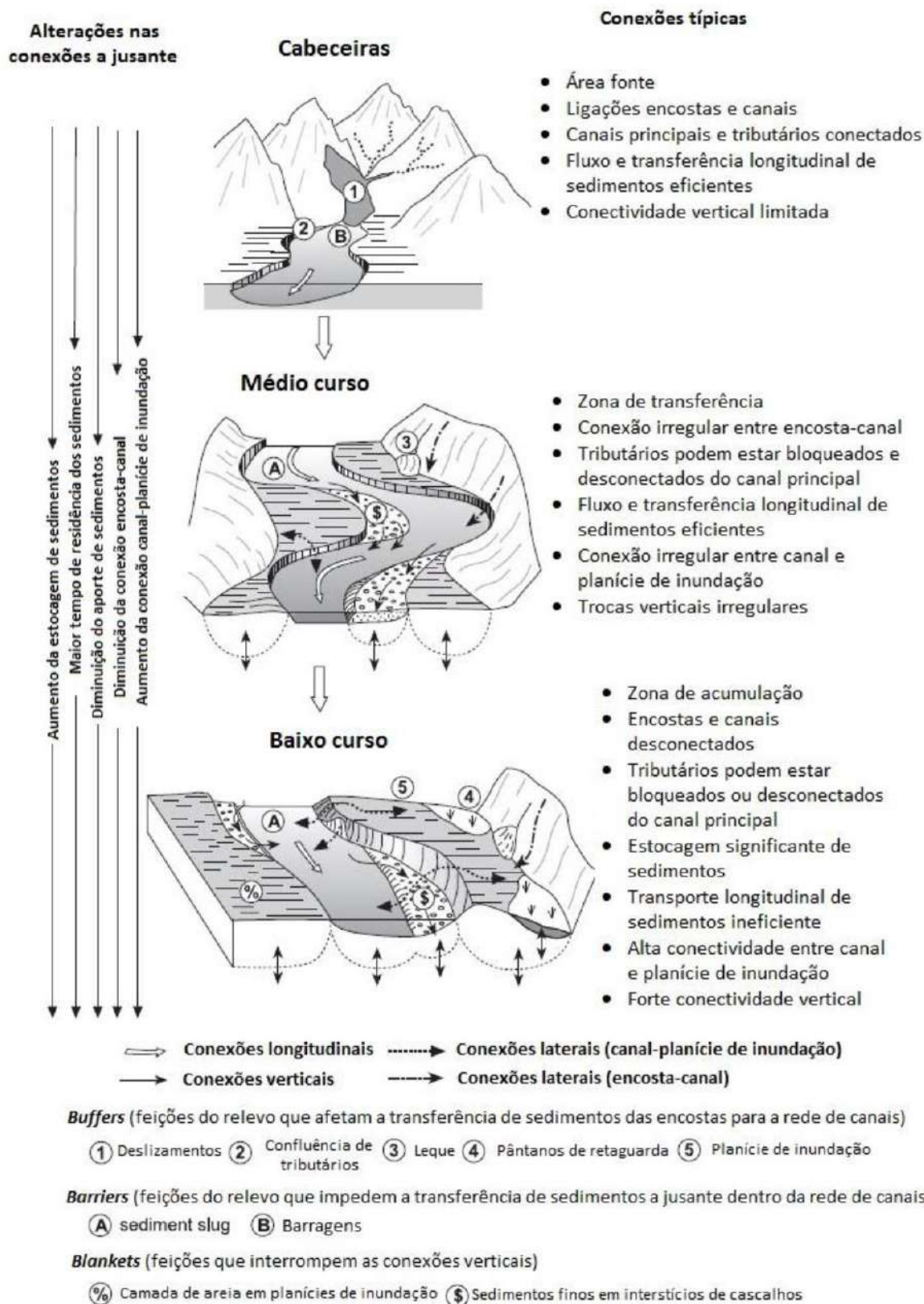
Outra forma de analisar o sistema fluvial é abordar ou destacar as dimensões em que operam os componentes e elementos do sistema. Os gradientes físicos em sistemas fluviais ocorrem em múltiplas escalas e dimensões que permitem mensurar a capacidade de ajuste do rio (PETTS e AMOROS, 1996). Nesta perspectiva, a funcionalidade de sistemas fluviais depende de interações dinâmicas dos processos hidrológicos, geomorfológicos e biológicos, tanto nas dimensões longitudinal, lateral e vertical, como sob diferentes escalas temporais.

A dimensão longitudinal compreende as relações montante-jusante e tributário-tronco; a dimensão lateral contém relações encosta-canal e canal-planície; a dimensão vertical inclui níveis de inundação e interações superfície-sub-superfície; e por último, a dimensão temporal compreende magnitude, frequência e sincronismo do movimento da água e sedimentos, regimes de perturbação e padrões decorrentes de perturbações (Figura 3).

Os exercícios de isolar relações e atributos do sistema e colocar cada dimensão em perspectiva podem ser úteis para que se consiga descrever movimentos e conexões específicas, que podem se replicar em diferentes escalas nos sistemas fluviais.

A abordagem da *classificação geomorfológica dos rios* integra uma importante etapa dos procedimentos metodológicos desta pesquisa, por constituir uma ferramenta que orienta a interpretação dos arranjos espaciais e dos processos geomorfológicos dentro da bacia.

Figura 3- Conectividade em uma bacia idealizada. As ligações laterais, longitudinais e verticais apresentam forças diferentes no alto, médio e baixo curso de uma bacia idealizada, de acordo com a configuração dos processos de cada zona e a localização dos bloqueios.



Fonte: FRYIRS (2013, p. 35) tradução DUARTE (2015).

Cabe ressaltar, que a delimitação de tipologias fluviais ao longo do curso de um mesmo rio tem se tornado uma metodologia amplamente utilizada por planejadores que buscam compreender as interdependências que ocorrem entre as diferentes seções do rio, desde o alto ao baixo curso. Modelos de classificação de rios vêm sendo elaborados no intuito de identificar as relações entre processos e formas ao longo dos rios, sob a perspectiva de que estes ocupam um lugar dentro do contexto da paisagem e da bacia, reconhecendo que um rio faz parte de um sistema físico com uma história evolutiva (KONDOLF *et al*, 2003).

Entendida como o ordenamento de objetos em grupos de características comuns, a classificação permite registrar a diferenciação de atributos, o que confere aos cientistas uma maneira eficiente de distinguir objetos similares e representativos em um universo aparentemente caótico e confuso. Os sistemas de classificação geomorfológicos buscam ainda, facilitar a interpretação dos arranjos espaciais e dos processos geomorfológicos dentro da bacia, bem como organizar o trabalho e aperfeiçoar a comunicação, especialmente quando são abordadas questões interdisciplinares.

Em virtude da ampla variação de tamanho, forma e dinamismo dos rios, as tentativas de elaborar esquemas de classificação resultaram em uma gama de estudos que servem a propósitos que vão desde interpretação de tipologias, para se entender a evolução da paisagem, a métodos que buscam contribuir para projetos de recuperação (Figura 4).

Para se evitar que os esquemas de classificação de rios tornem-se simplistas ou demasiadamente complexos, os procedimentos escolhidos para a realização da classificação de sistemas fluviais, a partir da morfologia dos canais, devem ser compatíveis com a escala e o objetivo do estudo, para que não se cometa o erro de estudar fenômenos irrelevantes ou mesmo simplificar em demasia fenômenos de grande importância.

Desse modo, antes de se escolher qual esquema de classificação será aplicado, é preciso saber quais variáveis serão utilizadas como parâmetros para a classificação. De modo geral, os procedimentos de aquisição de dados geomorfológicos incluem atributos como padrão de canal e sinuosidade, dimensão dos canais, tamanho dos sedimentos, gradiente do canal, área drenada, relevo, características do vale, pluviosidade anual e litologia (ROSGEN, 1994).

Figura 4 - Variáveis espaciais e escalas utilizadas para 21 esquemas de classificação geomorfológica de canais.

	Unidades Geológicas e Geomorfológicas Ambiente de Vale Padrão de Canais, Sinuosidade Morfologia do Canal Gradiente Energia do Fluxo Tamanho dos Sedimentos Carga de Sedimentos de Fundo Unidades Morfológicas Ajustes Morfodinâmicos 10 ² e mais 10 ² 10 ³ 10 ⁴ 10 ⁵ 10 ⁶													
	Variáveis							Escala Espaciais (Km ²)						
Leopold e Wolman (1957)			●							●	●	●		
Rust (1978)			●							●	●	●		
Lotspeich (1980)	●							●	●	●	●	●		
Cloots e Maire (1980)	●	●	●	●					●	●	●	●		
Ferguson (1981)			●			●				●	●	●		
Maire e Wilms (1984)		●	●	●	●		●					●	●	
Brussock et al. (1985)	●							●						
Frissel et al. (1986)	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●
Hugues et al. (1993)	●							●						
Cupp (1989)		●	●							●	●	●		
Agence de l'Eau Rhin-Meuse et al. (1991)	●			●	●					●	●	●		
Otto (1991)		●	●		●		●			●	●	●		
Hanson e Croke (1992)		●	●	*		●	●	●	●		●	●		
Carbonnois e Zumstein (1994)	●	●			●						●	●		
Downs (1994,1995)	●				●			●			●	●	●	
Rosgen (1994, 1996)		●	●	●	●		●					●	●	●
Petit (1995)			●			●			●		●	●		
Hanson e Knighton (1996)	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●		
Bethemont et al. (1996)	●	●	●	●	●			●	●	●	●	●	●	●
Bernot et al. (1996)	●			●	●	●	●				●	●		
AQUASCOP (1997)	●	●	*	*	*	●	*	●			●	●		

*: Variáveis parcialmente consideradas

Fonte: adaptado de KONDOLF et al, (2003).

3.1.2 Escalas Temporais dos Sistemas Fluviais

Em cada domínio geomorfológico, processos endógenos e exógenos interagem com magnitude e frequência descontínuas no tempo e no espaço, agindo sobre os materiais existentes (também diferenciados quanto à resiliência aos impulsos recebidos), produzindo respostas mensuráveis das formas e das cargas de sedimentos resultantes.

Segundo Coltrinari (2011), as respostas de cada ambiente geomorfológico a mudanças se materializam como conjuntos de formas, resultantes da duração dos impulsos e do tempo transcorrido, se integrando numa paisagem que reflete forte dependência em relação aos processos que a geraram. As formas "características" refletiriam a atuação de sistemas "constantes" (*sensu*: Brunnsden, 1980) sujeitos a

impulsos de mudanças provocados por eventos de grande magnitude-baixa frequência ou por mudanças ambientais ou instabilidade estrutural. Esses impulsos geram na paisagem um comportamento instável e originam formas transitórias que podem representar o início de mudanças permanentes em direção a um novo estado "característico".

Nos sistemas fluviais os processos biofísicos operam através de uma gama de escalas de tempo. Durante longos períodos, influências geológicas como tectônica e controle de nível de base conduzem à evolução da paisagem, moldando o relevo, a declividade, o confinamento do vale e padrões de erosão e sedimentação (SCHUMM e LITCHY, 1965). Estas correspondem às condições de limite do sistema. Em contraste, influências climáticas definem as condições de limite do fluxo dentro das quais o sistema fluvial opera. Interações entre fluxo, sedimento, relevo e vegetação determinam o regime comportamental de cada tipo de rio.

Deste modo, os sistemas fluviais tendem a representar subsistemas de grande sensibilidade aos impulsos de mudança, com relaxamento e passagens rápidas a outros estados. Canais fluviais, praias e sistemas de solos servem como exemplo, já que se comportam como filtros de energia e são sensíveis às mudanças de clima e do nível do mar (Coltrinari, 2011). Estas paisagens são complexas, pois novos impulsos podem chegar antes de completados os ajustes, favorecendo a coexistência de formas transitórias e características.

Neste contexto, mudanças climáticas podem alterar as condições de limite de fluxo, possibilitando a criação de um novo tipo de rio com uma capacidade de ajuste diferente (BRIERLEY e FRYIRS, 2005). Exemplo deste processo é dado por Kizarski e Rotnicki (1977), ao analisarem a transformação da forma em planta de muitos rios europeus, passando de entrelaçados para meândricos à medida que os sistemas se ajustaram para condições pós-glaciais.

Em escalas de tempo mais curtas, os rios estão sujeitos a um conjunto de eventos impactantes, tais como inundações, secas e queimadas. Tais eventos são concebidos como *perturbações ao sistema fluvial*, sendo definidas como uma mudança na intensidade dos processos, referindo-se a qualquer fator que afete as condições de limite. Isto pode implicar em mudanças no controle geológico (condições de limite impostas), como eventos de atividade tectônica. Padrões e taxas de ajustes ou mudanças nos rios refletem a natureza dos eventos de perturbação.

Lake (2000) descreve a variabilidade da natureza, ritmo e magnitude dessas perturbações, que se distinguem amplamente de sistema para sistema, sendo descritos a seguir:

Pulse Disturbance são denominados os eventos episódicos de baixa frequência, alta magnitude e duração limitada (ex. inundações sazonais), cujos efeitos tendem a ser localizados. Impactos fora do local de ocorrência são mínimos e breves, assim como a reorganização do material do leito dentro do trecho do rio após a enchente. *Press Disturbance* corresponde à alteração persistente e contínua das condições de limite do fluxo (ex. construção de uma barragem). Tais eventos e suas respostas ocorrem sobre áreas maiores do que o tipo *Pulse Disturbance*, e as respostas não são espacialmente uniformes e tendem a ser mais permanentes. Por último, *Ramp Disturbance* são eventos cuja força de sua influência cresce continuamente ao longo do tempo e do espaço. Exemplos incluem secas prolongadas associadas à mudança climática regional decorrente da entrada nas condições pós-holoceno médio, bem como o aumento da frequência de eventos de alta magnitude (*Pulse-Disturbance*).

Além da natureza dos impactos, Brunsden e Thornes (1979) afirmam que é necessário compreender as respostas do sistema a eventos de perturbação individuais, pois são seus efeitos cumulativos que determinam a trajetória de mudanças no rio.

Nessa perspectiva, os ecossistemas aquáticos não são estáticos ou meramente produto de formas e processos contemporâneos. A história possui grande importância, à medida que os rios são influenciados por eventos passados que tem moldado sua trajetória evolucionária. Essa marca do passado é comumente referida como herança, antecedência, memória do sistema, ou contingência histórica, compreendendo as pré-condições de respostas do sistema para eventos de perturbações contemporâneas (RINALDI et al, 2012; BOLATTI et al, 2011).

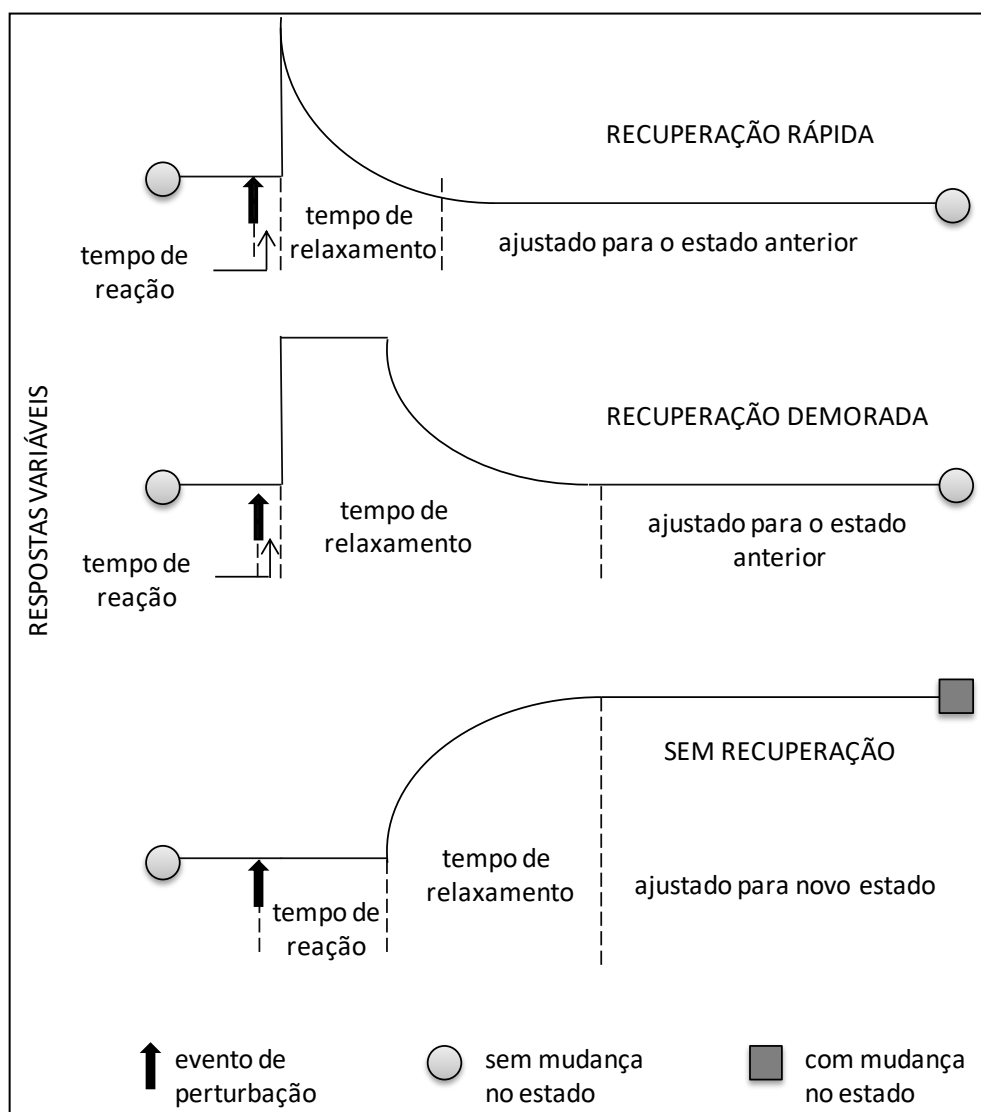
Os tipos de respostas do sistema fluvial aos diferentes tipos de perturbação variam, refletindo as condições da paisagem e a conectividade do sistema, isto é a variabilidade da trajetória dos sedimentos entre a origem e a saída do sistema ou entre seus compartimentos (HOOKE, 2003).

Em paisagens conectadas, os efeitos de perturbação são frequentemente propagados através delas. Em contraste, respostas a perturbações são ineficientemente propagadas através de paisagens desconectadas. Barragens, por

exemplo, inibem a condução de água e sedimentos, absorvendo ou amortecendo os impactos.

Brunsdon e Thornes (1979) propõem três categorias para analisar os tipos de respostas, sendo elas o tempo de reação, tempo de relaxamento e tempo de recuperação. O tempo de reação é definido como o tempo necessário para que o sistema responda a uma mudança nas condições ou a uma mudança de intensidade de um processo. Tempo de recuperação compreende uma medida da capacidade geral do sistema para retornar ao seu estado antecedente, ou alcançar uma forma característica entre eventos de perturbação (Figura 5).

Figura 5- Respostas do sistema a eventos de distúrbio. Dependendo da sensibilidade do sistema a ajustes, respostas podem ser rápidas com recuperação veloz, podem ser lentas ou podem induzir adaptações no sistema a um novo estado.



Fonte: BRIRLEY e FRYIRS (2010).

Dependendo da sensibilidade do sistema às perturbações e o tempo entre estes eventos, várias formas de recuperação podem ocorrer. A rápida recuperação ocorrerá em sistemas autoajustáveis. Nesse caso, o sistema é capaz de se adaptar muito facilmente e rapidamente após a perturbação. A reação e o tempo de relaxamento são rápidos. A demora na recuperação de um distúrbio ocorre após um intervalo de tempo. O tempo de reação pode ser rápido, mas o sistema leva algum tempo para voltar ao seu estado anterior. Alguns distúrbios podem forçar um sistema além de sua capacidade de manter ou recuperar a sua forma. Nestes casos, o sistema se ajusta para uma condição de fluxo alterada e uma nova configuração é formada, onde eventos podem deixar uma impressão persistente sobre a paisagem.

Por outro lado, cheias de diferentes magnitudes, frequência e duração proporcionam diferentes formas e taxas de ajustes geomorfológicos³ para diferentes tipos de rios.

Desse modo, a análise da relação Magnitude-Frequência de cheias e a avaliação do histórico de vazões são necessárias para interpretar quais eventos moldam e ajustam dentro de uma morfologia característica e os eventos que alteram a trajetória evolutiva de um segmento do rio.

O conhecimento dessas relações é de grande relevância para previsão de prováveis ajustes fluviais no futuro. Por último, a análise de formas e processos fluviais contemporâneos permite a compreensão da variabilidade natural, e a evolução de longo prazo proporciona bases para interpretar as respostas dos rios a diferentes perturbações naturais ou antropicamente induzidas.

Cada vez mais têm-se considerado variações médias em torno de um estado característico para fornecer uma representação do caminho evolutivo de um sistema (WU e LOUCKS, 1995). A natureza e as taxas nas quais os rios se ajustam variam de sistema para sistema e ao longo de diferentes períodos de tempo, de maneira que significativa diferenciação pode ser feita entre os termos comportamento fluvial e mudança.

³ Em sistemas fluviais, a capacidade de ajuste é uma medida da variabilidade potencial e extensão de ajustes geomorfológicos que podem ocorrer ao longo de um rio (BRIERLEY e FRYIRS, 2005).

O *comportamento* fluvial reflete ajustes geomorfológicos e ecológicos em curso ao longo de períodos nos quais as condições de contorno de fluxo permanecem relativamente uniformes (ex. regime de descarga sólida e líquida), de maneira que um trecho mantenha uma configuração característica da relação de forma e processo.

A *mudança fluvial* (ou metamorfose) por outro lado, ocorre quando um segmento do rio sofre uma substituição indiscriminada em sua relação de forma e processo estabelecida (SCHUMM, 1969). Isto pode ser induzido por uma perturbação de ordem natural ou antrópica. Ocasionalmente, os rios são sujeitos a mudanças dramáticas e quase instantâneas em resposta a eventos catastróficos. Em alternativa, caso o sistema encontre-se perto de uma condição de limite, eventos relativamente pequenos podem reconfigurar o sistema para um estado alternativo (SCHAEFFER *et al.*, 2001). Desse modo, as mudanças em um rio podem ocorrer tanto quando fatores intrínsecos (ex. declividade) e extrínsecos (ex. clima) transgridem repentinamente a condição de limite, como através de ajustes progressivos (ex. desmatamento).

3.1.3 Mapeamento Geomorfológico e Taxonomia de Feições Fluviais

Ao longo de sua história a geomorfologia fluvial vem empregando diversas técnicas para classificação de rios em grupos, baseados em características similares e processos dominantes. Nesse contexto, o mapeamento do rio tem sido uma técnica amplamente utilizada na busca por interpretar e quantificar processos, controles, avaliar mudanças, potencial de ajuste no rio etc. (BRASINGTON *et al.*, 2003; FULLER *et al.*, 2003; BEECHIE *et al.*, 2010; RONI *et al.*, 2012; CARLING *et al.*, 2013; WHEATON *et al.*, 2015). Tais mapas podem ser considerados dados brutos que descrevem e/ou quantificam as formas do rio. Por outro lado, podem também representar produtos derivados que refletem sínteses e interpretações (Wheaton *et al.*, 2015).

Na medida em que o mapeamento geomorfológico e a identificação dos construtos fluviais⁴ depende de classificações, percebe-se que a literatura da

⁴ Construtos fluviais representam as unidades básicas pelas quais a paisagem fluvial é construída, cada uma com sua própria associação de processo-forma, permitindo a interpretação dos elementos preponderantes para o estabelecimento de padrões do fluxo e dinâmica erosiva/deposicional. A presente tese irá se referir como unidades geomorfológicas (*geomorphic units sensu Brierley e Fryirs, 2005; Fryirs e Brierley, 2013c*).

geomorfologia fluvial, carece, tanto no cenário nacional, como internacional, de uma abordagem de identificação e nomeação destas feições que seja amplamente aplicável metodológica e semanticamente.

Apesar do trabalho de Leopold e Wolman (1957), possuir o mérito de reunir as informações básicas sobre os três tipos de rios (retilíneo, meandrante e anastomosado), na natureza existe uma série de padrões intermediários. Este é um problema de relevância tanto para interpretação/mapeamento em campo, como através de dados de sensoriamento remoto.

3.2 *Arcabouço Metodológico dos Estilos Fluviais (River Styles)*

A delimitação de tipologias fluviais ao longo do curso de um mesmo rio tem se tornado uma metodologia amplamente utilizada por planejadores, por permitir compreender as heterogeneidades, singularidades e interações que ocorrem entre as diferentes seções do rio desde o alto ao baixo curso. Neste contexto, os esquemas de classificação têm sido utilizados na busca por compreender o potencial de cada rio, como por exemplo: canais instáveis, canais propensos à migração lateral ou canais sensíveis às mudanças de uso do solo.

Dentre as diferentes abordagens oferecidas pelos esquemas de classificação existentes na literatura científica, a presente pesquisa utiliza-se do arcabouço metodológico desenvolvido por Brierley e Fryirs (2003), intitulado *River Styles* (Estilos Fluviais), desenvolvido por geomorfólogos australianos em parceria com a Agência Australiana de Conservação da Água (ACWC), sendo marca registrada pela *New South Wales Department of Land and Water Conservation* e da *Macquarie University*.

De acordo com Brierley e Fryirs (2000), estilos fluviais (*River Styles*) representam um método de classificação de segmentos do rio que apresentam um conjunto comum de características geomorfológicas e hidrodinâmicas, que servem de base para se caracterizar sistematicamente o caráter (estrutura geomorfológica do rio, incluindo forma em planta e geometria do canal) e comportamento (referente às características hidráulicas do canal, como o calibre dos materiais transportados e depositados, sua relação com a planície e a susceptibilidade a mudanças geomorfológicas) dos rios. Dessa forma, um só rio pode apresentar diferentes estilos fluviais, o que implica que cada trecho pode interagir de maneira particular com a paisagem em seu entorno.

Esses estudos foram inicialmente realizados em bacias do sudeste da Austrália, a fim de nortear práticas de gestão e estabelecer áreas prioritárias para a preservação e reabilitação de rios, baseadas na condição geomorfológica dos diferentes setores mapeados.

Este sistema de classificação é construído a partir de um conjunto de critérios objetivos de análise de trechos de rio proposto por Kellerhals *et al.*, (1976) e um modelo hierárquico proposto por Frissell *et al.*, (1986).

Deste modo a metodologia busca estabelecer uma base de informações do meio físico, que permita identificar e explicar as relações entre processos e formas ao longo dos rios sob a perspectiva de que estes ocupam um lugar dentro do contexto da paisagem e da bacia, reconhecendo que um rio faz parte de um sistema físico com uma história evolutiva. A classificação dos rios, baseada na diversidade natural das formas e processos de maneira contínua ao longo do rio, conduz à avaliação das interações entre ambientes distintos e ao reconhecimento de padrões de conectividade entre os trechos, demonstrando como distúrbios em uma parte do sistema podem impactar em outra. A metodologia permite avaliar mudanças recentes do rio no contexto de evolução da paisagem, construindo o entendimento das respostas dos rios às perturbações antrópicas e dos ajustes esperados de cada estilo fluvial.

A distinção dos ambientes fluviais e sua distribuição espacial dentro de uma bacia são realizadas com base na interpretação dos processos fluviais, utilizando-se de duas principais escalas de análise: a escala da bacia e a escala do canal. A escala da bacia tem como principal objetivo organizar informações sobre a estruturação da rede de drenagem, considerando os principais fatores de controle, sendo eles: o perfil longitudinal do canal, parâmetros morfométricos, (padrão de drenagem, densidade, hierarquia e forma da bacia), análise do regime hidrológico e caracterização ambiental regional (geologia, geomorfologia, solos, topografia, clima e uso do solo). Essas informações são comumente coletadas em literatura acadêmica, como teses, livros e artigos, e agências governamentais. O tratamento dessas informações pode ser realizado em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), a fim de prover uma base de mapas onde seja possível localizar os rios e as sub-bacias em conjunto com os diferentes temas analisados. Essa abordagem permite gerar um modelo da bacia, reconhecer padrões e identificar heterogeneidades.

Segundo Brierley e Fryirs (2005), dependendo do tipo de ambiente, um parâmetro pode ser mais ou menos importante para a distinção de determinados estilos fluviais. A exemplo de canais em amplas planícies aluviais, a forma em planta corresponde ao primeiro elemento para diferenciação dos tipos de rio, ao passo que a característica do vale e o material do leito correspondem aos principais aspectos para diferenciar ambientes confinados, controlados pelo embasamento geológico.

Os referidos autores destacam que mudanças na morfologia, largura e declividade do vale influenciam diretamente a forma e comportamento dos rios, uma vez que limitam a capacidade de ajuste lateral do canal, e condicionam a sua hidráulica, de maneira a potencializar a sua energia ou a permitir sua dissipação através de meandros.

A abordagem dos Estilos Fluviais orienta a otimização do uso de informações geográficas, ajudando a diferenciar variáveis que podem ser relevantes dos que representam informações adicionais supérfluas.

No Brasil, esta abordagem vem sendo aplicada em diversas pesquisas no campo da geomorfologia fluvial, que tem buscado uma leitura da paisagem fluvial que integrem a perspectiva de controles locais e regionais sobre a ocorrência de tipologias fluviais.

3.3 *Paradigmas Atuais na Gestão de Rios*

As questões que recentemente vêm permeando o planejamento e o manejo de rios ao redor do mundo tem trazido para a agenda da gestão pública a discussão de duas vertentes teóricas e conceituais, que põem em disputa o '*design*' dos rios, isto é, a maneira como os rios devem ser e funcionar, a despeito de colocar em perspectiva a trajetória de mudanças dos sistemas fluviais (BRIERLEY e FRYIRS, 2008).

De um lado, está a estratégia orientada no sentido de retificar o leito dos rios e córregos, para que suas vazões fossem dirigidas para jusante pelo caminho mais curto e com a maior velocidade de escoamento possível. Tal premissa tinha como principais objetivos ganhar novas terras para a agricultura e urbanização e minimizar os efeitos locais das cheias. Por décadas, as obras com base nesta concepção sistematicamente apresentaram consequências não consideradas ou avaliadas como sendo negligenciáveis no planejamento: ajustes e mudanças nos processos

geomorfológicos, redução da variedade de biota e prejuízos materiais e humanos cada vez maiores em função de cheias.

De outro lado, a partir da década de 1990, novas estratégias dirigidas à renaturalização de rios e córregos ganharam força no Brasil, valorizando as condições naturais dos cursos hídricos e das baixadas inundáveis. Seus objetivos recorrentes são regenerar o mais próximo possível a biota natural e preservar as áreas naturais de inundação, através do manejo regular ou de programas de renaturalização, impedindo quaisquer usos que inviabilizem tais funções.

Neste contexto, destaca-se a importância de reflexões sobre as formas e processos fluviais e o contexto espacial-temporal na reabilitação de rios. Em outras palavras, estas categorias de análise são úteis para a discussão sobre a variabilidade de metas traçadas por programas de reabilitação de rios, questionando as contradições pungentes em diversas abordagens, que desconsideram o lugar e se perdem na ideia de restauração de um estado natural. As categorias de processo e forma são sugeridas como maneiras de preparar o olhar para que pesquisadores e envolvidos evitem os perigos da generalização de conhecimentos, e transferência de descobertas para fora do seu contexto original. O treinamento do geógrafo, com ênfase no reconhecimento das relações entre processos e formas, pode promover uma plataforma com a qual a reabilitação de rios pode se desenvolver, pois reconecta a sociedade ao lugar (cotidiano emocionalmente envolvido contido na dinâmica geral de espaço-tempo de processos socioecológicos) e promove prospectos para melhorar a saúde do rio (integridade de ecossistemas aquáticos e sistemas geomorfológicos), tornando-se parte do desenvolvimento sociocultural.

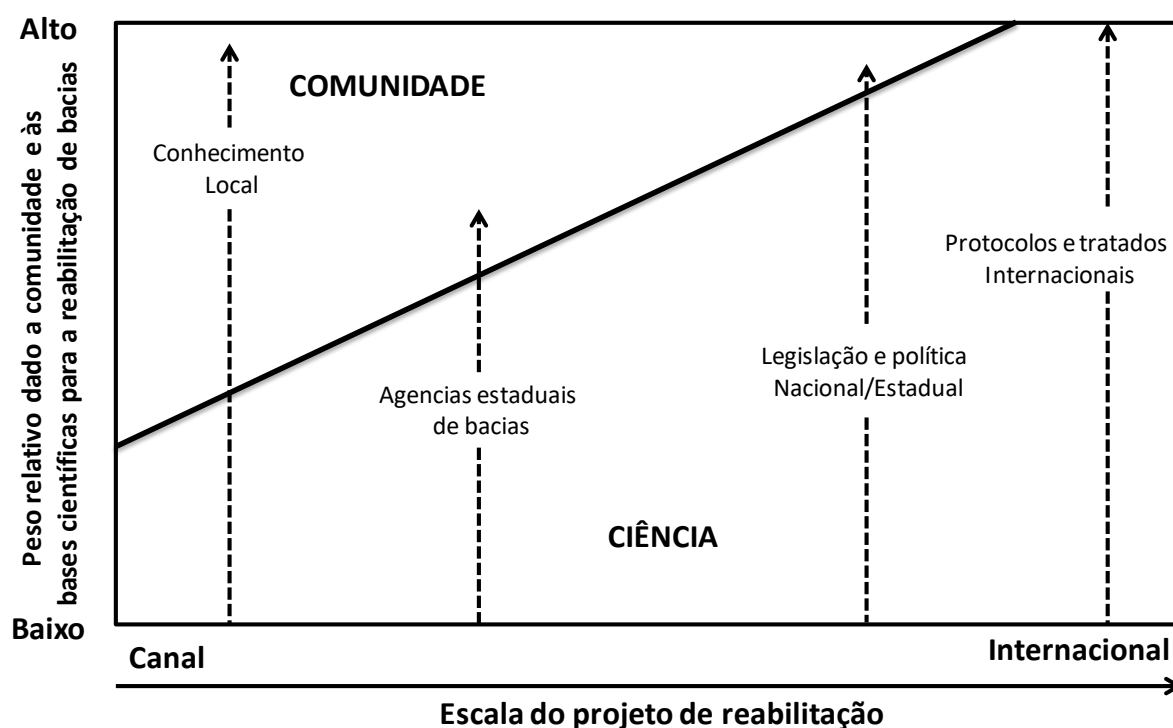
Desse modo, suscitam questionamentos a todo o momento sobre os diferentes significados atribuídos às formas e suas funções, resultantes de processos inscritos na sociedade.

O texto de Fryirs e Brierley (2005) é um exemplo desta constatação. A reabilitação é tanto um processo social como técnico e a busca pelo estado natural das formas e processos nestas práticas provoca argumentos e perspectivas apaixonadas entre pesquisadores:

“O natural é alguma forma de estado histórico, uma condição de referência ou uma concepção artificial de como o rio deveria se parecer?” (Fryirs & Brierley 2005, p.2).

O desafio de se questionar estes arcabouços de “soluções prontas” é apontado por Fryirs e Brierley (2009). Para os autores, tanto as práticas tradicionais de engenharia como as abordagens que buscam o retorno a um estado original, promovem involuntariamente um universalismo de ações que desconsideram o lugar. A partir desta desconstrução, faz-se necessário discutir abordagens que consideram as ações de manejo tanto um processo social como técnico, e analisar propostas de (ré)conectar a sociedade ao lugar (Figura 6).

Figura 6- Modelo conceitual destacando o nível e influência das comunidades locais e científica nos projetos de reabilitação das escalas locais a internacionais



Fonte: adaptado de Harris et al. (1996)

Nesta perspectiva, as questões que permeiam as tomadas de decisão precisam ser respondidas caso a caso, tendo-se em conta as características de cada bacia e de cada canal, refletindo a trajetória de ajuste dos rios e dos valores da própria sociedade perante os seus recursos naturais (HOOKE, 2003; BROOKES, 1987).

4 METODOLOGIA

A fim de alcançar os objetivos propostos nesta pesquisa, estabeleceu-se uma organização metodológica baseada em três eixos norteadores: (1) Caracterização e análise dos controles regionais e locais da bacia do córrego Dantas; (2) Avaliação da trajetória de ajustes e mudanças geomorfológicas e antrópicas operadas no córrego Dantas posteriores ao *Magadesastre'11*; (3) análise síntese da trajetória de mudanças geomorfológicas no córrego Dantas. Cada eixo deste arcabouço é estruturado em etapas, de modo que cada etapa reúne um conjunto de materiais, dados e procedimentos metodológicos (Figura 7)

O **primeiro eixo** é composto por duas etapas, as quais consistem na descrição e explicação dos controles regionais e locais da bacia do córrego Dantas. Na escala do sistema fluvial, são avaliados aspectos topográficos, geológicos, hidrológicos, climáticos e morfométricos. A configuração da paisagem, nesta escala, determina as condições dentro das quais os rios são formados e operam, bem como as características do fluxo e sua conectividade. Estes aspectos explicam os regimes de água e sedimento ao longo dos diferentes compartimentos da bacia e determinam limites no qual operam cada tipo de rio (BRIERLEY e FRYIRS 2005). Os controles locais são analisados a partir da caracterização dos vales, forma em planta do canal, identificação de unidades geomorfológicas e intervenções antrópicas. Nesta escala são analisadas as características do substrato, sinuosidade e do fluxo do rio, assim como as unidades geomorfológicas produzidas desta relação. Cada conjunto distinto de unidades geomorfológicas é utilizado para interpretar o caráter e o comportamento do rio. Desta maneira, desenvolve-se uma análise de cima para baixo e de baixo para cima, que se encontram na escala do trecho individualizado como um Estilo Fluvial, cuja nomenclatura seguiu procedimento proposto em Fryirs e Brierley (2017 Short Course).

No **segundo eixo**, são elaboradas quatro etapas que compreendem o levantamento de evidências sobre indicadores da trajetória de ajustes operados no sistema fluvial do córrego Dantas, enquanto respostas geomorfológicas decorrentes do *Megadesastre'11*.

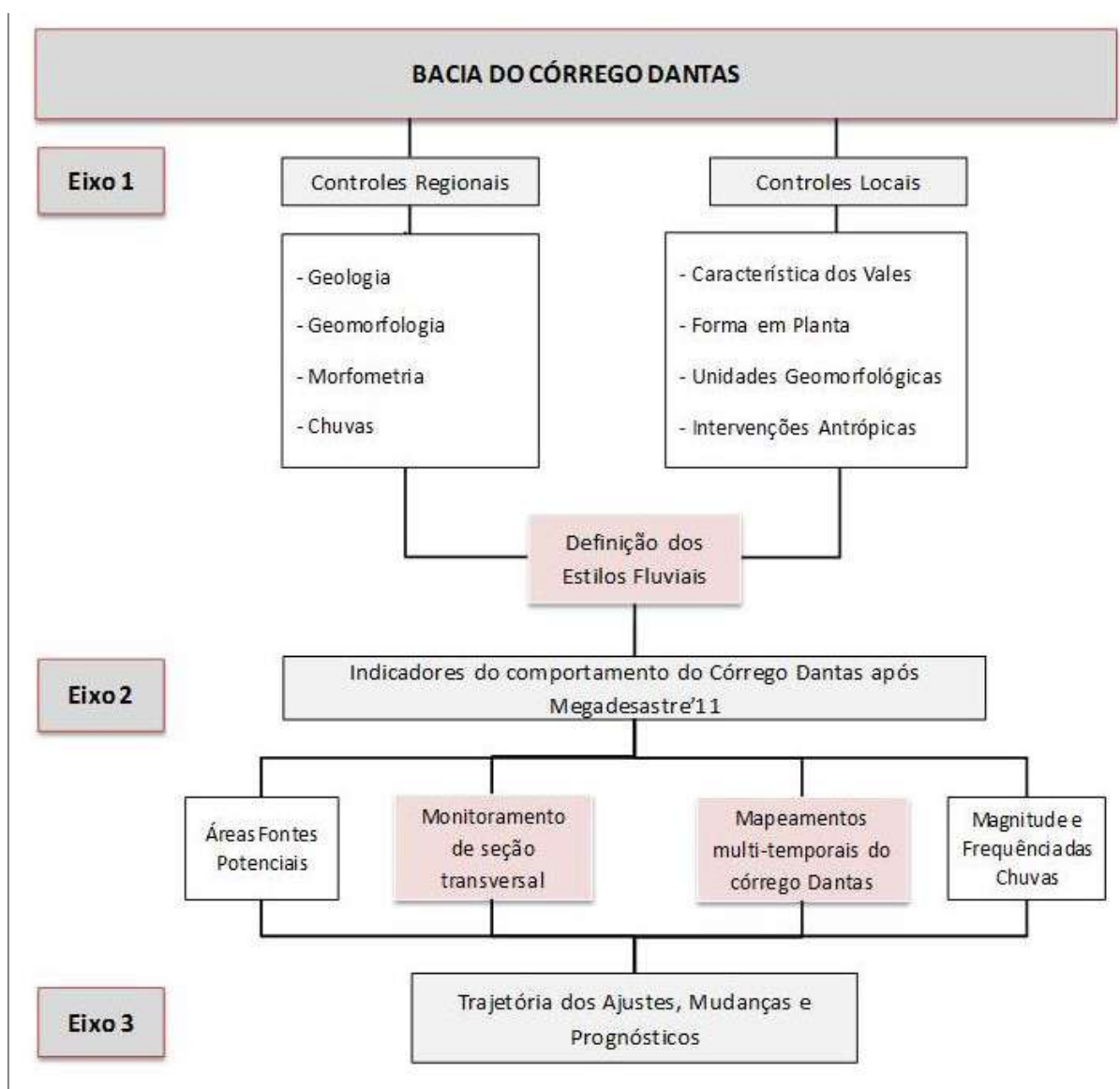
A etapa inicial consistiu no mapeamento multi-temporal do canal, com objetivo de registrar as evidências de mudanças nos padrões geomorfológicos e interpretar as relações em curso entre a carga detrítica e a descarga fluvial. A fim de apoiar a

interpretação dos produtos deste mapeamento foram levantadas informações sobre as áreas fontes potenciais (etapa dois), magnitude e frequência das chuvas (etapa três), e monitoramento de seções transversais (etapa quatro).

O **terceiro eixo** compreendeu a análise síntese da trajetória de mudanças geomorfológicas no córrego Dantas. Foi realizada, portanto, uma análise explicativa da trajetória de mudanças e ajustes em curso de cada estilo fluvial.

A seguir serão apresentados itens referentes à aquisição de dados, sensoriamento remoto e trabalhos de campo utilizados conforme as etapas descritas no fluxograma metodológico.

Figura 7- Fluxograma metodológico da pesquisa.



4.1 Aquisição de Dados

Dada a relevância e repercussão do *Megadesastre'11*, diversas pesquisas acadêmicas e estudos técnicos passaram a ser conduzidos na bacia do córrego Dantas, produzindo do uma gama de dados e de conhecimento que abrangeram desde mapeamentos temáticos de detalhe, à relatórios técnicos e projetos de engenharia.

Foi realizado um amplo levantamento destas informações, sendo descrito abaixo as fontes e o detalhamento técnico dos dados secundários utilizados e apresentados nos resultados e discussões (**Tabela 1**)

Tabela 1: Materiais e fontes de dados utilizados na pesquisa

Tema	Escala	Informações	Fonte
Geologia	1:10.000	Mapa geológico estrutural da bacia do córrego Dantas	Vinagre <i>et al</i> (2016)
Geomorfologia	1:25.000	Mapa de padrões de relevo do município de Nova Friburgo. 3º e 4º táxon hierárquico da metodologia de mapeamento geomorfológico proposta por Ross (1992).	<i>Serviço Geológico do Brasil - CPRM</i>
Índice Posicionamento Topográfico (IPT)	1:5.000	Mapeamento realizado para quatro classes: (1) fundo de vale e baixa encosta; (2) média encosta; (3) alta encosta; e (4) topo.	Lima <i>et al</i> (2014)
Sondagem Geotécnica	///	Sondagens a percussão em 28 pontos do baixo curso do córrego dantas, realizados no âmbito dos Projetos Executivos de Obras no córrego Dantas.	DIRAM/INEA (2013)
Alvéolos e Kinick points	1:10.000	Mapeamento das encostas de geometria côncavas	Pinto e Freitas (2012)
Encostas côncavas	1:10.000	Alvéolos que compreendem a planície de inundação e o terraço fluvial, além da identificação de níveis de base locais (knickpoints).	Pinto e Freitas (2012)
Série histórica de chuvas	///	Estações: Cascatinha do Cônego (1967-2017); Fazenda Mendes (1949-2017); e Vargem Grande (1965-2017)	Agência Nacional de Águas (ANA)
Regionalização de Vazões	///	Estudos hidrológicos realizados na bacia do Córrego Dantas para determinação de vazões de cheia para tempos de retorno de 2,33; 10; 25; 50; e 100 anos em três pontos de controle: Foz; São Geraldo; e Ponte RJ	Ecologus (2011); INEA (processo administrativo número E-07/501.932/2011)
Imagens de Satélite	///	imagens de satélite obtidas através do programa GoogleEarth e georeferenciadas a partir de ortofoto 1:5.000 Infraero	Google Earth
MDE	1:5.000	elaborado e disponibilizado pelo Laboratório GEOHECO a partir de base topográfica oriunda de levantamento aerofotogramétrico realizado pela EMBRAERO	GEOHECO/UFRJ

4.2 Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Ao longo da pesquisa, diversas etapas foram realizadas a partir de dados de sensoriamento remoto, a saber: imagens de satélite e modelo digital de elevação. As análises e processamentos, derivados destes produtos foram realizadas em ambiente SIG, através do programa *ArcGis desktop*, sendo descritos abaixo os procedimentos específicos realizados.

4.2.1 *Modelo Digital de Elevação e Produtos Derivados*

O **MDE** foi elaborado e disponibilizado pelo Laboratório GEOHECO/UFRJ a partir de base topográfica oriunda de levantamento aerofotogramétrico na escala 1-5.000, realizado pela EMBRAERO. Foram disponibilizados ainda, em formato *shapefile*, produtos derivados do MDE, obtidos através da ferramenta *ArcHidro*, sendo eles: (1) *rede de drenagem*; (2) *hierarquia de canais* (Strahler); (3) *área da bacia e sub-bacias*; (4) *sombreamento do relevo*; (5) *hipsometria*; (6) *declividade*. Além destes, outros processamentos oriundos do MDE foram publicados por Lima, *et al* (2016).

Através da ferramenta *3DAnalyst* as linhas de drenagem foram convertidas em feições 3D, e produzidos os *perfis longitudinais* do córrego Dantas e seus tributários.

Os valores x e y dos gráficos dos perfis longitudinais foram utilizados para gerar o gráfico de energia do fluxo (*gross stream power* – JAIN, *et al* 2006), obtido pela fórmula:

$$\Omega = d \times Q$$

Onde d é a declividade e Q a vazão. Nesta pesquisa foi considerada a vazão com tempo de recorrência de 2,33 anos (margem plena). A distância média do canal que apresentou melhor resultado para cálculo da declividade foi de 100m.

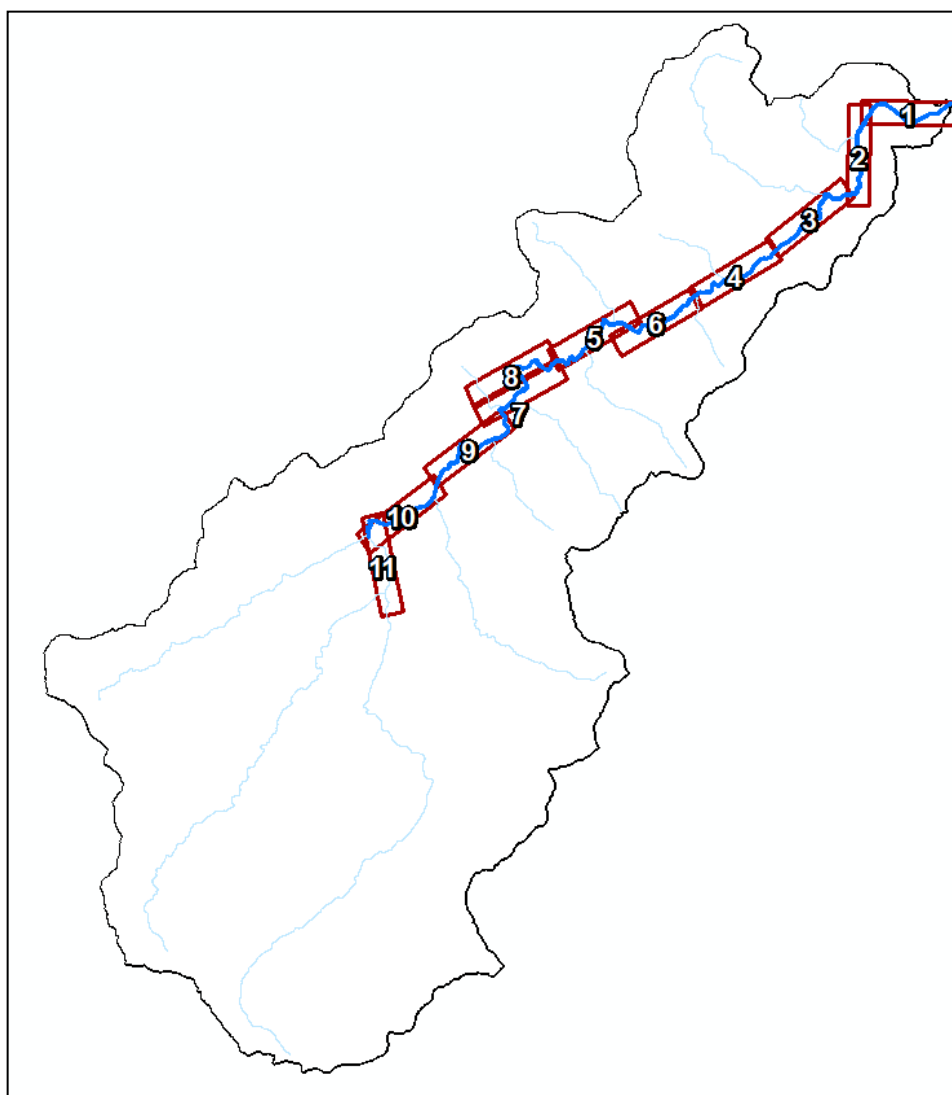
4.2.2 *Imagens de Satélite e Mapeamentos*

A disponibilidade de imagens de satélite de alta resolução em diferentes datas, consistiu em insumo fundamental para a realização dos procedimentos de mapeamento, bem como para a condução da metodologia proposta para análise dos processos geomorfológicos. Ao longo da pesquisa foram utilizadas imagens de

satélite acessíveis através do programa livre *Google Earth*. Primeiramente foi realizado o levantamento das datas das imagens disponíveis em acervo, sendo escolhida pelo menos uma imagem de referência anterior ao evento. As imagens adquiridas tiveram como critério de seleção: (1) apresentar resolução espacial que possibilitasse a identificação das feições geomorfológicas do canal; (2) possuir cobertura total do trecho analisado do córrego Dantas; (3) não apresentar nuvens. Desse modo, foram selecionados sete períodos de mapeamento: 07/08/2010; 19/01/2011; 06/05/2011; 24/05/2013; 02/01/2014; 28/01/2014; 15/07/2016;

. Após a seleção das imagens, foi realizada a aquisição em alta resolução e posterior georreferenciamento de onze cenas, tendo como base, as ortofotos 1-5.000 da EMBRAERO (Figura 8).

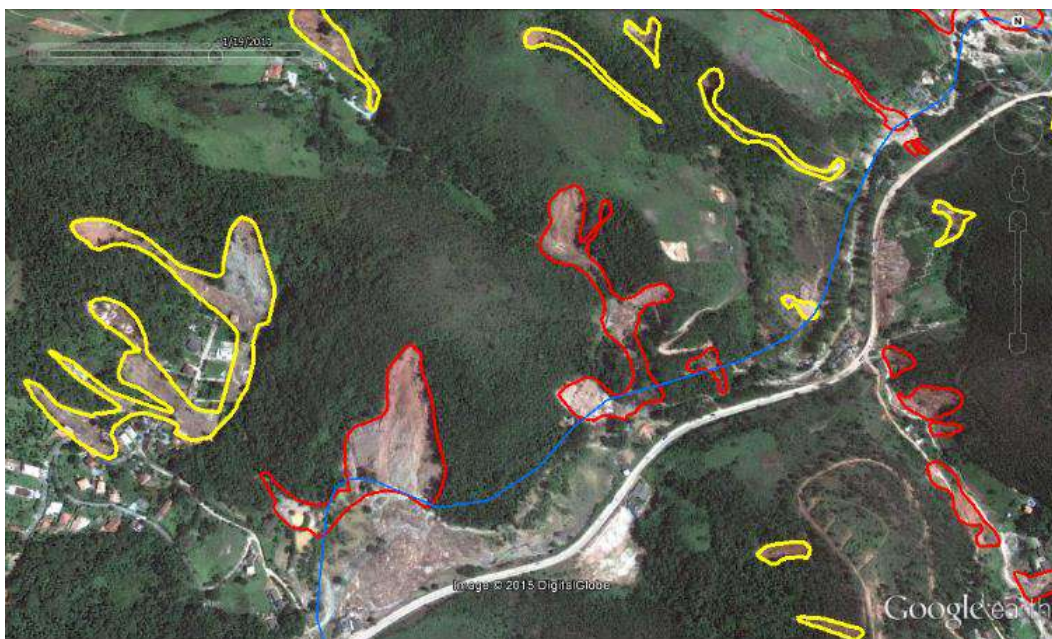
Figura 8 - Mosaico das cenas georreferenciadas para cada data.



A partir destas imagens, foram realizados dois tipos de mapeamentos: (1) mapeamento dos movimentos de massa; (2) mapeamento geomorfológico do rio. As técnicas empregadas em cada procedimento são descritas a seguir.

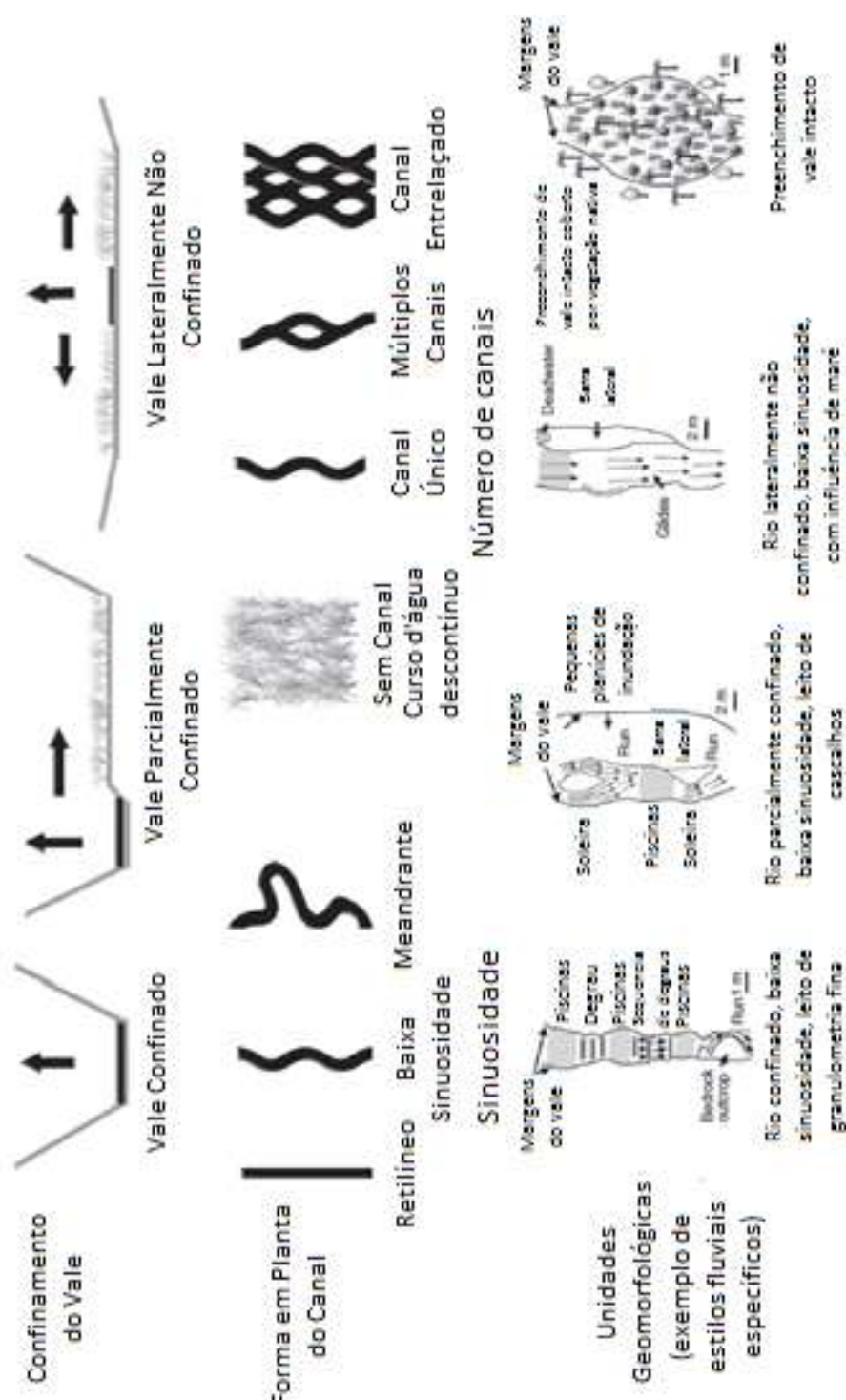
O **mapeamento dos movimentos de massa** foi realizado a partir da imagem tomada no dia 19 de janeiro de 2011. Assim, utilizando a técnica de interpretação visual de imagens, a mesma utilizada por Avelar *et al.*, (2011), foram mapeadas as cicatrizes dos movimentos de massa na bacia. Com ajuda da ferramenta "add polígonos" do *Google Earth* desenharam-se polígonos seguindo as bordas perceptíveis visualmente dos movimentos de massa sem fazer distinção entre a área de falha e de deposição (Figura 9). As poligonais foram posteriormente classificadas como *conectadas*, quando o material oriundo do deslizamento atingia o córrego Dantas ou tributários, ou *desconectadas*, quando o material era depositado na própria encosta ou planícies, sem, no entanto, atingir os canais de drenagem.

Figura 9 - Mapeamento dos movimentos de massa, diferenciando eventos conectados e desconectados.



O mapeamento geomorfológico do rio foi realizado a partir de três “parâmetros chave”, referentes aos principais controles locais sobre o caráter e comportamento do rio, sendo eles: (1) *Confinamento do Vale*; (2) *Forma em Planta do Canal*; (3) *Unidades Geomorfológicas*. A Figura 10 ilustra a forma como foram analisados cada um desses parâmetros, de acordo com BRIERLEY E FRYIRS (2005).

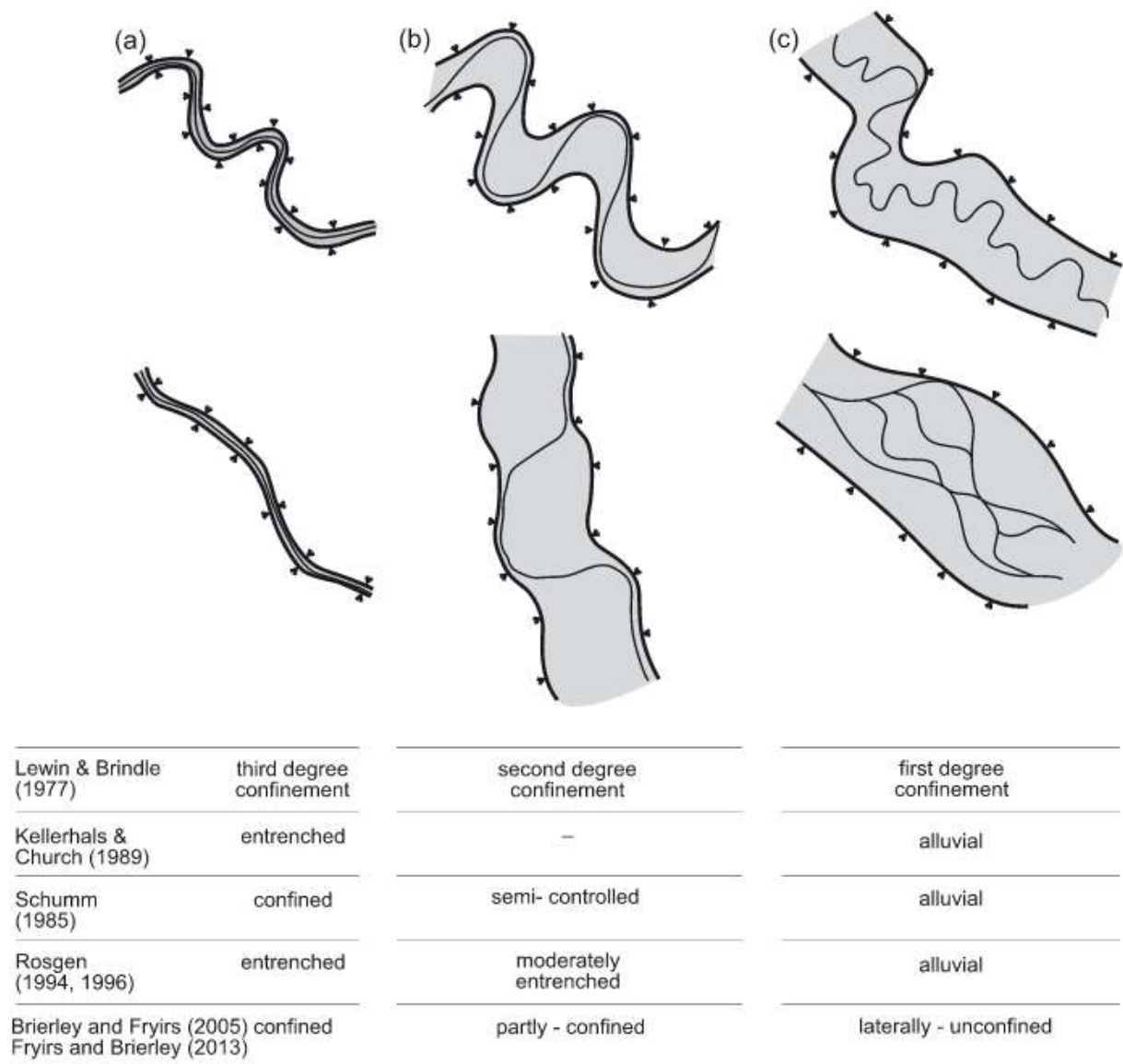
Figura 10- Parâmetros para análise dos controles locais da forma e comportamento do rio.



Fonte: Adaptado de BRIERLEY E FRIRYS (2005).

O **Confinamento do Vale** foi definido em três classes com base na análise do grau de confinamento proposto por BRIERLEY E FRIRYS (2005), onde confinamento é a percentagem do comprimento de um segmento do rio em contato com o vale (Figura 11).

Figura 11- Tipos de definição do grau de confinamento do canal.



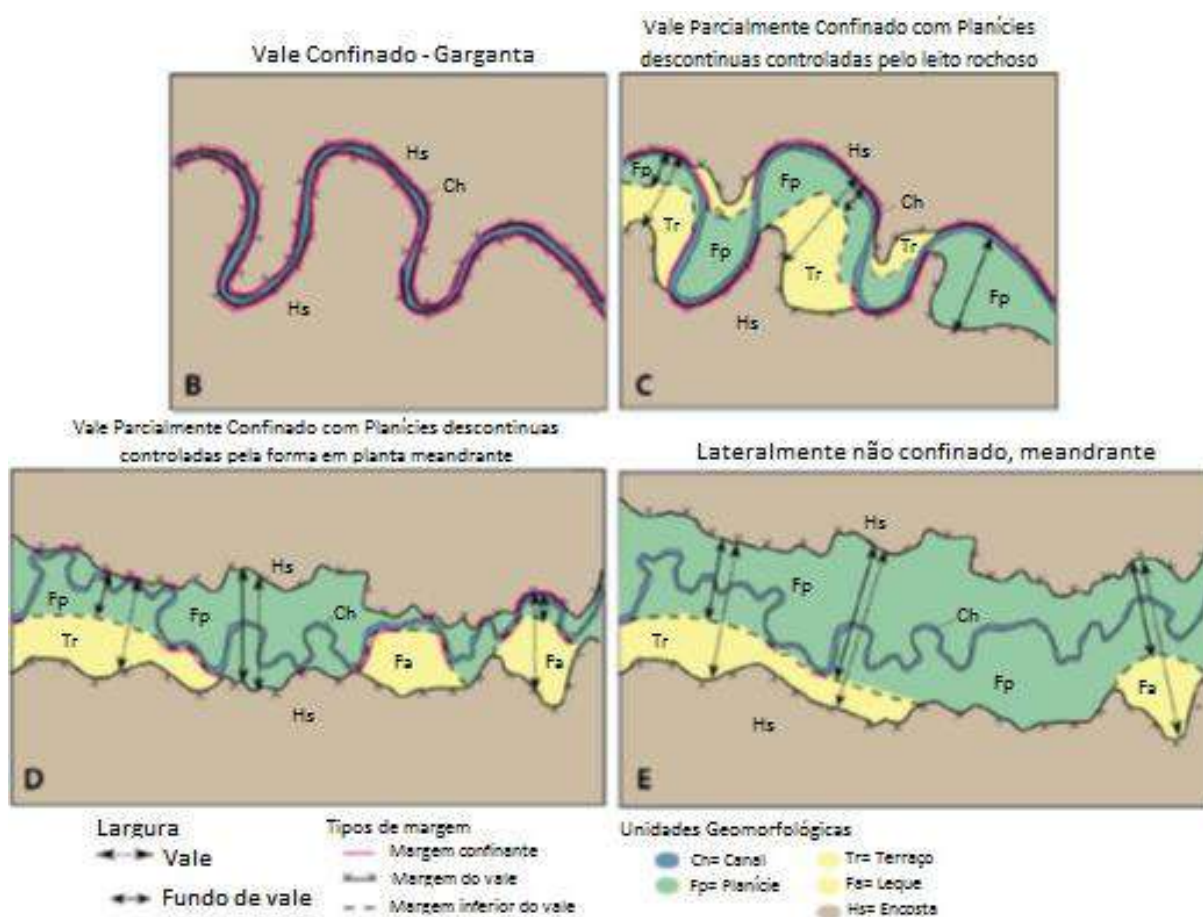
Fonte: Adaptado de BRIERLEY E FRIRYS (2005).

Nesta definição o canal é considerado confinado quando qualquer margem do canal se apoia na margem do vale, podendo ser constituída por substrato rochoso, material coeso (colúvios e terraços) ou por estruturas antrópicas, não sendo necessário contato de ambas as margens.

O vale de característica confinado indica mais de 90% do comprimento do canal apoiado na margem de fundo do vale. Parcialmente confinado, indica formação de planícies descontínuas, sinuosas, irregulares e assimétricas. Nesses trechos do rio 10-90% incidem diretamente sobre rochas ou material coeso. Lateralmente não confinado indica maior capacidade de ajuste do canal e instabilidade das margens

devido à ausência de controles litológicos. São geradas nesses trechos feições morfológicas como barras e ilhas arenosas, onde menos de 10% do trecho do rio está apoiado no substrato rochoso ou em terraços, apresentando planícies contínuas e extensas.

Figura 12 - Conceitos utilizados para interpretação das margens do vale.



Fonte: Adaptado de BRIERLEY E FRIRYS (2005).

Deste modo, as **margens do vale** são definidas como a margem entre a encosta (rocha, terraço ou coluvial) e os depósitos de sedimentos aluviais que compõem o fundo do vale. O **fundo de vale** compreende o canal ativo e planície de inundação atual. A **margem do fundo de vale** pode encostar contra a margem de vale ou outras características confinantes, como terraços e leques aluviais. A **margem de confinamento** é definida como qualquer segmento leito do rio que se apoia contra uma margem do vale, margem do fundo de vale, ou margem antropogênica. Margens confinantes são aquelas que restringem o ajuste lateral de um canal (NICOLL E HICKIN, 2010).

A ***forma em planta do canal*** foi analisada e interpretada segundo caracterização proposta por WHEATON *et al.*, (2015), considerando o número de canais, sinuosidade, estabilidade lateral do canal e unidades geomorfológicas. A relativa simplicidade ou complexidade do mapa reflete o grau de heterogeneidade desse rio e fornece pistas úteis quanto às suas histórias e os processos que lhe dão forma. Deste modo, o objetivo do mapeamento foi identificar os arranjos em que os ambientes fluviais se organizam ao longo do Córrego Dantas, sendo as unidades geomorfológicas consideradas no mapeamento, sumarizadas na **Tabela 2** e **Tabela 3**. Cabe destacar dois importantes aspectos da etapa de mapeamento: trechos do rio encobertos por adensamentos de copas de árvores foram identificados como “sobra”, tendo como significado área não mapeável e limite impreciso das margens. O segundo fator é que blocos e seixos foram mapeados individualmente apenas quando atuavam como estruturas que forçavam o fluxo, individualmente. Quando agrupados, foram mapeados de acordo com o tipo de organização estabelecido, e classificados seguindo a tabela de unidades geomorfológicas.

Tabela 2- Lista de unidades geomorfológicas planares e concavas internas ao canal (exemplo, barras) e suas definições. Fonte: (adaptado de Wheaton *et al* 2015)

Classificação 1 Forma / Tipo	Classificação 2 Morfologia específica		Atributos chaves para diferenciar morfologias específicas						Similar ou confundido com:
	Termo original em inglês	Referente em português ou tradução livre	Elementos que induzem a formação da Unidade Geomorfológica	Relação de fluxo baixo e rugosidade	Direção relativa ao eixo do leito	Posição relativa no leito	Declividade da superfície da água durante fluxo baixo		
Planar	Bench		Banco	Não forçada	Diversificado	Contínuo	Junto à margem	Diversificado	Ressalto de margem, mas com característica de deposição; Terraço, mas com canal de leito menor ativo
	Ledge		Ressalto de margem	Não forçada	Diversificado	Contínuo	Junto à margem	Diversificado	Banco, mas com característica erosiva; Terraço, mas com leito do canal menor ativo
	Glide		Fluxo laminar	Não forçada	Baixo (<0,5)	Contínuo	Diversificado	Raso	Fluxo turbulento incipiente, mas com gradiente baixo relativo de superfície da água e a rugosidade
	Run		Fluxo turbulento incipiente	Não forçada	Moderado (< 1)	Contínuo	Diversificado	Raso a moderado	Às vezes confundido com riffs ou deslizamentos
	Rapid		Corredeira	Diversificado	Alto (>1)	Contínuo	Diversificado	Moderado a Abrupto	Cascatas/quedas, mas menos relativo rugosidade e ausência de vertical de quedas
	Cascade		Cascata/queda	Diversificado	Muito alto (>1)	Contínuo	Diversificado	Abrupto	Corredeira, mas mais relativo aspereza, superfície da água mais íngreme e verticais; Às vezes confundido com depressões

Tabela 2- Continuação.

Classificação 1 Forma / Tipo	Classificação 2 Morfologia específica		Atributos chaves para diferenciar morfologias específicas					
	Termo original em inglês	Referente em português ou tradução livre	Elementos que induzem a formação da Unidade Geomorfológica	Relação de fluxo baixo e rugosidade	Direção relativa ao eixo do leito	Posição relativa no leito	Declividade da superfície da água durante fluxo baixo	Similar ou confundido com:
Concavidade (e.g. depressão)								
	Bar-forced pool	Depressão forçada por barra	Pela barra	Baixo (<0,5)	Contínuo	Junto a margem	Raso	Depressão controlada estruturalmente, mas forçado pelo fluxo de derivação da barra contra limites resistentes
	Chute	Calha sobre depósito	Forma em planta	Diversificado	Contínuo	Junto a margem ou sobre barras	Moderado	Talvegue raso, mas formado sobre estruturas deposicionais como barras e ilhas; Também confundido com canal secundário, mas ocorre em pequenas dimensões, sobre feições deposicionais
	Confluence pool	Depressão de confluência	Forma em planta	Baixo (<0,5)	Contínuo	Diversificado	Raso	Anabanch ou canal secundário canal, exceto que área Separando os canais secundário e primário é o leito menor
	Secondary channel	Canal secundário	Forma em planta	Diversificado	Contínuo	no meio do canal ou na parte menor do leito	Diversificado	Depressão de punção (scour pool)
	Structurally-forced pool	Depressão estruturalmente forçada	Construção da largura do fluxo controlado por elemento estrutural	Baixo (<0,5)	Contínuo	Junto a margem ou no centro do canal	Diversificado	

Tabela 3- Lista de unidades geomorfológicas convexas internas ao canal (exemplo, barras) e suas definições (adaptado de Wheaton et al2015)

Classificação 1 Forma / Tipo	Classificação 2		Atributos chaves para diferenciar morfologias específicas				
	Termo original em inglês	Morfologia específica	Referente em português ou tradução livre	Controle da Unidade Geomorfológica	Relação de fluxo baixo e rugosidade	Posição relativa no leito	Baixo fluxo de água em superfície de encosta
Convexo (e.g Barra)	Boulder bar	Barra de Matacões	Largura do fluxo	Diversificado	Diversificado	Junto a margem	Junto a margem ou no centro do canal
	Compound bar	Barra de pontal composta	Diversificado	Diversificado	Diversificado	Diversificado	Diversificado
	Confluence bar	Barra em confluência	Controle de classificação	Diversificado	Diversificado	Radial (baixo curso) e raso	Junto a margem
	Diagonal bar	Barra diagonal	Forma em planta e expansão da largura do fluxo	Diversificado	Diversificado	Diagonal	No centro do canal
	Expansion bar	Barra de expansão	Largura do fluxo	Diversificado	Diversificado	Transversal	No centro do canal
	Forced bar	Barra forçada	Diversificado	Diversificado	Diversificado	Junto a margem	Junto a margem ou no centro do canal
	Forced riffle	Soleira forçada	Abrangendo o canal	Moderado (< 1)	Transversal	Abrangendo o canal	Raso
	Lateral bar	Barra lateral	Pela forma em planta ou pela largura do fluxo	Diversificado	Diversificado	Junto a margem	Junto a margem
			Semelhante a outras barras, mas em sistemas de gradientes muito mais altos.				
			Uma amálgama de múltiplas unidades de barras e outros tipos de barras (história complexa)				
			Barra de expansão, exceto em resposta à queda de gradiente do tributário ao principal.				
			barra de pontal, separado da margem (separado por calha)				
			Barra transversal, mas em resposta a diminuição da inclinação e não a extensão do canal				
			Barra de expansão, porém acoplada a margem do canal				
			Soleira, mas controlado pela estrutura do canal, abrangendo o leito				
			Barra de pontal, mas pode estar em curvas com menor curvatura ou canais “diretos” com menor sinuosidade				

Tabela 3- Continuação.

Classificação 1 Forma / Tipo	Classificação 2		Atributos chaves para diferenciar morfologias específicas						
	Morfologia específica		Referente em português ou tradução livre	Controle da Unidade Geomorfológica	Relação de fluxo baixo e rugosidade	Posição relativa no leito	Baixo fluxo de água em superfície de encosta	Superfície da água durante fluxo baixo	Similar ou confundido com:
Convexo (e.g Barra)	Longitudinal bar	Barra longitudinal		Largura do fluxo	Diversificado	Moderado (< 1)	No centro do canal	Diversificado	Semelhante a outras barras canais médios, mas distintos na orientação alongada em fluxo contínuo e na convexidade da ponta da barra córrego acima.
	Point bar	barra de pontal		Controlado pela forma em planta	Diversificado	Junto a margem	Junto a margem	Diversificado	Barras alternadas, mas em curvas com maior curvatura
	Ridge	Crista	Controlado por elemento estrutural e separação do fluxo		Diversificado	Junto a margem	Junto a margem	Diversificado	Barra lateral ou dique; geralmente mais abrupto e mais linear
	Riffle	Soleira	Forma em planta e Expansão da largura do fluxo		Moderado (< 1)	Transversal	Abrangendo o canal	Moderado	Às vezes confundido com fluxo turbulento incipiente

4.3 Trabalhos de Campo

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, os trabalhos de campo tiveram três objetivos: (1) realizar monitoramento da calha através de seções transversais; (2) analisar uma seção estratigráfica; (3) apoio ao mapeamento multi-temporal através de verificações *in loco* de elementos de referência para o mapeamento.

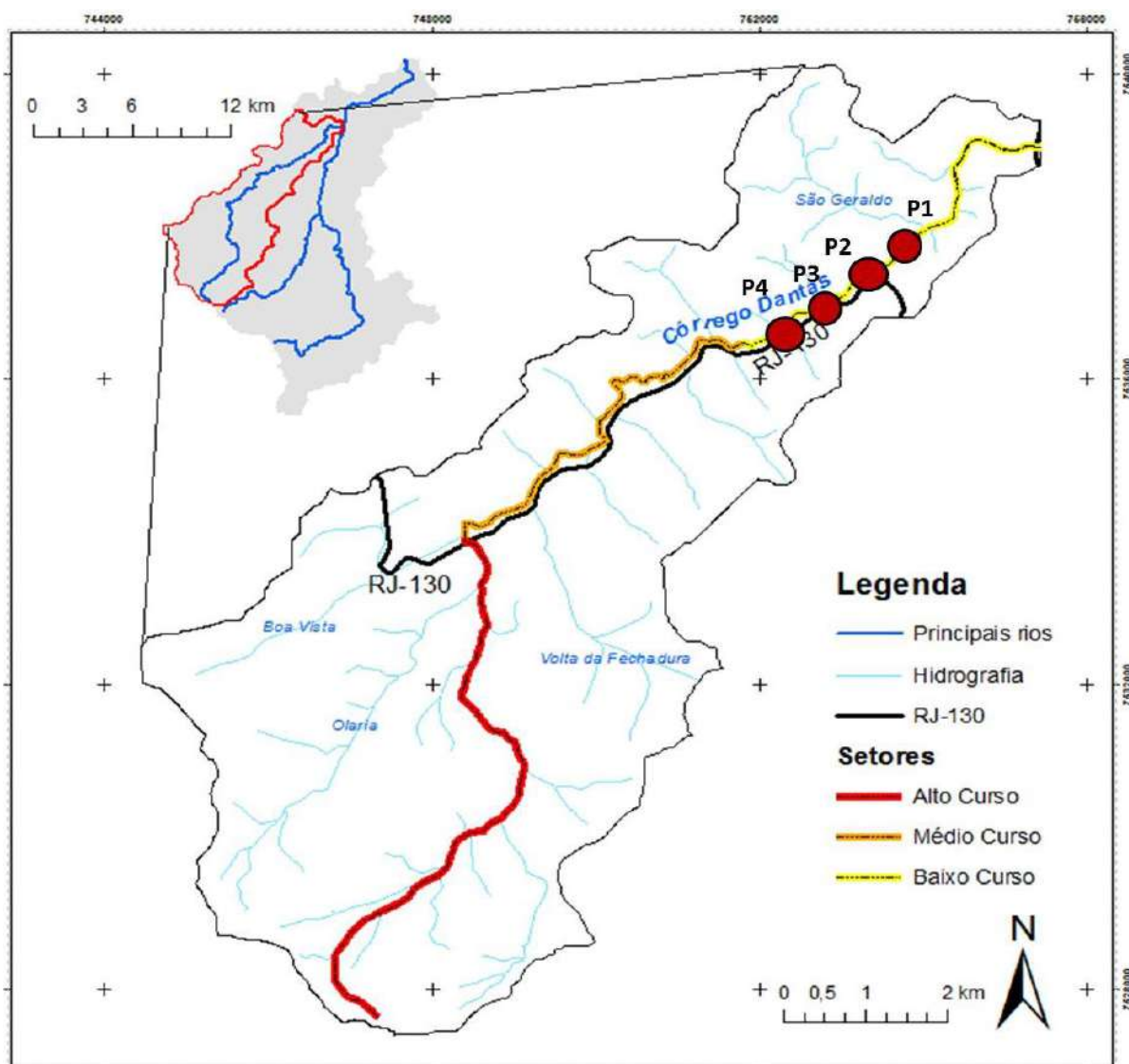
Em abril de 2013, ainda durante a fase de obras emergenciais no Córrego Dantas, no âmbito do projeto Rios da Serra (INEA), foram levantados dados de topobatimetria ao longo de 6km, do córrego Dantas, com seções transversais a cada 20m, totalizando 300 seções. Os dados foram cedidos para uso acadêmico pela DIRAM/INEA. O referido levantamento utilizou uma estação total e duas miras. Os produtos digitais gerados foram disponibilizados em formato *AutoCad* e *Excel*, sendo utilizado como referência para o monitoramento das seções transversais, cujos procedimentos são descritos a seguir:

O **monitoramento** totalizou três campanhas MARÇO/2016; AGOSTO/2016; e MARÇO/2017. As datas escolhidas consideraram que em março, ocorre o final do período chuvoso no município (novembro a abril) e que os meses de junho, julho e agosto apresentam os menores totais pluviométricos mensais. Foram monitoradas 4 seções situadas em locais representativos dos estilos fluviais identificados, e que possuem levantamento realizado pelo INEA (Figura 13).

Os procedimentos foram realizados a partir de adaptação da metodologia de OLIVEIRA e MELLO (2007). Em função das dimensões do Córrego Dantas (média de 5m de largura), foram instaladas estacas de madeira, fincadas nas margens do rio e niveladas com nível de bolha. A partir das extremidades das estacas, foram tencionados fios de *nylon*, de onde foram tomadas as medidas até a lâmina d'água e até o solo (nas margens), em intervalos de 30 cm. As medidas da profundidade do canal foram tomadas com trena comum ou com canos de PVC graduados, dependendo da força da correnteza, a cada 30cm.

Durante o monitoramento foi realizada análise textural *in situ* de sedimentos depositados em barras, e ilhas, sendo aferidos os seguintes parâmetros: granulometria (escala de Wentworth), esfericidade, arredondamento e selecionamento.

Figura 13- Localização das seções transversais do monitoramento realizado.



No dia 13/07/2016 foi realizado trabalho de campo para realização de uma **seção estratigráfica** em barranco exposto à margem esquerda do córrego Dantas. A oportunidade de realização desta seção é decorrente da exumação do fundo do vale provocada pela corrida de detritos no local, e facilidade de acesso pela estrada. O ponto encontra-se dentro de propriedade particular, nas coordenadas geográficas S 22°15'31" e W42°33'31".

Por fim, para apoio ao mapeamento, todas as campanhas tiveram como objetivo secundário, o registro fotográfico de feições fluviais *in loco*. Cabe ressaltar que também foram utilizados registros fotográficos e relatorias oriundas de documentos técnicos, integrantes de diferentes fases dos projetos do programa Rios da Serra (DIRAM/INEA).

5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

Em razão das escalas em que operam as variáveis físicas em sistemas fluviais complexos, a caracterização da área de estudos enfatiza os levantamentos de dados primários e secundários dos controles na escala do sistema, isto é, compreendendo os limites topográficos da bacia do Córrego Dantas. A análise dessas informações contextualiza os processos analisados na escala dos trechos fluviais, apresentados nos resultados, integrando-as nas discussões finais, com a análise da organização do sistema fluvial.

5.1 A História do Córrego Dantas, Antes e Após o Megadesastre'11.

O levantamento do histórico da ocupação humana na bacia objetiva estabelecer marcos desta interação, no sentido do aproveitamento dos recursos hídricos no desenvolvimento das sociedades, como nas influências destas sobre os sistemas fluviais, em especial o córrego Dantas.

a) Até 1820 (*primeiros habitantes*)

O local que hoje constitui o município de Nova Friburgo foi ocupado, durante o período pré-colonial, por habitantes nativos das tribos Puri e Coroados (FREIRE *et al.* 1997). Nas descrições sobre o modo de vida desses povos, AGUIAR (2010) os apresenta como caçadores e coletores acostumados a um estilo incipiente de agricultura que se restringia ao cultivo de pequenas plantações, abandonadas com as migrações constantes.

A ocorrência dos povos Coroados e Puris nesta região, abrangendo o vale do Paraíba do Sul e Região Serrana, se daria pela sua expulsão do litoral para o interior, pelos povos denominados Goitacá, considerados pelos indígenas como mais aptos à guerra (AGUIAR, 2010).

Segundo MALHEIROS *et al.* (2013), os primeiros europeus que chegaram à região foram os portugueses, através do avanço das fronteiras agrícolas em direção às terras do interior do Vale do Paraíba, chegando ao seu auge no final do século XVIII e início do XIX. Com a ocupação das terras tradicionais pelo latifúndio cafeeiro, o povo Puri permaneceu na região, tendo seu desaparecimento, por emigração,

extermínio ou fusão com a população que se formou, prosseguido gradativamente, até meados de 1855.

Junto com a monocultura cafeeira, vieram os escravizados africanos, que trabalhavam na lavoura e nos serviços caseiros. No atual distrito de Lumiar, em Benfica, e em São Pedro da Serra, há evidências culturais de quilombos formados por negros e suas famílias, foragidos das fazendas de Cantagalo e da Baixada Fluminense (FREIRE *et al.* 1997).

b) De 1820 a 2011 (colonização suíça aos dias atuais)

Com o impacto das transformações econômicas mundiais no séc. XVIII, o império português passou a buscar a diversificação da sua produção no Brasil com novos produtos de exportação, além de ampliar o povoamento territorial, visando diminuir a ociosidade de terras. Neste contexto, a imigração estrangeira tinha boa receptividade. Somando-se a isto, com o final das Guerras Napoleônicas, alguns países europeus passaram por profunda crise, na qual uma das medidas de amenização, no caso suíço, foi o deslocamento de parte de sua população para terras estrangeiras, por sessão de terrenos nestes países.

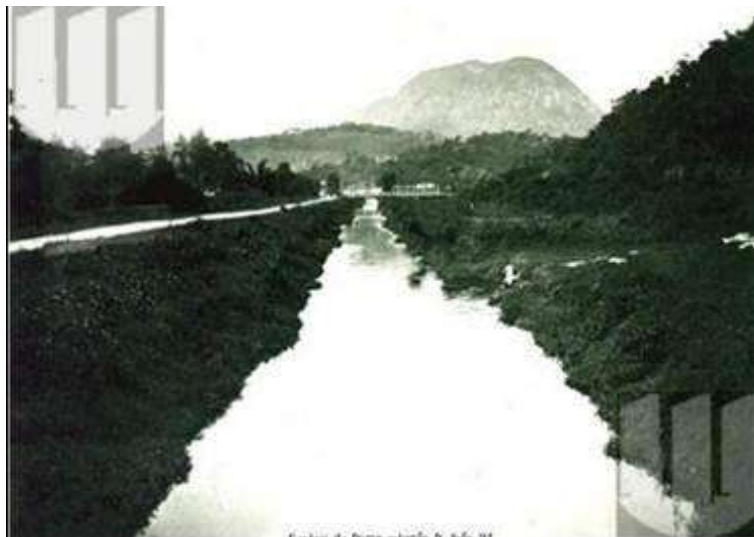
O marco da colonização de Nova Friburgo se deu nos anos de 1819-1820, concretizando as negociações de D. João VI e culminando na chegada de 261 famílias suíças, sendo a primeira empresa colonial contratada pelo governo português no Brasil. No período de dois anos, cerca de 1600 colonos assentaram à Fazenda do Morro do Queimado, local de difícil acesso que juntamente com as Fazendas São José e Córrego Dantas foram escolhidos para a instalação da Vila de Nova Friburgo.

Inicialmente a hidrografia definiu a localização central do vilarejo às margens do Rio Bengalas, na confluência dos Rios Cônego e Santo Antônio. Já no primeiro ano de assentamento foram registradas cheias do rio Bengalas, que somadas a outras dificuldades encontradas pelos colonos, resultou no esvaziamento dos lotes e falência do projeto inicial de transposição das tradições suíças.

Com a chegada de imigrantes alemães em 1824, novos esforços foram empreendidos com base na economia cafeeira, impulsionando, nas duas décadas seguintes, um ritmo de crescimento urbano que estabeleceu algumas das principais estruturas do traçado atual da cidade. Em torno de 1850-1860, visando mitigar os

problemas de cheias, foi realizada a retificação do Rio Bengalas (Fundação D. João VI, 2015) (Figura 14 e Figura 15).

Figura 14- Rio Bengalas 1890



Fonte: Centro de Documentação D. João VI

Figura 15- Enchente Rio Bengalas 1940



Fonte: Centro de Documentação D. João VI

Ainda na década de 1860, obras paisagísticas de importância histórica para a cidade nos dias de hoje começaram a ser implementadas, como os jardins do atual Parque São Clemente próximo ao caminho da Fazenda Córrego Dantas.

Com a implantação da ferrovia em 1873, iniciou-se um período de imigração de empresários alemães evitando a crise na Europa, que com um contrato de energia elétrica em 1911, permitiram a transformação da cidade em polo industrial regional, com grande desenvolvimento dos setores têxtil, metalmecânico e de acessórios de couro, características que manteve até os anos 1990.

A transição ocorrida das características rurais da cidade ocorreu de maneira acelerada nas primeiras décadas do século XX. Os reflexos da industrialização no tecido urbano já consolidado se deram pela ocupação das áreas marginais, limitadas pelo relevo acidentado, criando um adensamento do entorno e a ocupação dos morros próximos. Com o vale já completamente ocupado, o crescimento forçou a expansão também para o estreito vale do Rio Cônego e para o Córrego Dantas, acelerando o processo a partir da década de 1970 com a pavimentação da rodovia RJ 130, que liga os municípios de Nova Friburgo e Teresópolis. Nos anos 1980, o bairro Córrego Dantas se tornou área de expansão industrial orientada, acompanhada de rápido crescimento demográfico e verticalização das edificações.

A urbanização na bacia do Córrego Dantas, se deu ao longo do vale principal e da rodovia RJ-130, a partir do centro de Nova Friburgo. Neste processo, a ocupação industrial priorizou áreas de depósitos de alúvio-colúvio nas bases das encostas, em cotas superiores aos níveis de cheia, sendo a rodovia identificada no Plano Diretor como “Área de Interesse Logístico”, priorizando a instalação de atividades econômicas de grande porte (Figura 16 e Figura 18).

Figura 16 - Galpões utilizados pela indústria têxtil na região do médio curso



Fonte: Ecologus (2012).

Já nas áreas mais vulneráveis às enchentes, localizadas na estreita planície fluvial, no fundo do vale, predomina o uso residencial, com maior adensamento em áreas mais largas do vale, com rudimentar estruturação da malha urbana, e precário saneamento básico. Os núcleos urbanos que compõem o conjunto de ocupações encontram-se separados pelo leito do rio ou por áreas vegetadas, de maior ou menor extensão, que por vezes não possui interligação, como pontes e travessias (Figura 17).

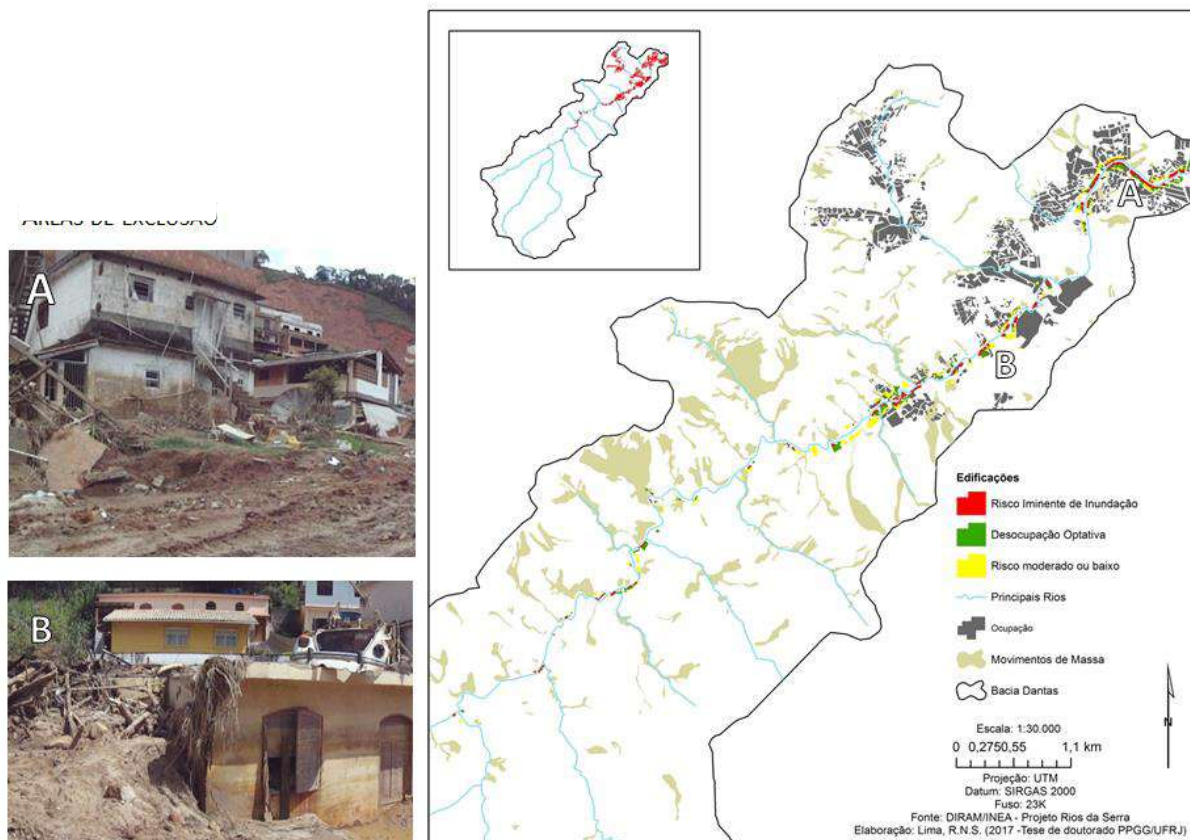
Figura 17- Casas destruídas por deslizamentos e enchente do córrego Dantas



Fonte: Ecologus (2012).

Há ainda na região a existência de loteamentos irregulares e construção de casas em áreas de preservação permanente, que traduzem o descumprimento das Leis Federais e Estaduais. Até 2011, as únicas instituições públicas instaladas no bairro do Córrego Dantas foram o Colégio Estadual Etelvina Schottz, a Escola Municipal Adezir de Almeida Garcia e a Creche Maria Inez Andrade Garcia. (Fundação D. João VI, 2015). (Figura 18). (Ecologus, 2012; Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo – PAPNF).

Figura 18- Edificações ao longo da bacia do córrego Dantas. Ao longo da calha principal foram definidas áreas de risco através de estudo de cheias realizado por Ecologus 2012, visando subsidiar o planejamento das ações de desapropriação e obras.



Ao longo de décadas, inúmeras reportagens e fotografias foram realizadas, como pode-se observar na Figura 19 e Figura 20.

Figura 19- Evento de 18/01/2005 (esquerda) EVENTO DE 11/12/2002 (direita).



Fonte: Plano de Águas de Nova Friburgo

Figura 20- Evento de 12/01/2004 (a esquerda) EVENTO DE 04/02/2005 (a direita).



Fonte: Plano de Águas de Nova Friburgo

c) Intervenções no Córrego Dantas (Pós-Megadesastre'11)

O córrego Dantas fez parte dos estudos e proposições de macrodrenagem, elaboradas pelo Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo (PAPNF). Este documento foi elaborado pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH) em setembro de 2007 e apresentou um extenso estudo das condições hidrológicas e hidráulicas do córrego Dantas e do rio Bengalas, com a construção de diversos cenários de uso e ocupação do solo e, assim, verificando o impacto da impermeabilização pelo adensamento urbano.

Apesar das diretrizes propostas para implementação do projeto de macrodrenagem não terem sido concretizadas, as modelagens e diagnósticos foram aproveitados para os projetos emergenciais desenvolvidos após o *Megadesastre'11*. Este conjunto de projetos, denominado *Projeto Rios da Serra*, para intervenções em diversas cidades da Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, foi apresentado ao Ministério das Cidades em seleção especial do PAC (Programa de Aceleração do Crescimento – Governo Federal).

Neste conjunto de projetos havia a execução de obras de macrodrenagem do córrego Dantas contemplando um pacote de serviços de engenharia, que tiveram por premissa o reestabelecimento das condições de escoamento da calha fluvial, conforme descrito:

- Dimensionamento de seção hidráulica para os TR's (Tempo de Recorrência de Chuva) 20 anos;
- Zoneamento de áreas de risco de inundação;
- Serviços de dragagem, contenção e/ou recomposição de taludes;
- Substituição de travessias/pontes;
- Estudos de Barragens de controle de cheias;
- Parques fluviais;
- Reflorestamento e manutenção de plantios.

O Projeto do Parque Fluvial do córrego Dantas fez parte do primeiro pacote de projetos realizados pelo INEA e apresentados ao Ministério das Cidades. A principal premissa apresentada pelo Projeto era proteger as comunidades ribeirinhas, reverter o processo de precarização da ocupação do solo nas margens do córrego, principalmente nas áreas de risco e recuperar ecologicamente essas áreas.

Fatores como topografia, usos, padrão construtivo, paisagens existentes, bem como a extensão dos efeitos provocados pela precipitação das intensas chuvas, balizaram os limites do Parque e as áreas prioritárias.

O parque foi dividido em três trechos principais: parque urbano, suburbano e rural, que estão interligados desde a foz do córrego Dantas no rio Bengala até a sua nascente. Segundo o Projeto Rios da Serra o parque urbano seria destinado ao uso público e previa implementação de 5,4 km de ciclovia, 16 praças e área para eventos temporários (circo, parque de diversões, exposições, etc.), área para estacionamento/campo de várzea, e passarelas (Figura 21 e Figura 22).

Apesar dos conceitos arquitetônicos e urbanísticos utilizados nos projetos de parques fluviais visarem a proteção das populações contra os efeitos de inundações, e tentarem de forma pioneira, aplicar no Brasil, projetos de revitalização longitudinais, integrando diferentes áreas do rio para usos recreativos, esta solução importaria diversas desapropriações ao longo das margens.

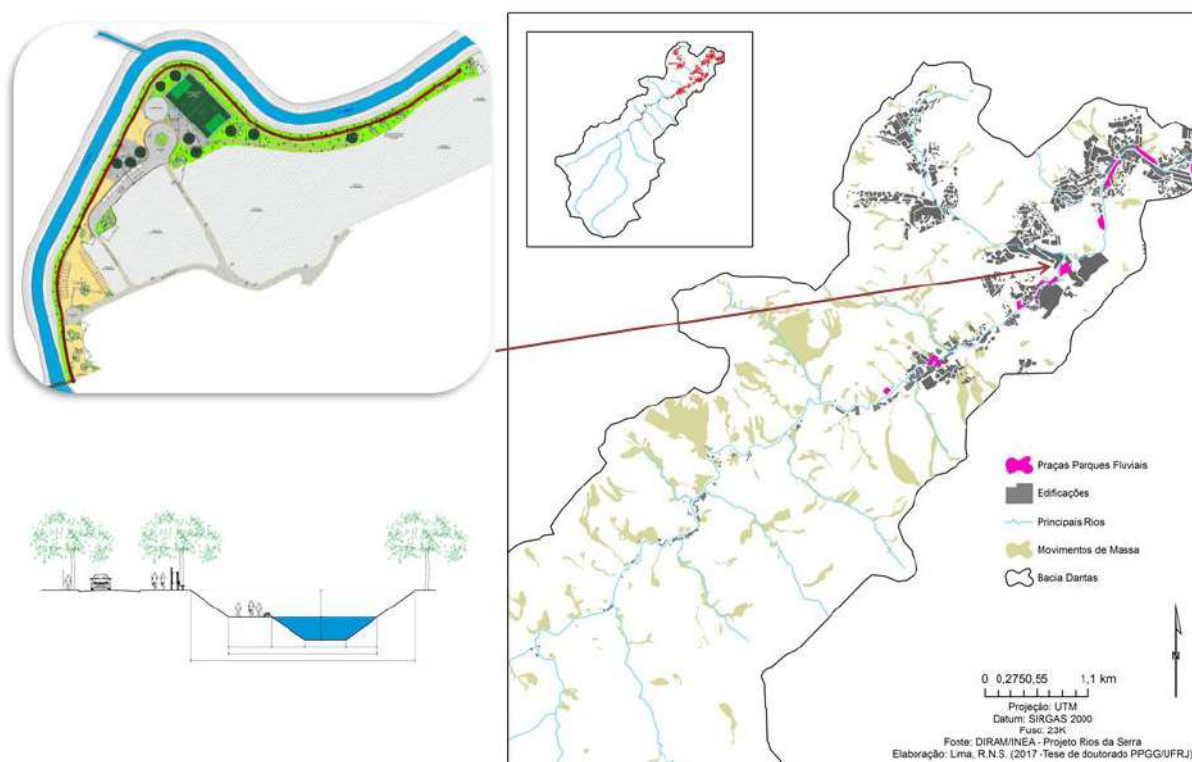
À medida que as negociações e tratativas com moradores avançavam, foram sendo identificadas dificuldades em desapropriar e indenizar os proprietários. Isso fez com que o INEA, que ficaria responsável em conduzir as desapropriações, começasse a declinar desses projetos e optasse por executar projetos de macrodrenagem tradicionais. Até hoje, nenhum projeto de parques foi implantado.

Figura 21 - Croqui de um projeto de praça do parque fluvial do córrego Dantas.



Fonte: Ecologus/Inea (2012).

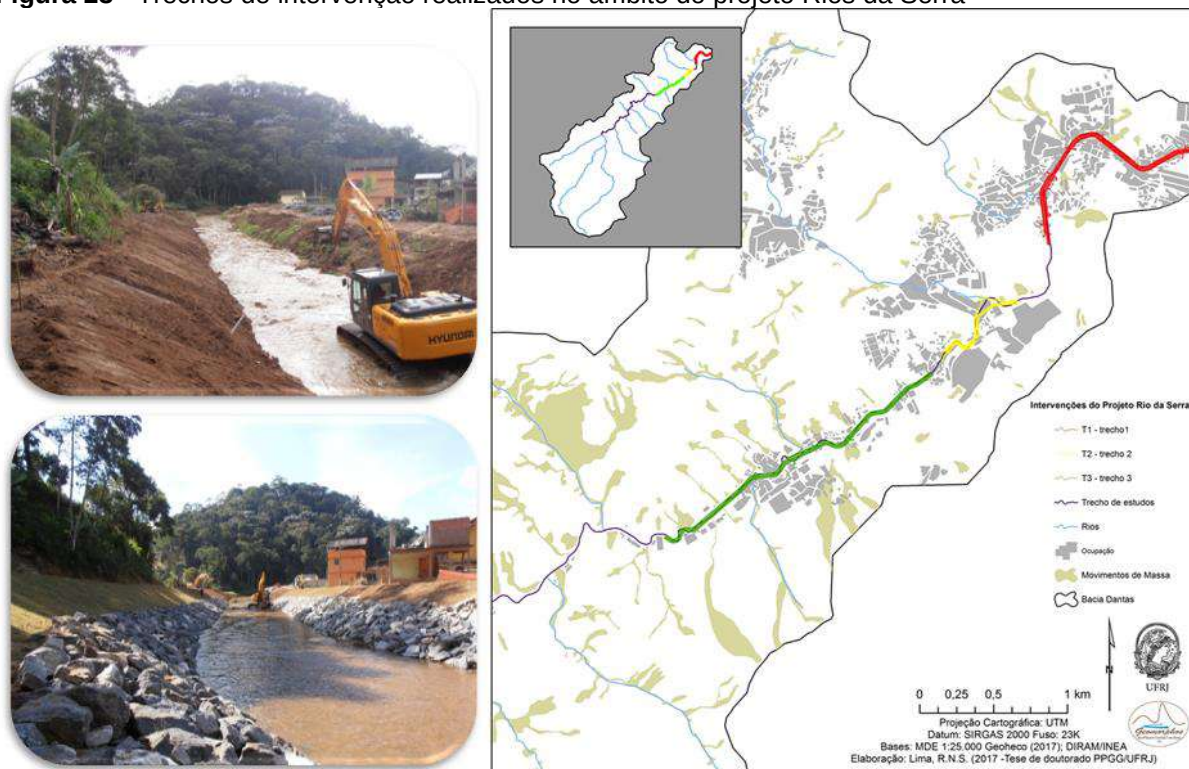
Figura 22 - Croqui de um projeto de praça do parque fluvial do córrego Dantas.



Fonte: Ecologus/Inea (2012).

Neste contexto, o Projeto Rios da Serra executado pelo INEA, definiu para o córrego Dantas três trechos de intervenção emergencial, devido à condição de assoreamento em alguns trechos, associada à proximidade do período chuvoso. Desse modo o INEA iniciou, imediatamente após o evento, a coordenação dos trabalhos de dragagem e estabilização de margens removendo um volume aproximado de 129.500m³ em aproximadamente 5,2km, dividido em três trechos, de acordo com as características do canal e das edificações no entorno. (Figura 23).

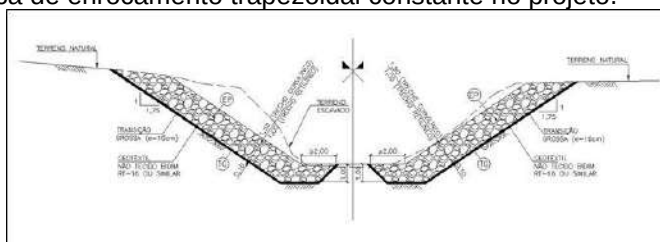
Figura 23 - Trechos de intervenção realizados no âmbito do projeto Rios da Serra



Fonte: Ecologus/Inea (2012).

Os trechos 1 e 2 foram contemplados na fase de seleção especial do PAC2, para os quais foram elaborados projetos executivos. Esta definição permitiu ao INEA a abertura de processo licitatório para a contratação das obras, então programadas para o primeiro semestre de 2013 (Figura 24).

Figura 24 - Seção típica de enrocamento trapezoidal constante no projeto.



5.2 Controles Regionais do Sistema Fluvial do Córrego Dantas

Este item apresenta informações sobre a estruturação da rede de drenagem, considerando seus principais fatores de controle sobre o fluxo de energia e materiais no sistema, sendo eles: o perfil longitudinal do canal, parâmetros morfométricos (padrão de drenagem, densidade, hierarquia e forma da bacia), análise do regime hidrológico e caracterização ambiental regional (geologia, geomorfologia, solos, topografia, clima e uso do solo).

a) Controles Litológicos e Estruturais

O Estado do Rio de Janeiro, em sua maior parte, está inserido no denominado Cinturão Móvel Ribeira ou Faixa Ribeira, unidade geotectônica caracterizada por rochas proterozoicas deformadas e metamorizadas durante a orogênese Brasileira (720-590 Ma). Originada a partir de um ambiente de arco magmático, é caracterizada principalmente por rochas metamórficas para-derivadas, fortemente orientadas segundo *trend* estrutural NNE-SSW e NE-SW, intrudidas por rochas ígneas intrusivas neoproterozoicas a eopaleozoicas, e estruturada por grandes falhamentos regionais. A Faixa Ribeira sustenta, em grande parte, uma das principais feições de relevo do estado do Rio de Janeiro: a Serra do Mar (HEILBRON et al., 2004).

A Serra do Mar, segundo ALMEIDA (1967, 1976), teria sido soerguida mais intensamente entre o Cretáceo Superior e o Paleoceno. Estes processos de ascensão, além de terem formado as serras do Mar e da Mantiqueira, produziram um volume importante de sedimentos detríticos que foram distribuídos para as bacias do Paraná, de Santos e Campos, além de terem sido acompanhados de manifestações de vulcanismo básico e alcalino.

ASMUS & FERRARI (1978) propuseram um modelo de evolução da margem continental do Sudeste do Brasil associado à geração de uma estrutura dômica durante a fase preliminar da abertura do Oceano Atlântico (estágio pré-rift), entre o Permiano e o Triássico. Os processos de afinamento da crosta relacionados à distensão e o concomitante acúmulo de sedimentos durante a evolução da margem continental, teriam determinado um pronunciado desequilíbrio isostático entre as áreas continentais e oceânicas. Como resultado dos continuados e opostos movimentos verticais da crosta (de soerguimento e subsidência), foram gerados

falhamentos normais, principalmente ao longo de direções de foliação e de falhamentos de idade brasileira. Estes movimentos epirogenéticos deram origem a blocos crustais basculados, cujo arranjo se configurou à maneira de cristas (as atuais serras do Mar e da Mantiqueira, bem como o Maciço Carioca) e depressões intermediárias (os atuais *grábens* do Paraíba do Sul e da Baixada Fluminense).

ALMEIDA & CARNEIRO (1998) relacionaram o evento distensivo iniciado no Paleógeno à deformação através de flexuras e falhas da superfície do grande planalto mesozoico – denominada de Superfície Japi (ALMEIDA, 1964) – produzindo a instalação das bacias tafrogênicas do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RICCOMINI, 1989; RICCOMINI et al., 2004) e das serras da Mantiqueira e do Mar. Segundo os mesmos autores, a Serra do Mar teria sido originada por movimentação normal ao longo da Falha de Santos, com abatimento do bloco situado a leste.

Os eventos geológicos, marcadamente de origem pré-cambriana que vão até períodos geológicos recentes, são fortemente marcados na paisagem da região onde se localiza a bacia do córrego Dantas, na qual determinam controles litológicos e estruturais importantes na evolução paisagem.

A configuração topográfica dos divisores da bacia do córrego Dantas desenha um vale assimétrico e a orientação da drenagem principal é no sentido SW-NE, seguindo o alinhamento das estruturas tectônicas definidas pela foliação principal das rochas da Faixa Móvel Ribeira, com pequenas contribuições de afluentes orientados no sentido NW-SE, já orientados pela rede de fraturamentos e falhamentos provenientes da tectônica rúptil juro-cretácica.

A partir do mapeamento geológico na bacia do córrego Dantas realizado por VINAGRE *et al.*, (2014) destaca-se que além dessas estruturas de dobramentos e falhas, ocorrem na região, afetando praticamente todas as unidades mapeadas, com exceção dos diques de gabro/microgabro, uma série de fraturas que a princípio podem ser classificadas como relacionadas a descompressão dos corpos por desconfinamento, isto é, fraturas de alívio (235 medidas), e outro conjunto relacionado a tectonismo (128 medidas), somando um total de 363 fraturas medidas em campo. Após o intenso intemperismo químico nas rochas mapeadas, destaca-se na bacia do córrego Dantas, desenvolvimento de saprolitos, que são visualmente muito similares na região e também solos coluvionares correlatos provenientes de antigos movimentos de massa. Destes tipos de solo, destaca-se que foram identificados por Vinagre *et al* (2016), teores elevados de areia, sendo observadas as seguintes proporções: saprolito cinza

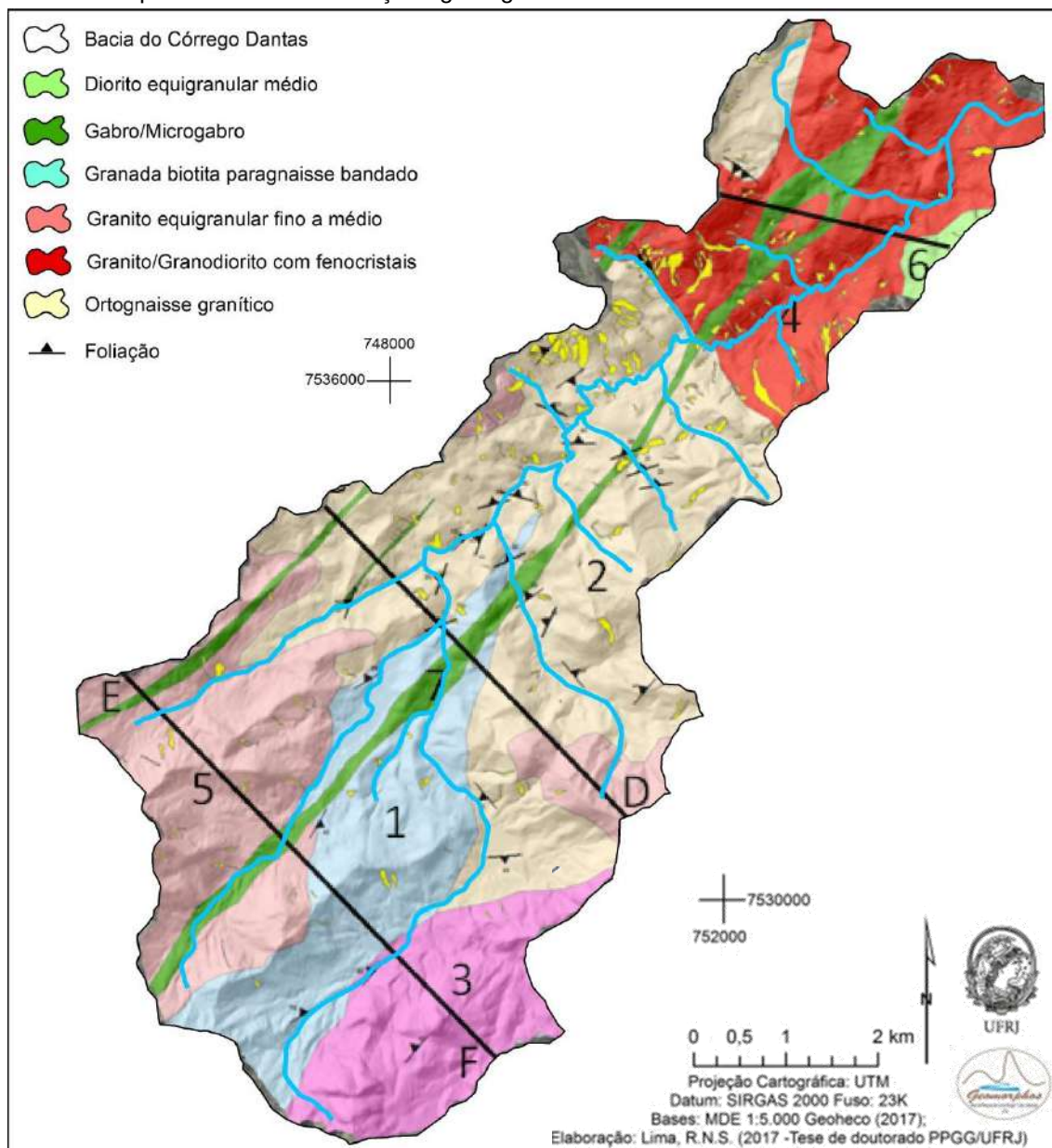
(69% areia); saprolito rosa (46% areia – 16% argila); colúvio vermelho (25 % areia – 17% argila); colúvio fundo de vale (52% areia – 27% argila). O alto teor de areia encontrado nas áreas fontes ajudam a compreender a característica dos depósitos formados no fundo de vale, resultante do fluxo formado no *Megadesastre'11* (Figura 25).

Figura 25 - Acresção vertical em planície fluvial resultante da deposição de sedimentos arenosos.



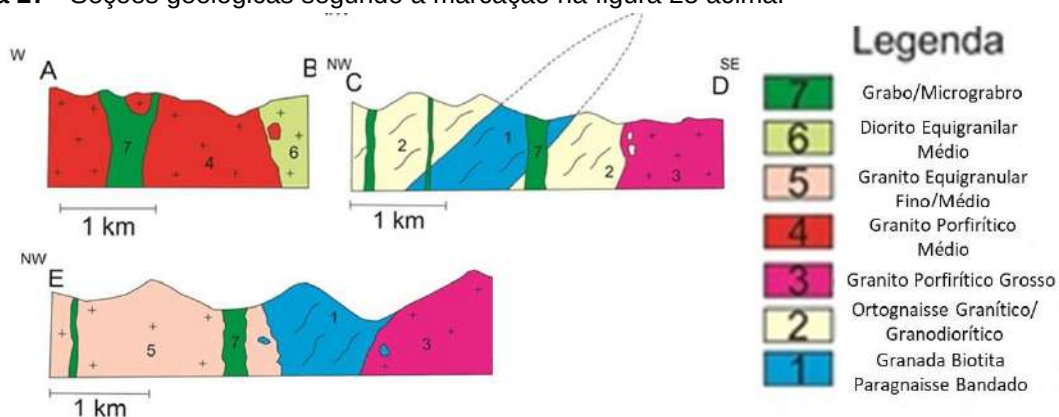
Vale ressaltar que o eixo longitudinal da Bacia do córrego Dantas é exatamente paralelo ao *strike* das fraturas tectônicas que mergulham para SE. Este forte controle estrutural no desenvolvimento da drenagem explica a estruturação do vale principal encaixado. Nas áreas centrais da bacia são verificados vales mais estreitos, formados pela incisão do rio em planos de falhas locais (Figura 26).

Figura 26 - Mapa Geológico da Bacia do Córrego Dantas, onde as linhas pretas representam o posicionamento de seções geológicas.



Fonte: adaptado de Vinagre et al (2016).

Figura 27 - Seções geológicas segundo a marcação na figura 25 acima.



A grande quantidade de fraturas e falhas, bem como a diferenciação de resistência das rochas ao intemperismo, contribuem, a partir da perspectiva geológica, para a ocorrência de áreas fontes de sedimentos ao longo de todo o sistema. Segundo VINAGRE *et al.* (*op.cit*) a rocha que mais influenciou os deslizamentos foi o Ortognaisse Granítico/Granodiorítico. Além de ocupar a maior parte da área mapeada, a litologia de composição aproximadamente granítica favorece a produção intempérica de um solo arenoso rico em quartzo com pouca matriz argilosa. Pode ser que essa unidade, por ser afetada por um intenso tectonismo colisional, seja uma das rochas mais deformadas. Os autores ressaltam, ainda, que nela ocorrem superfícies penetrativas e contínuas, como foliações, fraturas e etc., que colaboram para uma grande percolação de água, acelerando assim os processos intempéricos e erosivos.

b) Controles Geomorfológicos

A morfologia das paisagens do sudeste do Brasil e, em particular, a evolução das vertentes, tem sido considerada como reflexo das mudanças climáticas ocorridas durante o Quaternário. Durante o Pleistoceno — de acordo com o esquema clássico para o Hemisfério Norte — épocas de clima úmido (interglaciais) alternaram com épocas semiáridas (glaciais); desenvolvimento de manto profundo de intemperismo, dissecação da paisagem pelos rios permanentes e atuação de movimentos de massa em áreas de alta pluviosidade e declividade acentuada seriam dominantes durante as fases úmidas, enquanto morfogênese mecânica, degradação lateral e formação de pedimentos se associariam aos climas semiáridos (Bigarella, Mousinho & Silva, 1965). Durante o Holoceno, a dinâmica morfogenética teria perdido eficácia, favorecendo a acumulação de colúvios e a formação de paleossolos.

As análises geomorfológicas realizadas por Coltrinari (2011) na região do médio vale superior do rio Paraíba do Sul, com interpretação baseada no modelo de evolução do relevo de Brunnsden (1980) indicaram que a proposta contida no modelo utilizado para explicar a evolução do modelado da zona tropical úmida brasileira, não demonstram evidências da influência da atuação alternada de climas úmidos e semi-áridos, conforme o modelo calcado nas quatro glaciações do Hemisfério Norte.

Há, por outro lado, sinais de que os valores dos parâmetros climáticos, como temperatura e umidade suficientes para o desenvolvimento de manto de alteração importante e pedogênese latossólica, permaneceram estáveis durante o Quaternário

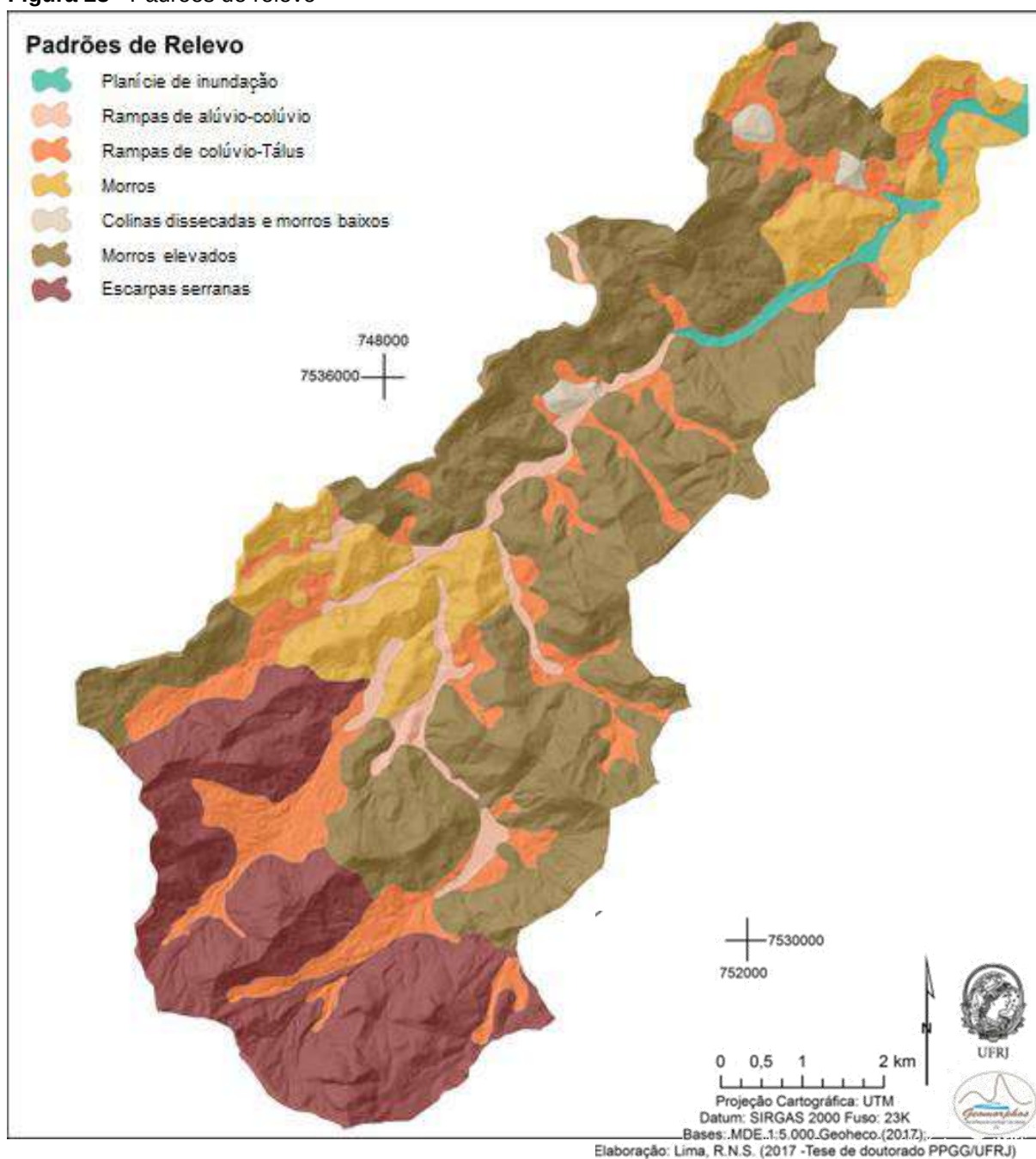
(COLTRINARI, 2011). Mais do que a alternância de períodos climáticos contrastados, o modelado da área resulta da atuação combinada do clima e de impulsos de energia desencadeados por atividades tectônicas ao longo de fases relativamente recentes, estando sua maior ou menor influência condicionada a sensibilidade dos setores afetados.

A partir do mapeamento de padrões de relevo realizado por CPRM (2016), verifica-se que a Compartimentação Geomorfológica da região em que está inserida a bacia do córrego Dantas demonstra dois níveis altimétricos condicionados pela própria estruturação geológica da região, sendo eles representados pela Serra do Mar e suas escarpas e a superfície de aplainamento, que se desenvolve em direção ao interior do continente.

A bacia do córrego Dantas apresenta relevo predominantemente escarpado, com presença de morros elevados e escarpas serranas na parte central, com ocorrência localizada de colinas (Figura 28). Vale ressaltar, ainda, a distribuição de grandes unidades de rampas de colúvio-tálus nas cabeceiras e ocorrências menores ao longo dos tributários da parte central da bacia. As rampas de alúvio-colúvio distribuem-se ao longo do fundo do vale do córrego Dantas, em trecho de maior declividade do perfil longitudinal. Com a redução do gradiente longitudinal na porção central da bacia, predominam planícies de inundação e reduz-se a ocorrência de rampas de alúvio-colúvio.

A configuração espacial destes compartimentos apresentados permite a ocorrência de diferentes feições fluviais que se somam ao longo do curso do rio, e de maneira contínua, determinam os padrões de comportamento, em cada setor.

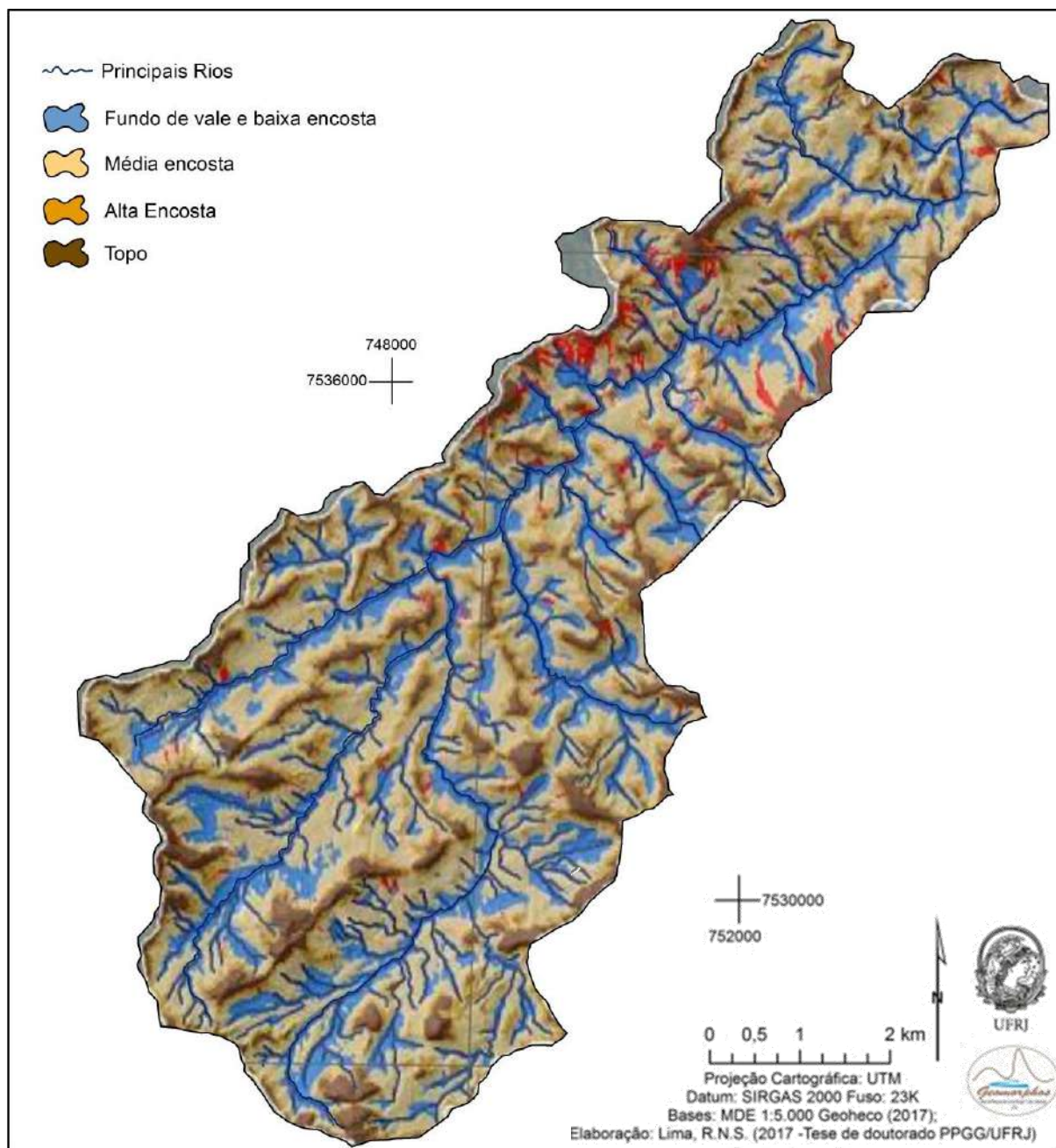
Figura 28 - Padrões de relevo



Fonte: CPRM (2016).

O Índice de Posição Topográfica, elaborado por Lima *et al* (2014), demonstra que toda a bacia do córrego Dantas é dominada por fundos de vales encaixados, potencialmente conectados com os sedimentos oriundos das encostas íngremes. Sendo a bacia dominada por áreas fontes de sedimentos arenosos, ressalta-se que uma vez liberados, este material possui um alto potencial de alcançar a rede drenagem (Figura 29).

Figura 29- Mapa do Índice de Posicionamento Topográfico das encostas do córrego Dantas.



Fonte: adaptado de Lima *et al* (2014)

Por favorecerem a concentração de fluxos, a geometria das encostas constitui elemento relevante para a identificação de áreas mais susceptíveis à ocorrência de movimentos de massa e, portanto, para a identificação de áreas fontes de grandes volumes de sedimentos arenosos no sistema (COELHO NETTO, 2007). A distribuição das fontes de sedimentos na bacia, as taxas em que são liberados nos canais e a capacidade do canal em reter ou transferir sedimentos, são elementos chave para interpretar o comportamento do rio (Figura 30).

Figura 30- Conectividade encosta-calha fluvial

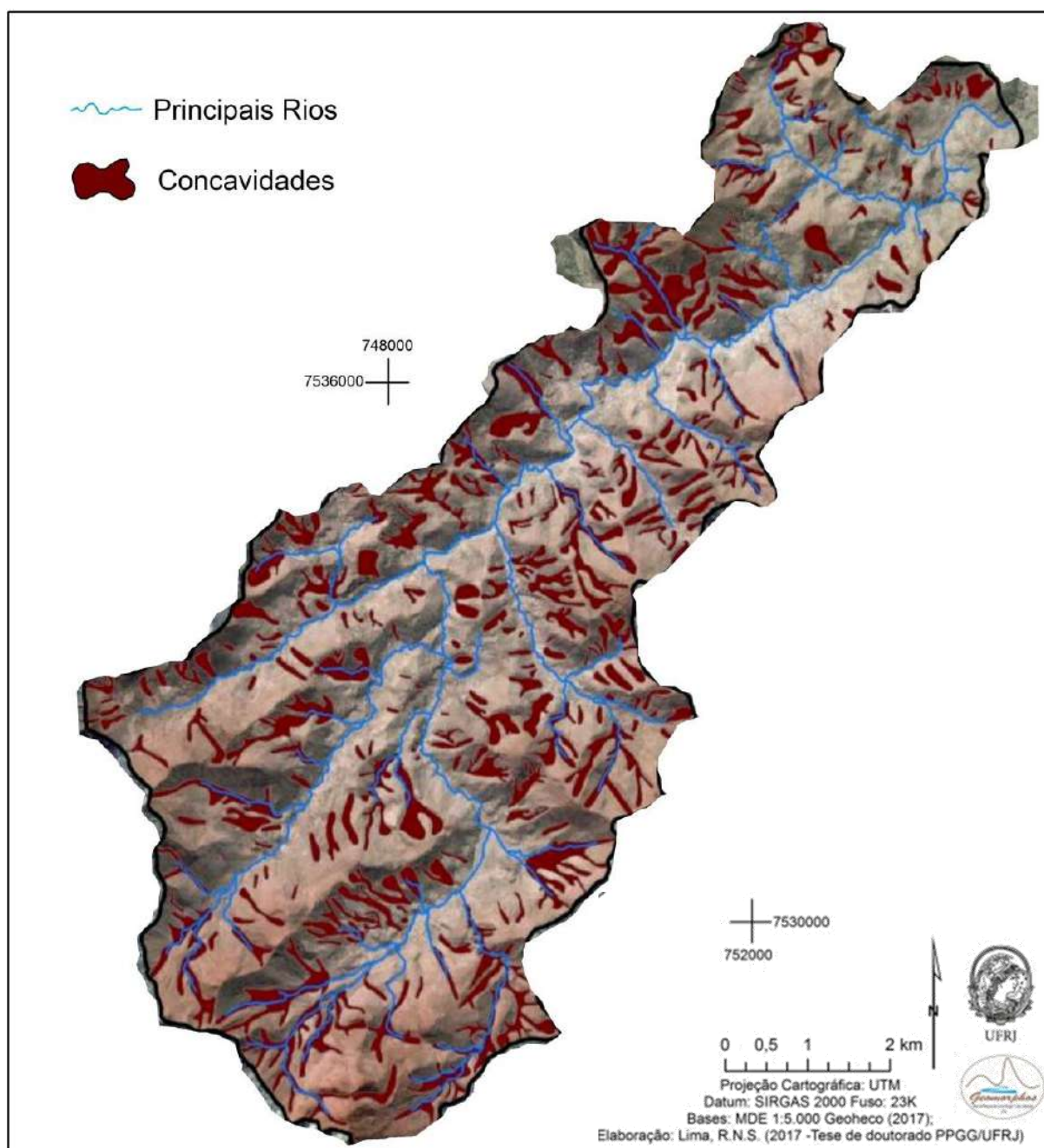


Fonte: Ecologus/Inea (2012). Sobrevoos realizados em 20 de janeiro de 2011.

A partir do mapeamento realizado por PINTO e FREITAS (2012), é possível identificar padrões espaciais na ocorrência de encostas côncavas ao longo da bacia (Figura 31). Na porção sudoeste, majoritariamente nas cabeceiras, as encostas côncavas apresentam formas alongadas e estreitas. Estas mesmas características se repetem nas encostas da margem direita do Córrego Dantas, o que pode ser explicado pelo relevo montanhoso de grande elevação. Já as concavidades da porção norte da bacia apresentam-se mais curtas e relativamente mais largas que as da porção sudoeste.

A partir destes atributos geomorfológicos, a paisagem do córrego Dantas é de modo geral, altamente conectada lateralmente (compartimento encosta-canál), com elevado potencial de produção de sedimentos para o canal. A distribuição de vales íngremes, destacados nos compartimentos alúvio-coluvionares, oferece um elevado potencial de conectividade longitudinal, permitindo elevadas taxas de transferência de sedimentos de montante para jusante.

Figura 31 - Mapa de concavidades



Fonte: adaptado de Pinto e Freitas 2012.

Por outro lado, alguns fatores locais, como *knickpoints*⁵ e alvéolos⁶ podem funcionar como bloqueios ao fluxo de sedimentos na bacia, causando heterogeneidades locais, que modificam as taxas com que os materiais se deslocam

⁵ Mudança acentuada na inclinação do canal.

⁶ Porções alargadas e aplainadas do fundo do vale, com sessões de estrangulamentos em suas extremidades.

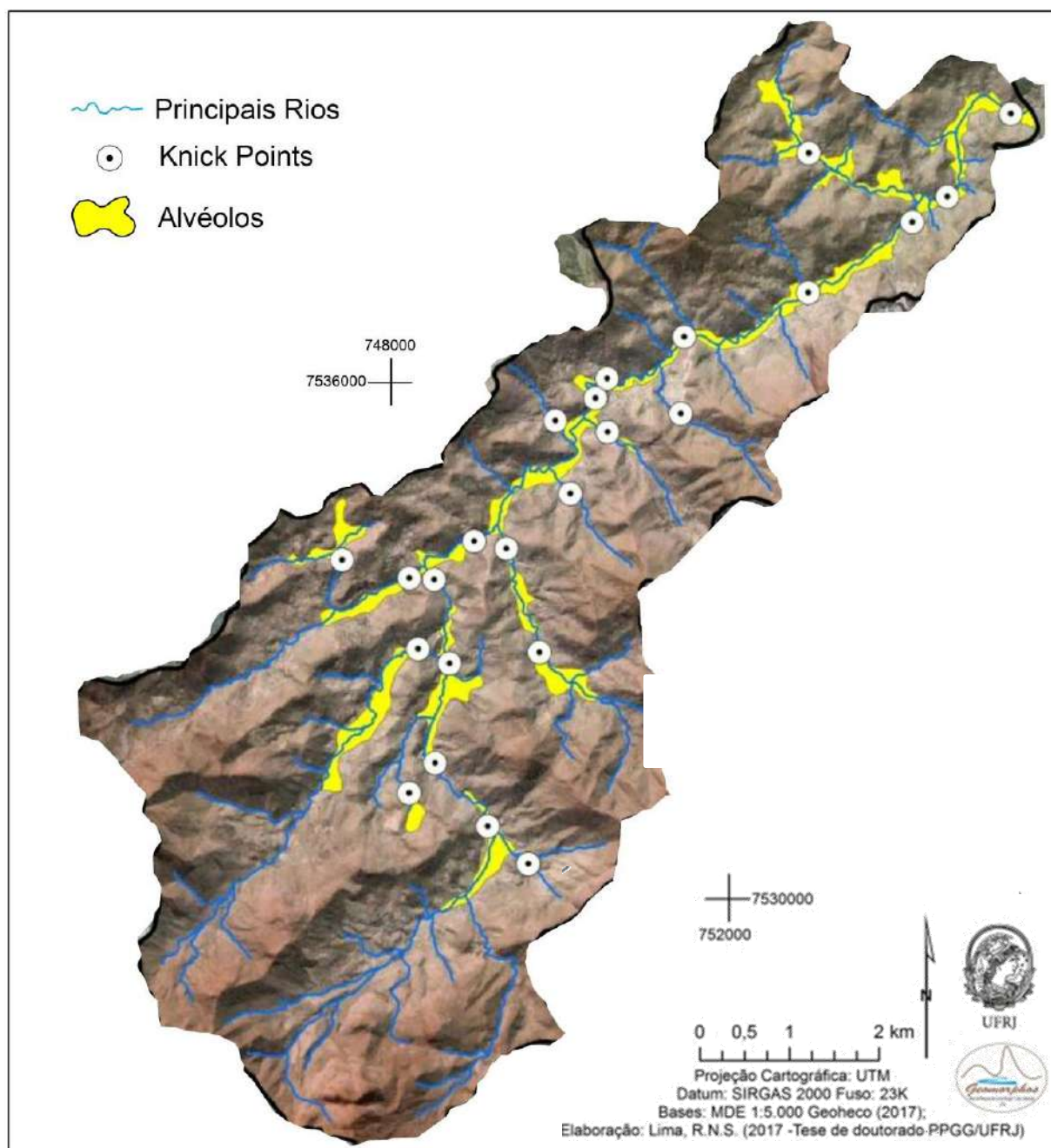
no sistema. Os alvéolos e *knickpoints* são formas que alteram e/ou impedem a taxa de transmissão de sedimentos e consequentemente restringe a conectividade encosta-calha (lateral) e montante-jusante (longitudinal), sendo considerado outro fator de controle primário na retenção e fluxos de materiais.

O mapa de alvéolos e *knickpoints* na bacia do Córrego Dantas, elaborado por PINTO e FREITAS (2012) demonstra a distribuição dos mesmos na bacia, verificando-se predominância no eixo de drenagem principal (Figura 32). Foram mapeados nove níveis de base locais no canal principal, coincidindo com estrangulamentos do relevo. No conjunto da bacia esta feição também foi mapeada nos afluentes do canal principal, destacando a presença destes nas cabeceiras de drenagem da bacia.

Dada a dimensão dos alvéolos na parte central da bacia (até 200m), não foram identificados bloqueios realizados por estes, aos materiais oriundos das encostas. Exceções ocorrem em vales suspensos na porção sudoeste da bacia, próximos à nascente do córrego Dantas, onde verificou-se deslizamentos menores retidos na planície de inundação, sem alcançar o canal.

Desse modo, os alvéolos ocorrem em associação com os *knickpoints*, em sua maioria ao longo do canal principal, interrompidos por estrangulamentos topográficos. No mapa de alvéolos, além dessas características, pode-se perceber que os alvéolos ocorrem em vales estreitos, formando planícies descontínuas entre margens de vales rochosos ou depósitos de terraços ou coluvionares.

Figura 32- Localização de alvéolos e knickpoints



Fonte: adaptado de Pinto e Freitas (2012).

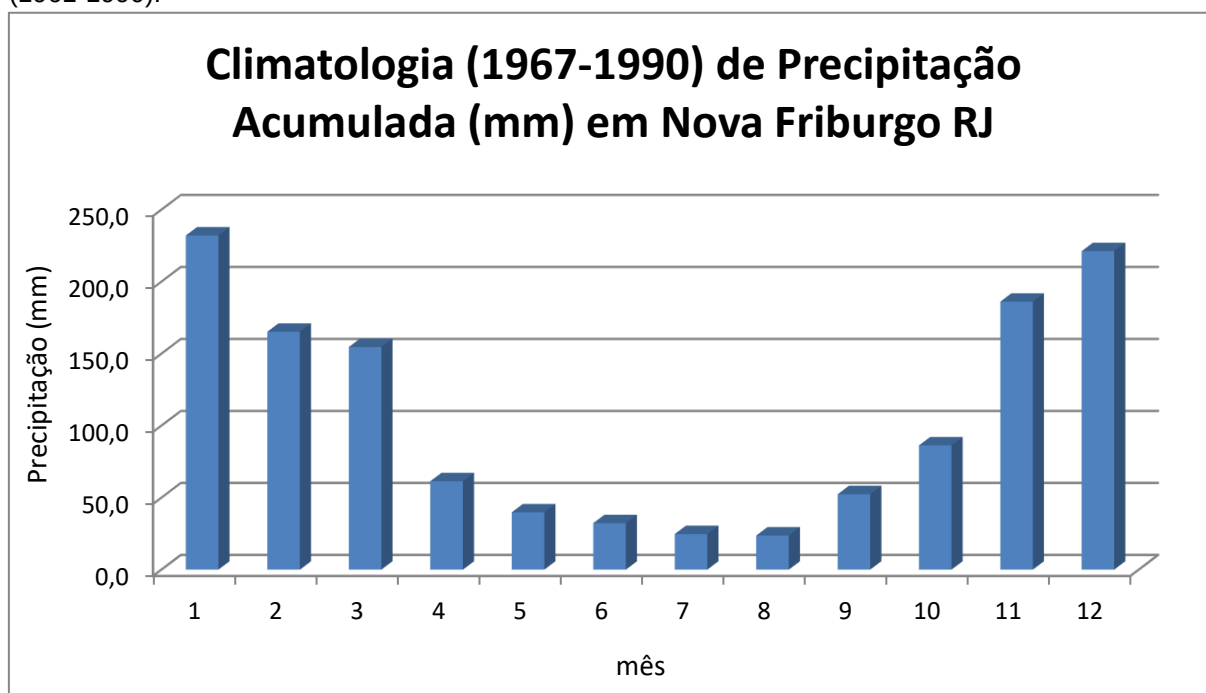
c) Controle Climático

A erosão das encostas, seja laminar ou por movimento de massa, está estreitamente relacionada com a ocorrência das chuvas intensas, cujo comportamento local necessita de monitoramento pluviométrico, incluindo registros a intervalos inferiores a 1 dia e, de preferência, menores que 1 hora, para ser adequadamente

caracterizada. Da mesma forma, em bacias hidrográficas de pequeno e médio porte, como é o caso da bacia do córrego Dantas, os níveis d'água e as vazões variam rapidamente em poucas horas ou até em minutos, durante eventos extremos. E, frequentemente, durante esses eventos ocorrem alterações da calha fluvial, provocadas pela erosão.

A diversidade climatológica fluminense é decorrente da influência de sistemas tropicais e de latitudes médias, e de uma série de fatores físicos e atmosféricos locais. De acordo com a classificação de Coppe, a Região Serrana é classificada como clima temperado marítimo/clima tropical de altitude (Cwb), onde os meses mais chuvosos ocorrem durante a primavera e o verão (setembro a março) e os de estiagem no outono e inverno (abril a setembro) (Figura 33). A precipitação sofre efeito do relevo que condiciona a ocorrência de chuvas convectivas, apresentando médias de 1.500 e 2.000 mm/ano.

Figura 33 - Precipitação mensal acumulada, em mm, na estação meteorológica de Nova Friburgo/RJ (1961-1990).



Fonte: INMET.

A partir da série histórica de chuvas (24h) das estações Cascatinha do Cônego, Vargem Grande e Fazenda Mendes, foi possível analisar o tempo de recorrência das tempestades na bacia, destacando-se as chuvas de 2011, como a mais extrema registrada pelas três estações (Tabela 4 e Figura 34).

Considerando as chuvas de tempo de recorrência (TR) 2,33 e 5 anos como eventos de referência para os canais operarem com leito pleno (*bankfull stage*) e transbordarem, respectivamente, foram utilizados os TRs apresentados no Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo (2006) (Figura 35).

Tabela 4 - Precipitação e Tempo de Recorrência

TR do Ajuste (Anos)	Precipitação (mm)
2	77
2.33	82
5	103
10	120
15	130
20	137
25	142
40	153
50	159
100	175
250	196
500	212
1000	229
10000	282

Figura 34- Análise da área de influência das estações através da interpolação por Polígono de Thiessen.

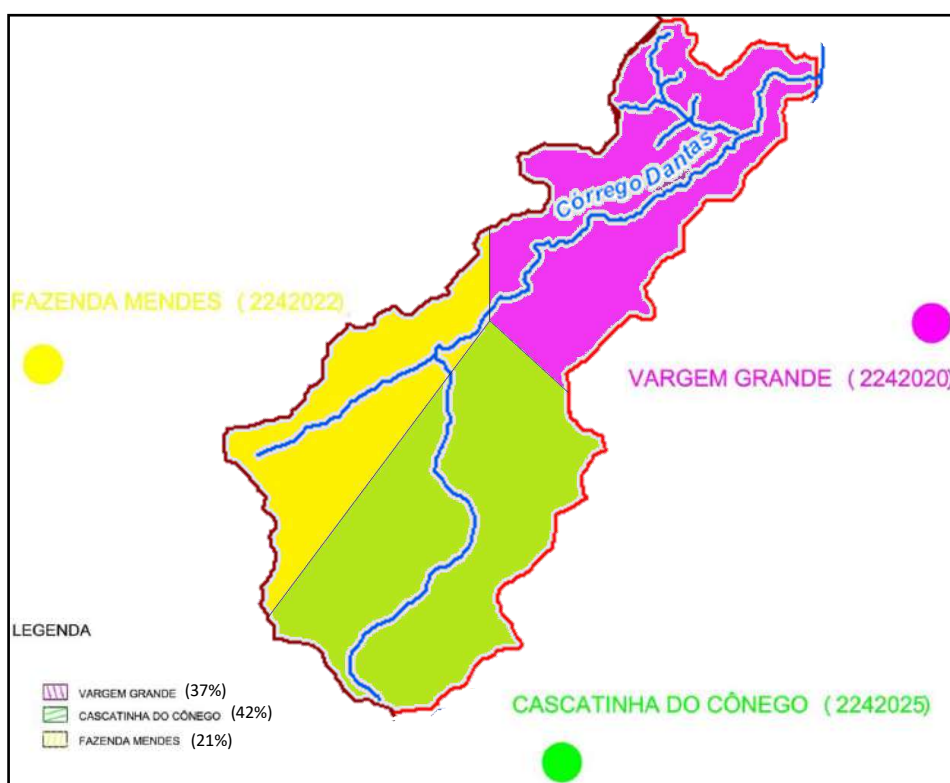
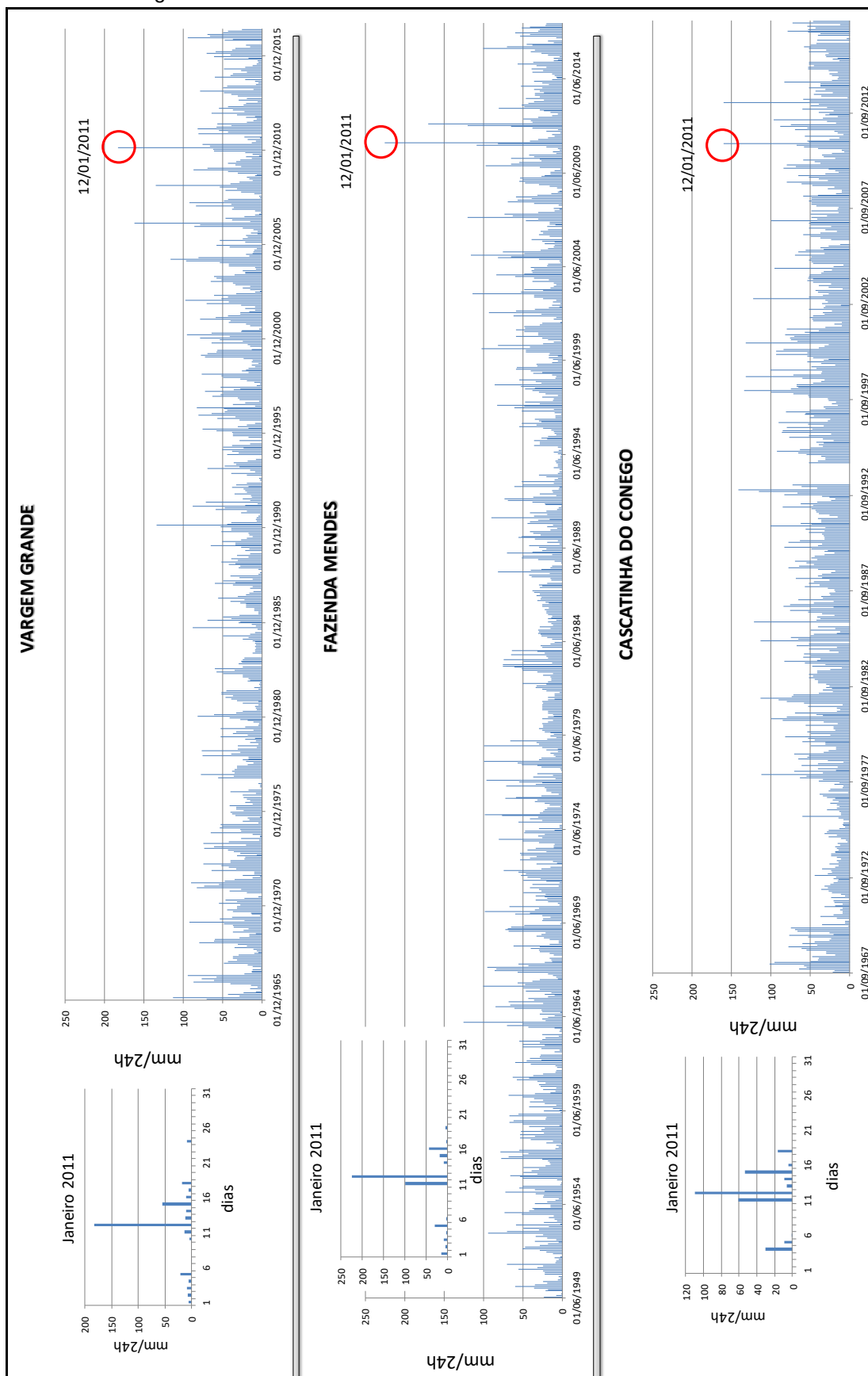


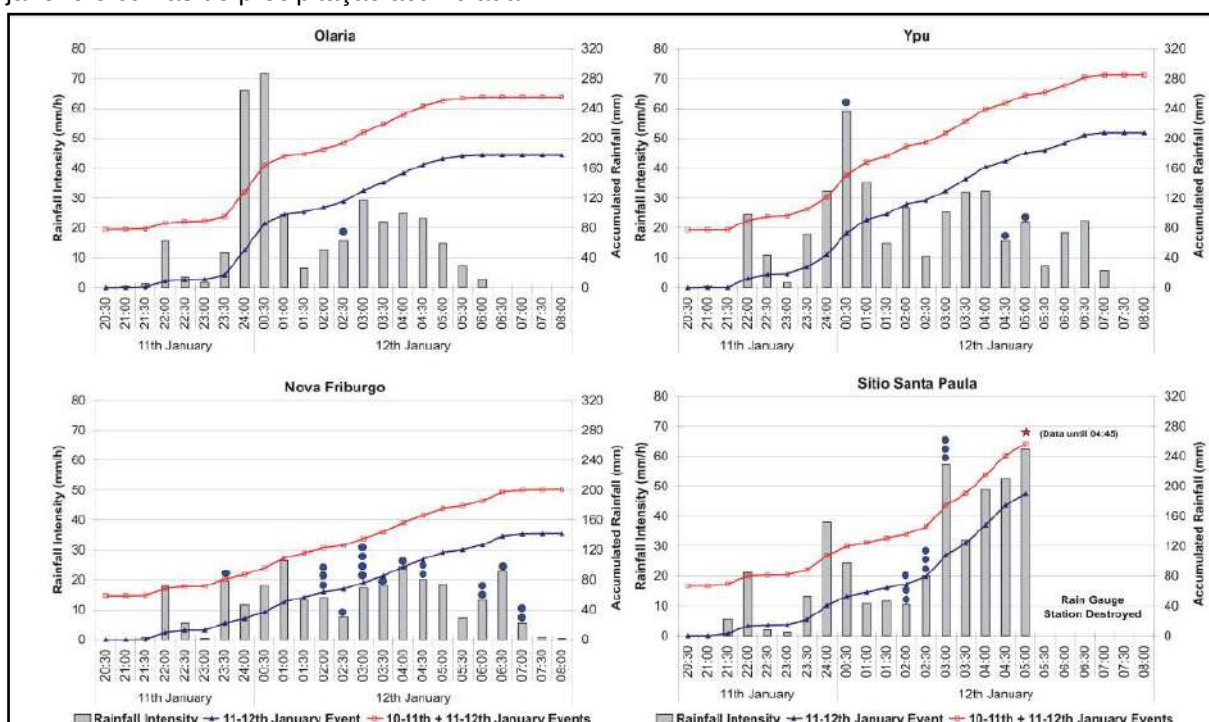
Figura 35 - Série histórica de chuvas máximas mensais para períodos de 24h. Em detalhe, chuva máxima diária para o mês de janeiro de 2011. Estações Vargem Grande, Fazenda Mendes e Cascatinha do Cônego



Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA.

Na região de Nova Friburgo, uma das mais afetadas no evento, o INEA possuía na época quatro estações pluviométricas automáticas, dentre elas uma foi perdida na enchente. Na estação Ypu os dados apontam que o acumulado do mês de janeiro, até o meio-dia do dia 11, era de 114,4 mm. Nas 12 horas seguintes choveu nesta estação mais 106,4 mm, enquanto o acumulado das 24 horas foi de 222,8 mm, com um pico de 61,8 mm de uma hora à meia-noite. O total acumulado foi de 329,2 mm no mês de janeiro até às 06 horas do dia 12 (Figura 36).

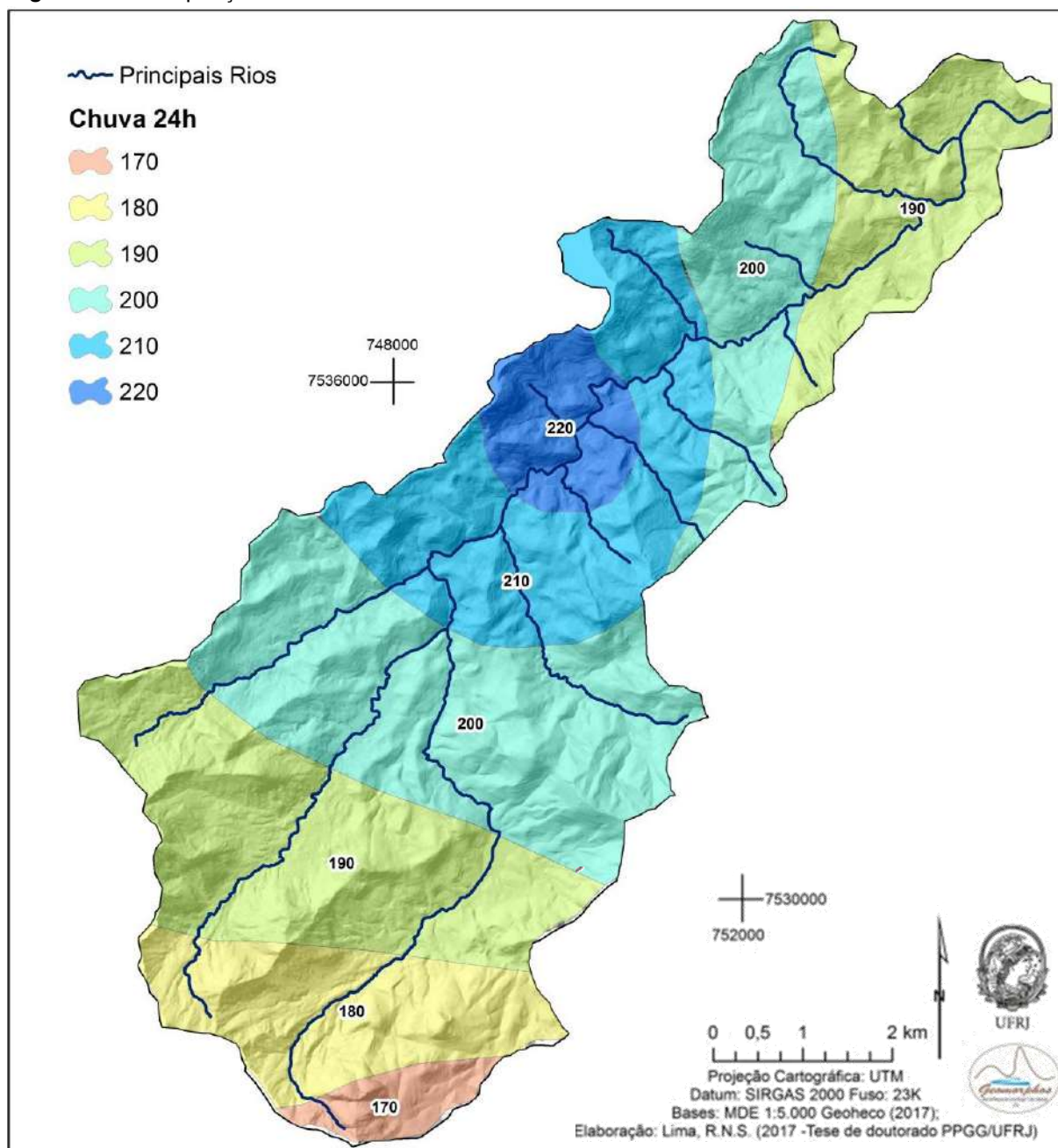
Figura 36 - Histograma da distribuição da intensidade de chuva (mm.h-1) da tempestade de 11-12 de janeiro e curvas de precipitação acumulada.



Fonte: Coelho Netto *et al.* (2011).

Devido à topografia da região e efeitos da microclimatologia local, os valores da pluviometria variam muito entre as estações (Figura 37). Deste modo, o fator deflagrador do evento foi a chuva intensa antecedente, com pulsos entre a 00-00 e 05-00 do dia 12 de janeiro, sendo a região central da bacia a área de maior concentração,

Figura 37 - Precipitação em 24 horas no dia 12/01/2011.

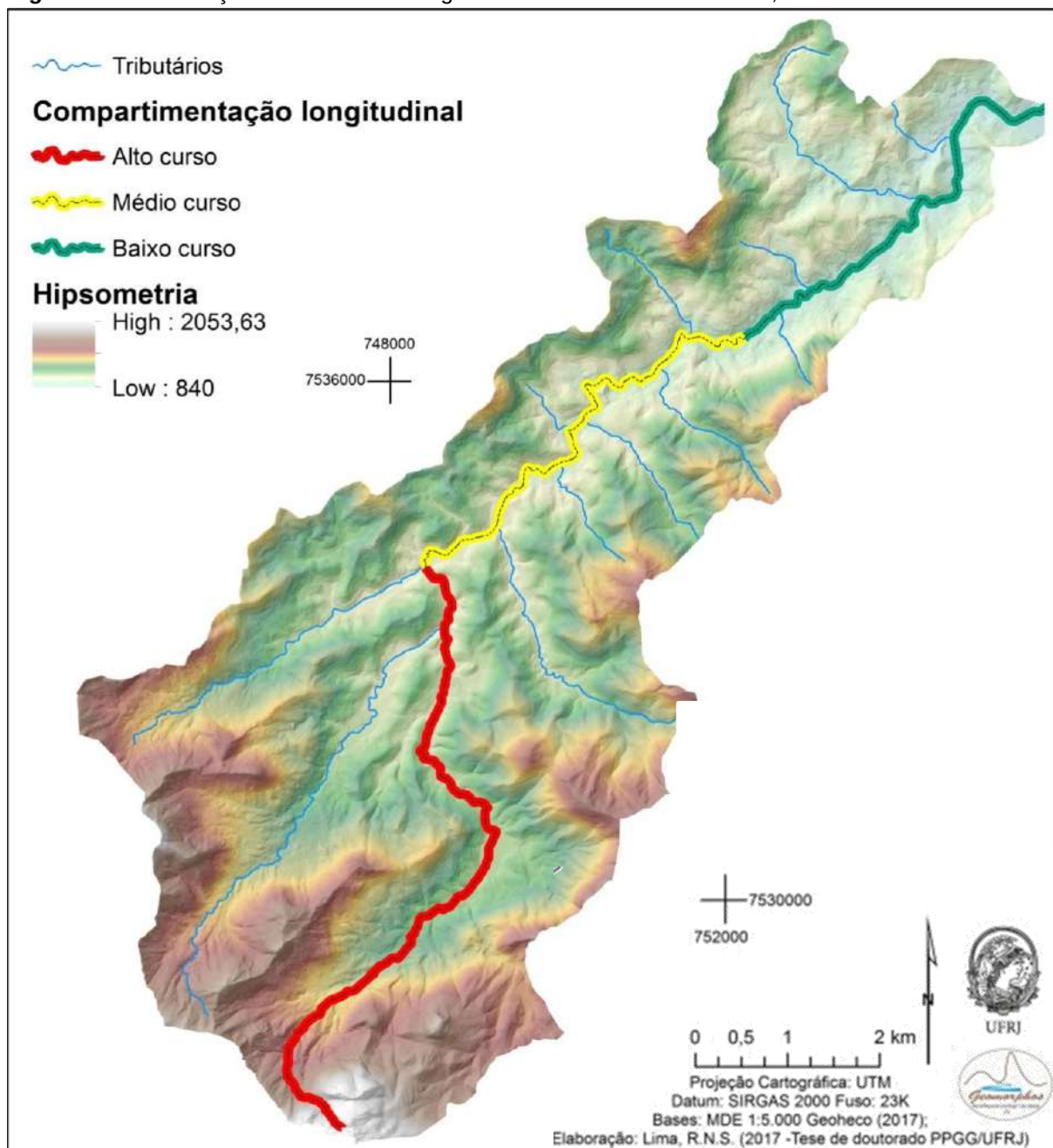


Fonte: dados das estações telemétricas do INEA.

d) Parâmetros Morfométricos

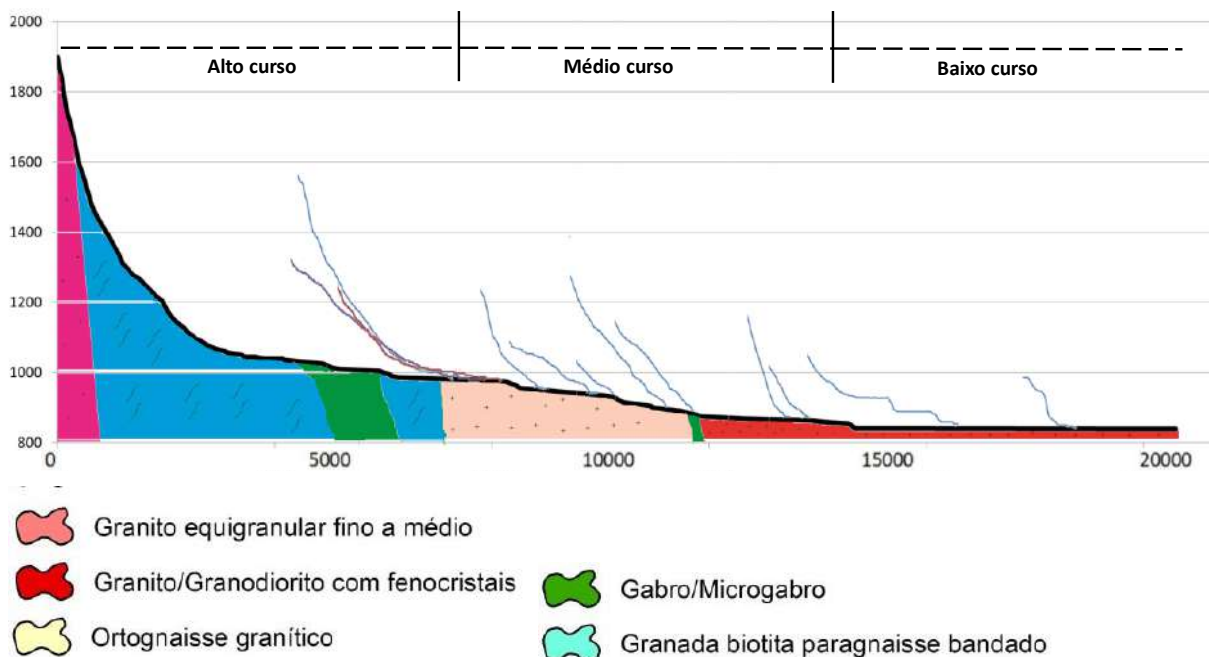
A fim de caracterizar preliminarmente os principais compartimentos hidrológicos da bacia, propõe-se a sua setorização em alto, médio, e baixo curso, considerando limites ao longo do rio dentro dos quais predominam processos de produção, transferência e acumulação, respectivamente (Figura 38).

Figura 38 - Localização da bacia do córrego Dantas e sua divisão em alto, médio e baixo curso.



O perfil longitudinal do córrego Dantas apresenta uma forma predominantemente côncava, com ocorrência de irregularidades convexas, demonstrando mudanças na resistência das rochas (Figura 39).

Figura 39 - Perfil longitudinal do córrego Dantas e afluentes associada à embasamento geológico.



O perfil inicia-se com alta declividade, e diminui gradualmente formando os primeiros *knickpoints* na mudança litológica de Paragnaisse para Grabo. O alto curso se desenvolve ao longo de aproximadamente 8 km, da nascente à confluência do córrego Dantas com o córrego Boa Vista. Nessa região a ocupação humana apresenta baixa densidade, predominando a atividade rural e sítios de recreio, com significativas áreas vegetadas e aspectos cênicos da paisagem serrana (Figura 40).

Figura 40 - Característica das paisagens do alto curso



Fotos: Ecologus (2011).

Após a confluência com o córrego Boa Vista, inicia-se o médio curso, sobre embasamento Granítico. Após o primeiro *knickpoint*, que corresponde a uma sequência de duas quedas d'água, ocorre o aumento da declividade e proporcionando o desenvolvimento de trechos de corredeiras. O médio curso se desenvolve ao longo dos aproximadamente 6 km seguintes e apresenta ocupação variada com condomínios de casas de recreio, pequenos núcleos residenciais, hotéis e indústrias, intercalado por trechos desocupados e florestados (Figura 41).

Figura 41 - Característica das paisagens do médio curso. Loteamento Dois Esquilos, Vendas das Pedras, Olaria do Spinelli, Ponte Petra, Loteamento Vale dos Pássaros



Fotos: Ecologus (2011).

A transição para o baixo curso ocorre com após a mudança da litologia Granítica para o Granodiorito, onde é possível verificar uma diminuição do gradiente ao longo de aproximadamente 5,5 km até a confluência com o rio Bengalas. Esta região apresenta ocupação urbana mais densa e consolidada nas encostas e próximo da calha principal do córrego e de seus tributários (Figura 42).

Além do controle da declividade sobre as características morfológicas do córrego Dantas, outro aspecto relevante sobre o deslocamento dos fluxos na bacia é a estruturação da rede de drenagem e a relação entre os tributários.

Figura 42 - Bairros e Localidades Jardim Califórnia, Santa Bernadete, Girassol, Córrego Dantas



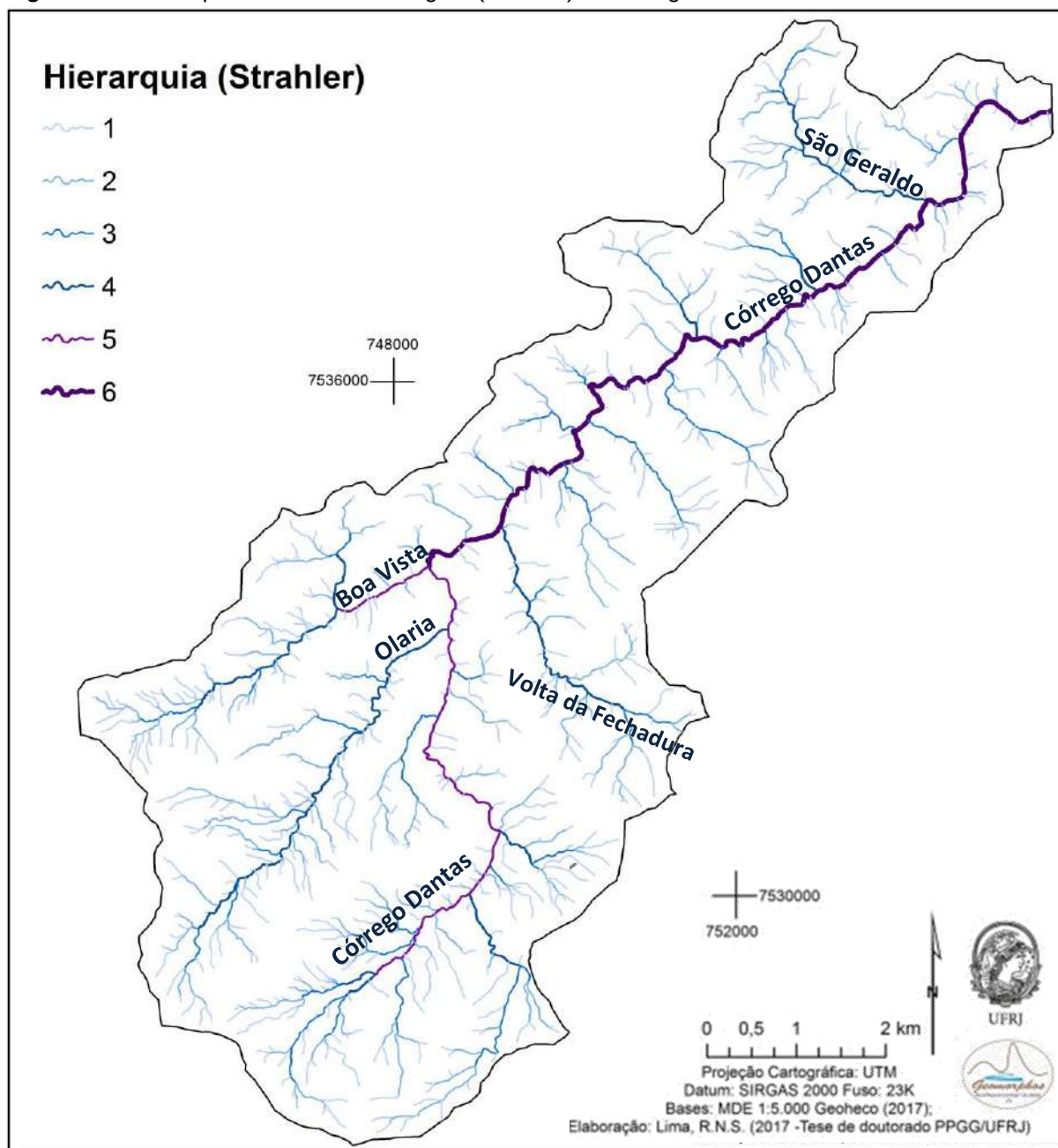
Fotos: Ecologus (2011).

Apresenta três cabeceiras paralelas cujas drenagens seguem a orientação preferencial SW-NE, assim como o canal principal. A bacia apresenta sexta ordem (classificação de Strahler), atingindo este patamar após confluência do Córrego Dantas com o córrego Boa Vista (Figura 43).

Neste local, ocorre a confluência dos dois principais tributários ao córrego Dantas (Boa Vista e Olaria), que seguem a mesma orientação NE-SW, fazendo com que ao longo de um trecho de 800m a área de contribuição ao córrego Dantas praticamente duplique. Ao confluir com o córrego Olaria, o córrego Dantas passa de uma área de captação de 15km² para 22 km², aumentando em seguida para 28 km² (52,8%), após confluência com córrego Boa Vista.

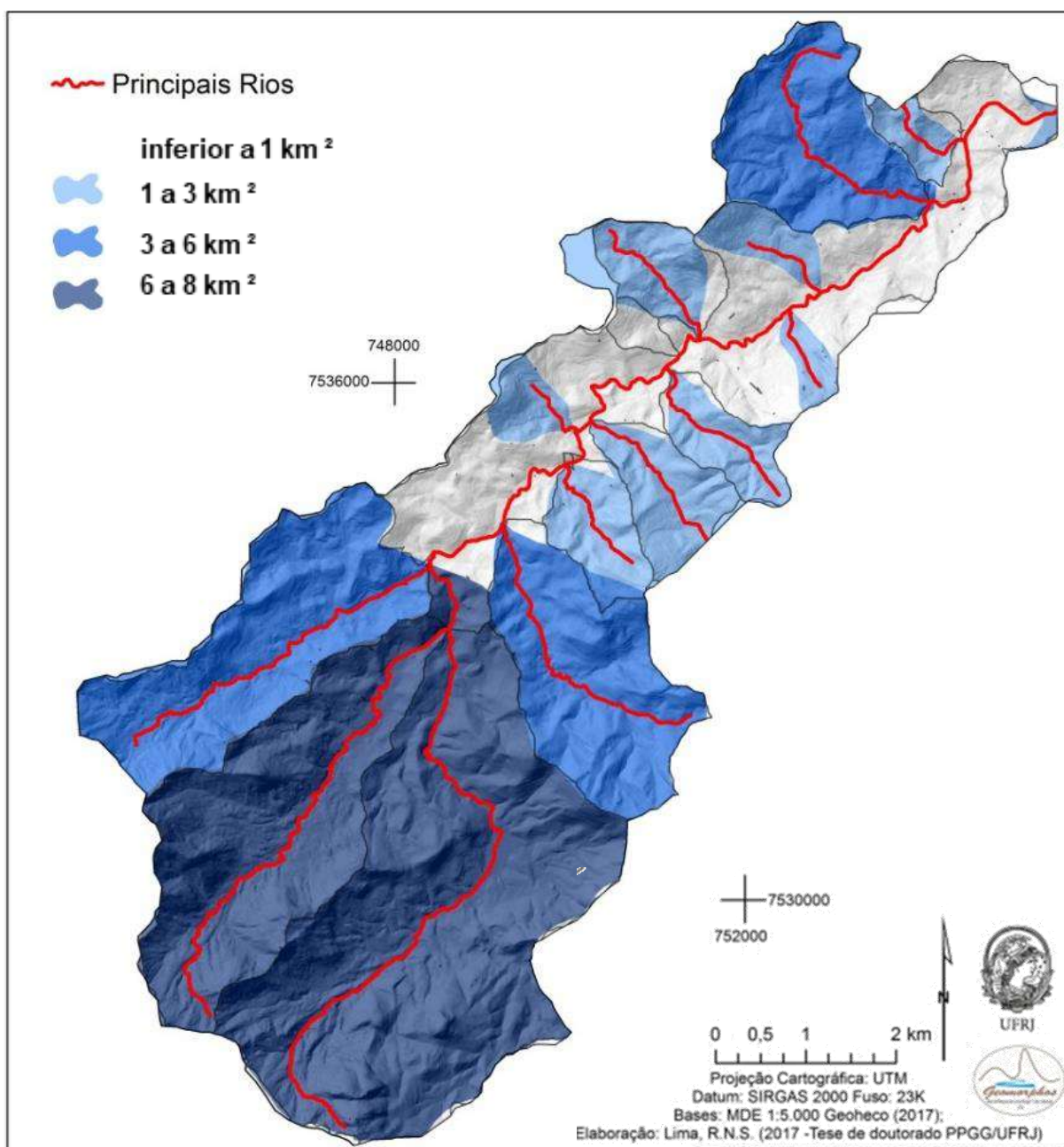
Os demais afluentes do lado direito possuem maior extensão e declive em relação aos afluentes do lado esquerdo, além de serem curtos e menos íngremes. O mapa área de contribuição dos tributários (Figura 44) auxilia na melhor compreensão da morfologia do relevo desta bacia, mostrando que as nascentes dos afluentes do lado direito ocorrem em cotas topográficas mais altas, chegando a atingir altitudes de 1900 metros, sendo mais elevados que os afluentes do lado esquerdo, cuja altitude média é de aproximadamente 1.600 metros.

Figura 43 - Hierarquia da rede de drenagem (Strahler) do córrego Dantas.



Esta característica talvez possa ser explicada pela ocorrência de granitos na porção SE da bacia, onde se formam os afluentes da margem direita, mais extensos e mais íngremes. Isto se deve ao fato de que o granito é mais resistente ao intemperismo do que os gnaisses que ocorrem nas vertentes NW (lado esquerdo), mais rebaixadas, que formam, assim, afluentes menos extensos e menos íngremes. Além da erosão diferencial fatores tectônicos colaboram para a estruturação em blocos de orientação NE-SW em alternância de áreas altas e baixas.

Figura 44 - Área de contribuição dos tributários do córrego Dantas.



6 RESULTADOS

6.1 Características do Vale

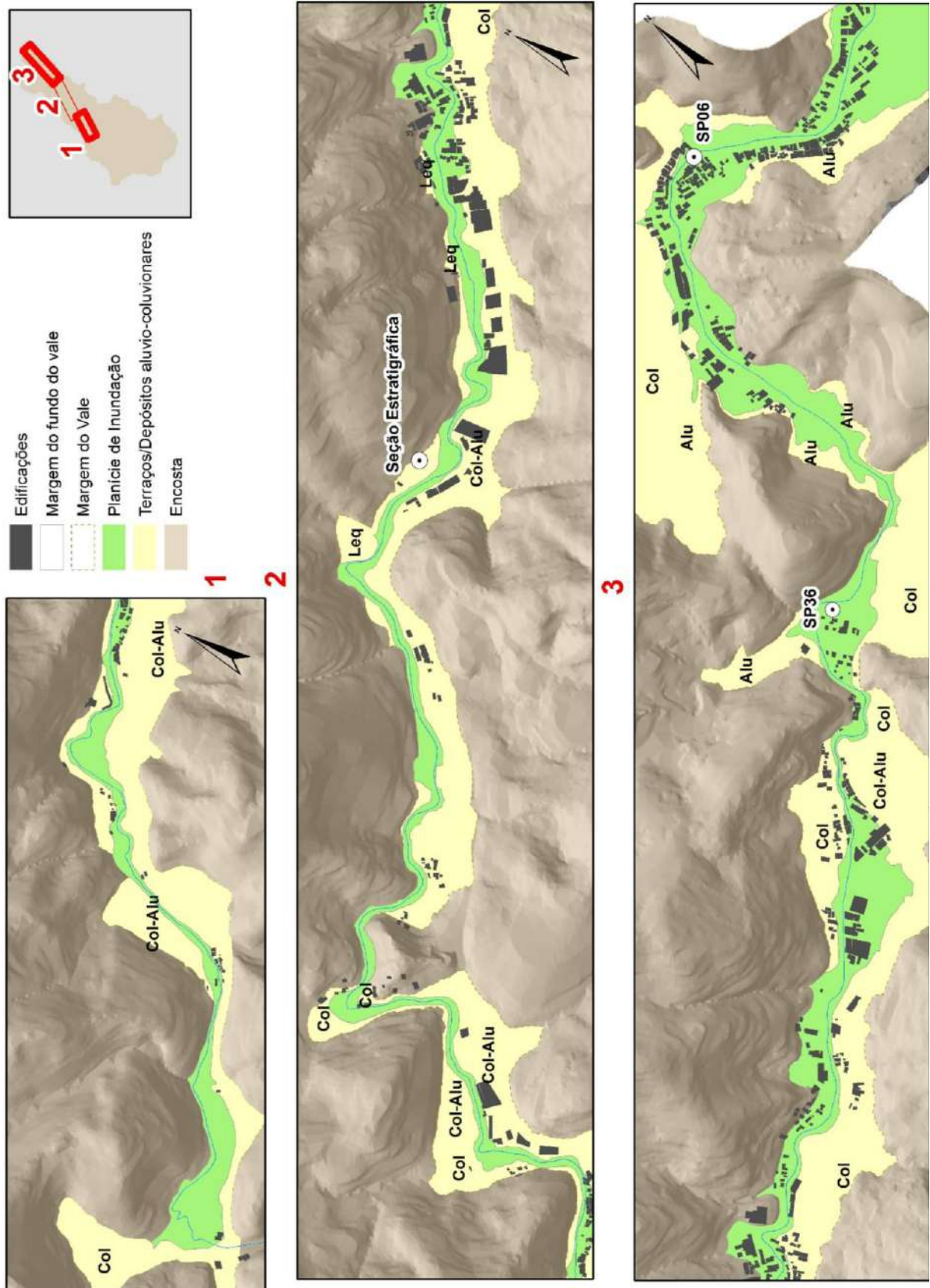
Juntamente com o gradiente e os regimes de descargas sólidas (sedimentos) e líquidas (vazões), o confinamento do vale representa um controle primário com influência direta na morfologia do rio. Sua definição é dada tipicamente pela característica e posicionamento de planícies de inundação ao longo dos cursos fluviais. A abordagem de Fryirs *et al* (2015), escolhida para caracterizar o confinamento do vale, orienta a interpretação do impacto que a planície exerce tanto localmente sobre o comportamento do rio como na distribuição de padrões de rios ao longo da bacia.

Desse modo, a caracterização do vale do córrego Dantas quanto ao seu grau de confinamento visa apresentar indicadores da sua capacidade de ajuste lateral e auxiliar as interpretações do comportamento do rio na escala da bacia, destacando o papel dos controles antecedentes sobre formas e processos resultantes do Megadesastre'11. A identificação do confinamento apoiou ainda a análise dos estilos fluviais ao longo do perfil longitudinal e avaliações sobre o comportamento das inundações, do fluxo de sedimentos e distribuição da energia da cheia. Conforme descrito na metodologia, **Item 4**, além das análises oriundas do mapeamento do vale e da interpretação de uma seção estratigráfica, realizados no âmbito desta pesquisa, foram utilizados dados de sondagens a precursão elaborados no âmbito do projeto Rios da Serra (INEA/DIRAM).

A partir da identificação das *margens do vale* e das *margens de fundo do vale* apresentadas na Figura 45, verifica-se que as planícies de inundação ocorrem de forma longitudinalmente descontínua, alternando sua posição entre as margens, ao longo do trecho analisado. Desse modo, observa-se elevada conectividade no sistema encosta-calha ao longo de toda a bacia, em especial no vale principal.

Ressalta-se que na bacia não há ocorrência de *vale lateralmente não confinado*, sendo identificados apenas dois trechos com formação de alvéolo onde incide planícies de maior extensão lateral na bacia. Apesar da presença destes alvéolos, estes setores foram caracterizados como *confinamento artificial* em função da identificação de leitos canalizados, infraestruturas (ruas e pontes) e edificações (casas e prédios).

Figura 45 - Classificação do vale do Córrego Dantas com localização da Seção Estratigráfica e Sondagens a Percussão (SP36 e SP06)



Deste modo, pode-se caracterizar o eixo principal do córrego Dantas como um vale confinado com ocorrência ocasional de planícies descontínuas. Em direção à foz, ocorre uma transição gradual desta morfologia para vales parcialmente confinados, podendo a forma em planta ser controlada pelo embasamento rochoso ou por depósitos de alúvio-colúvio.

Estas características de confinamento descritas para o vale principal do córrego Dantas, distribuem-se amplamente pela rede hidrográfica da região serrana do Rio de Janeiro. Durante o *Megadesastre'11* esta característica favoreceu a corrida de fluxo hiper concentrado ao longo do qual sofreu o acréscimo de afluentes vindos dos taludes laterais e de áreas a montante, juntamente com a incorporação dos materiais liberados das encostas diretamente sobre as calhas. Este colapso das encostas conectadas ao canal principal em associação com estrangulamentos do vale, propiciou represamento natural em diversos pontos da bacia, permitindo o acúmulo de energia, seguido de brusco rompimento. Evidências deste mesmo processo súbito e de grande liberação de energia foram registradas em outras bacias da região Serrana do Rio de Janeiro, afetadas pelo evento, conforme relatório do DRM-RJ (2011).

Aspectos do caráter do fluxo de detritos produzido pelo evento, no fundo dos vales da região, também foram apresentadas nos trabalhos de Lima & Amaral (2011) e Silva et al. (2011). Segundo os autores, o fluxo da corrida de massa do Rio Vieira em (limite dos municípios de Teresópolis e Friburgo) foi caracterizado como uma onda formada por uma frente rochosa, constituída principalmente por blocos; pelo corpo, uma massa de detritos numa matriz mais ou menos viscosa; e pela cauda, com fluxo turbulento de carga de sedimentos dissolvidos em água. Esse fluxo atingiu uma distância de 7,5 km, com uma velocidade média estimada em 8,5 m/s (Silva et al., 2011).

O volume e a viscosidade do fluxo do córrego Dantas, produzido neste evento formaram uma torrente de potencial erosivo similar, provocando ao longo de todo o eixo das drenagens de vales encaixados da região, processos de incisão do leito e/ou alargamento das margens, distribuídos conforme características específicas do gradiente longitudinal, e confinamento.

Neste contexto, o posicionamento da sequência de alvéolos e *knickpoints* condicionaram os efeitos locais de represamento de fluxos por estrangulamentos

topográficos, exercendo papel fundamental na inundação das planícies e segregação de materiais.

A seção estratigráfica analisada nesta pesquisa (Figura 46), dá mostra à um registro de eventos pretéritos de deslizamentos de grande magnitude, sobre os quais formou-se um ambiente de deposição. Esta dinâmica fica evidenciada pela presença de material argiloso, típico de depósito fluvial de planície de inundação entre dois pacotes de material coluvionar, remetendo a paleoambientes fluviais de baixa energia, associado aos deslizamentos sobre o fundo do vale (Figura 46). Dos nove bloqueios locais identificados ao longo do vale principal do córrego Dantas, destaca-se a ocorrência deste processo de deslizamento sobre o canal, com represamento e inundação, na confluência do córrego Dantas com o Córrego Boa Vista (Figura 48 e Figura 49). O ponto da confluência corresponde o maior alvéolo da bacia, com largura máxima do fundo do vale de 190m, seguido de trecho de estrangulamento.

Figura 46 - Área onde foi realizada a seção estratigráfica. Fundo do vale foi exumado durante Magadesastre 11, expondo barranco. Camada argilosa denota formação de planície fluvial associada a evento pretérito de deslizamento.



Figura 47 - Seção estratigráfica à margem esquerda do córrego Dantas, realizada em 13/07/2016. (coordenadas do ponto: 0751560 / 7536517 WGS84 23k).

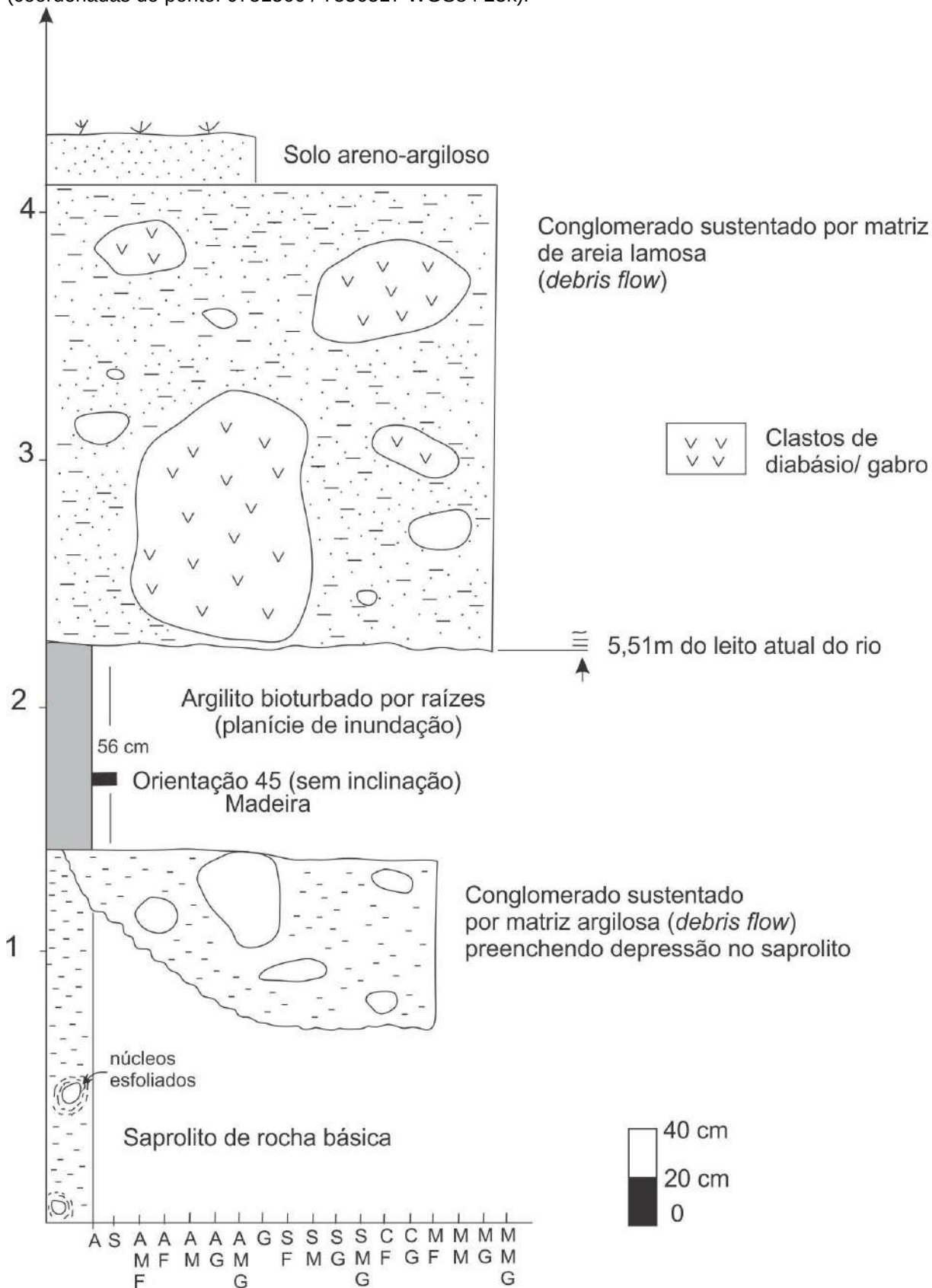


Figura 48 - Formação de área alagada na Vista aérea da confluência do córrego Dantas e Boa Vista. Formação de múltiplos canais com escoamento lento e elevada carga sedimentar. Fotografia tirada imediatamente após o evento de 2011.



Foto: Ecologus (2011)

Figura 49 - Área da confluência do córrego Dantas e Boa Vista. Formação de planície de inundação associada ao entulhamento do fundo do vale e espreamento do fluxo do rio. Fotografia tirada imediatamente após o evento de 2011.



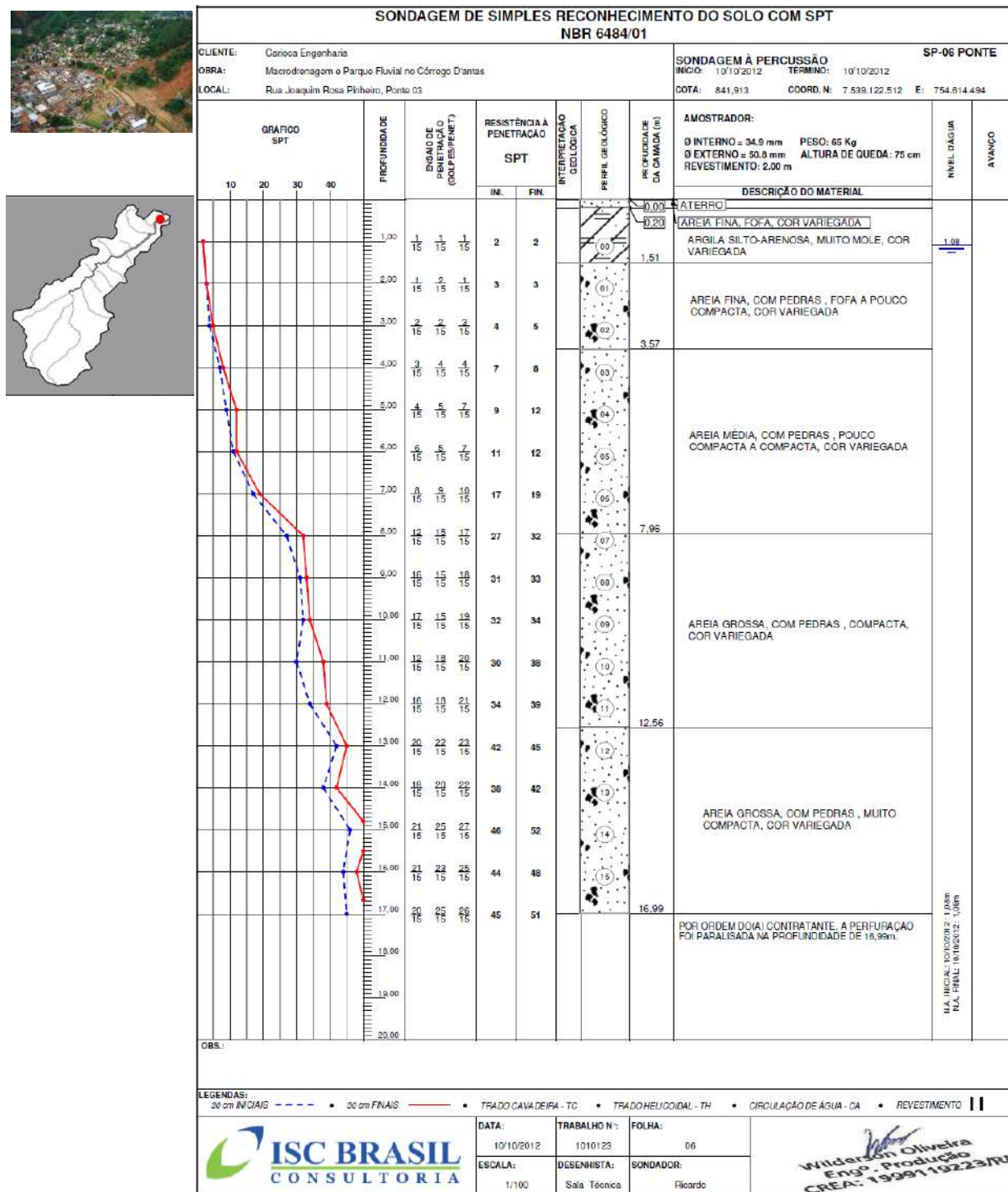
Foto: Ecologus (2011)

Além do controle geomorfológico do vale sobre o comportamento dos canais e sobre os efeitos do fluxo produzido durante o *Megadesastre'11*, as zonas de deposição que ocorrem ao longo da bacia, permitem inferir aspectos da evolução do canal e das respostas à eventos extremos. Além de represar água e promover a inundação das zonas de acumulação à montante, a associação de alvéolos e knickpoints contribuiu para a segregação dos materiais envolvidos na corrida. Verifica-se ainda que os depósitos formados nestas zonas apresentam granulodecrescência dos materiais envolvidos, denotando uma característica de alúvio-colúvio e apresentam pacote mais espesso, quanto mais próximo ao baixo estiver posicionado. Evidências desta dinâmica podem ser verificadas através dos boletins de sondagem operadas à percussão em 80 pontos ao longo do trecho de intervenção do córrego Dantas, no âmbito do projeto Rios da Serra.

À exemplo do ponto de sondagem SP06, localizado em um alvéolo, com ocupação urbana, próximo à confluência do rio Bengalas, verifica-se um pacote deposicional predominantemente arenoso de aproximadamente 17m de espessura, granocrescência descendente, com argila mole no topo, seguido de camada de areia fina, graduando para areia grossa com ocorrência de blocos à medida que aumenta a profundidade (Figura 50).

Comparativamente, o ponto de sondagem SP36, localizado 1,5km a montante do ponto SP06, em zona de alvéolo, na confluência do córrego Dantas com o Córrego São Geraldo, apresenta um pacote sedimentar em torno de 10m, o que corresponde a 41% menos espesso, porém com características similares de granocrescência descendente, com camadas mais profundas formadas por grossa com ocorrência de blocos (Figura 51).

Figura 50 - Dados de boletim de sondagem projeto executivo. Ponto SP06, próximo à confluência com o rio Bengalas (DIRAM/INEA).



MATERIAL	N _{SPT}	Cor
Solo Compactado	---	
Argila Silto-Arenosa	2 a 5 golpes	
Areia Fina Micéica	2 a 5 golpes	
Areia Grossa c/ Pedras	5 a 10 golpes	
Areia Grossa c/ Pedras	> 10 golpes	

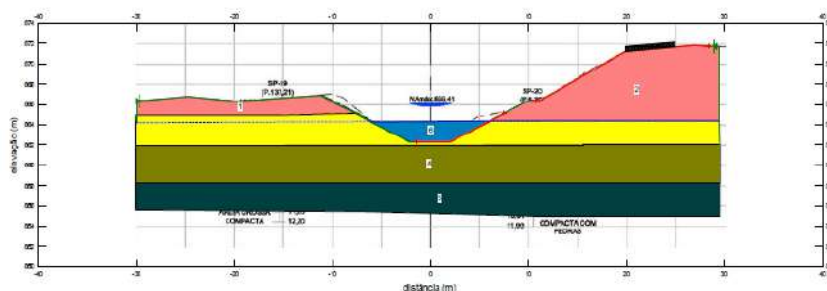
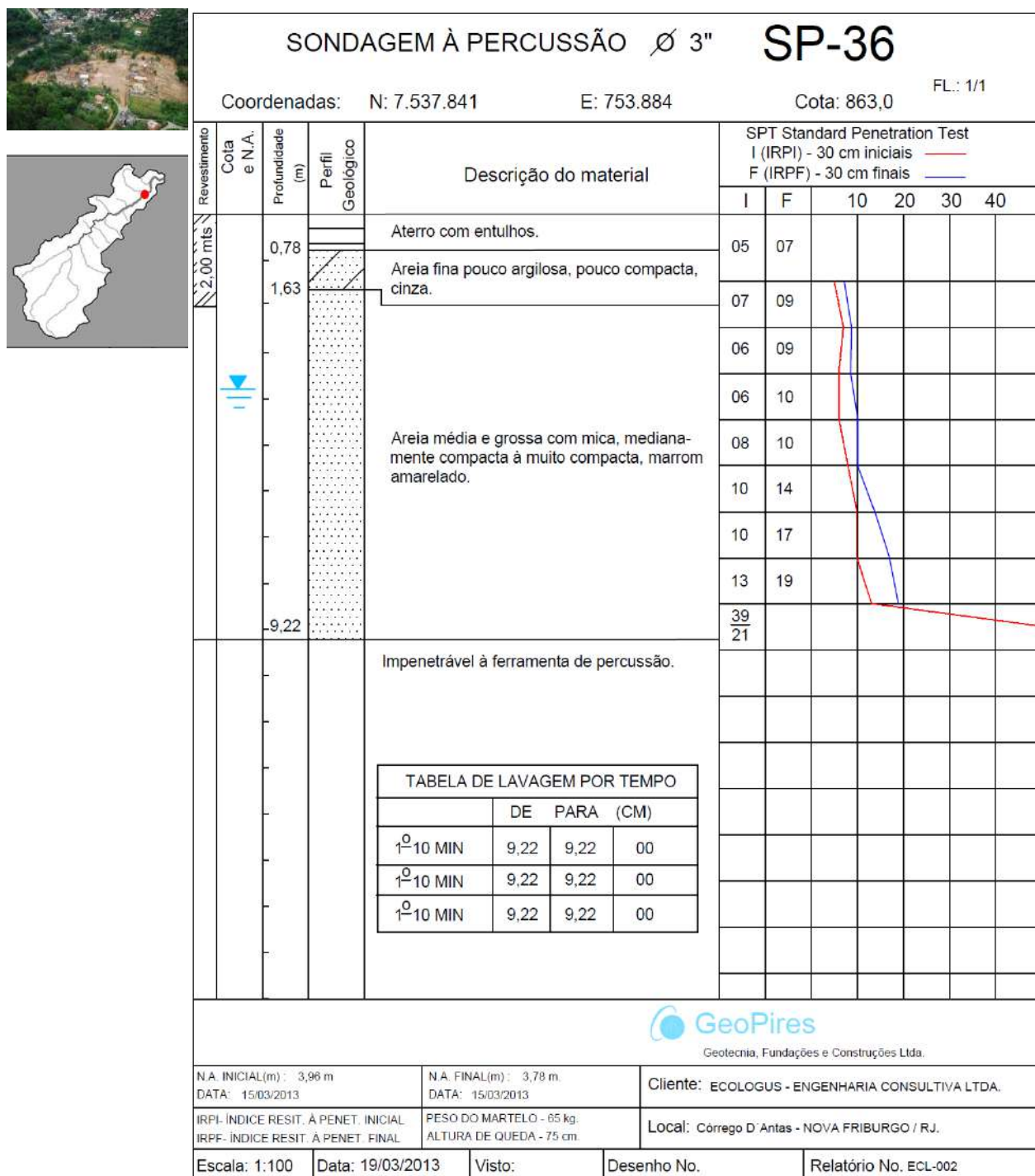
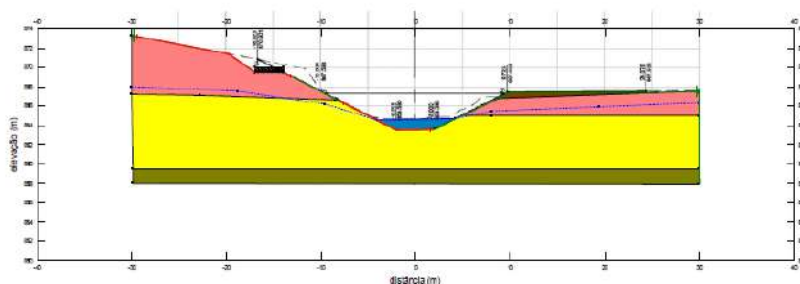


Figura 51 – Dados de boletim de sondagem projeto executivo. Ponto SP36, localidade de Girassol (DIRAM/INEA)



MATERIAL	N _{SPT}	Cor
Solo Compactado	---	
Argila Silto-Arenosa	2 a 5 golpes	
Areia Fina Micácea	2 a 5 golpes	
Areia Grossa c/ Pedras	5 a 10 golpes	
Areia Grossa c/ Pedras	> 10 golpes	



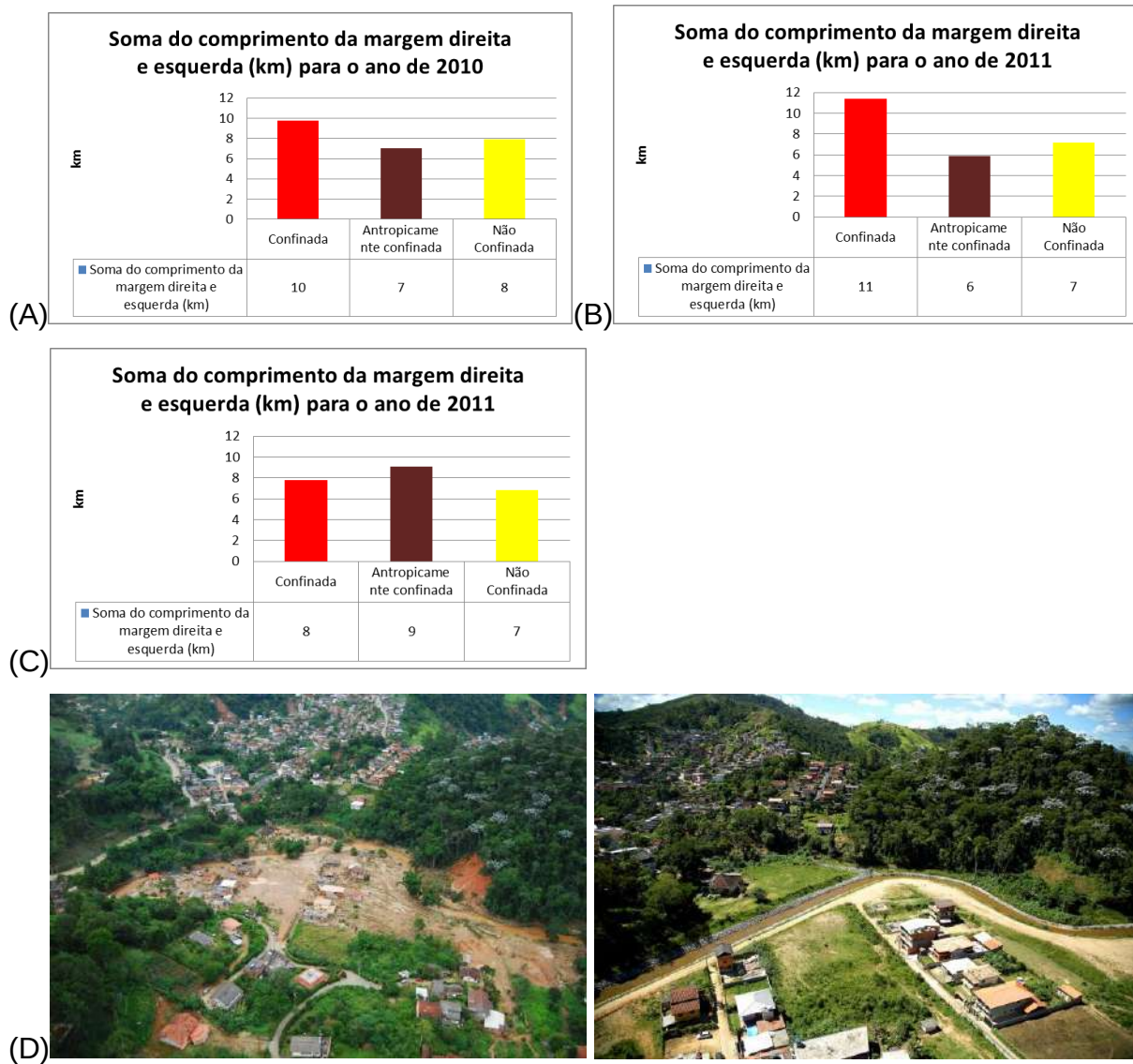
Considerando a mudança abrupta na morfologia do córrego Dantas, verificou-se uma mudança correlata nos padrões de distribuição espacial dos tipos de confinamento das margens em relação ao vale. A fim de identificar espacialmente as fases das respostas morfológicas do canal ao evento, utilizou-se uma categoria de classificação das margens, diferenciando-as entre não-confinada, e confinada. Para as margens confinadas faz-se distinção da natureza do confinamento das margens entre *confinadas* e *antropicamente confinadas* (quando a margem do canal é retificada, ou apoia-se em casas, muros, ruas, ou outros tipos de estrutura).

Em razão destas transformações decorrentes do evento, a análise do grau de confinamento se deu em três momentos: pré-desastre, imediatamente após o desastre e pós-obras. Deste modo, buscou-se compreender as condições de limite na qual os processos geomorfológicos operavam durante as três fases de eventos.

Nos ambientes confinados da bacia, as planícies ocasionais foram retrabalhadas e o canal passou a ocupar todo o fundo do vale, confinando ambas as margens. Na Figura 52 é possível verificar o aumento de 1km de trecho *confinado* em razão desse processo. Nos trechos parcialmente confinados, houve destruição de retificações e outros tipos de estruturas antrópicas, resultando na diminuição de cerca de 1 km do *confinamento antropicamente condicionado*. Em razão das diversas obras ocorridas de 2011 a 2014, houve aumento de 3 km de trechos *antropicamente confinados* nesse período, isto é, 2 km a mais do que havia anteriormente ao desastre (Figura 53 e Figura 54). Essa variação evidencia que a principal resposta estratégica adotada pelo poder público foi de reprojeter o rio, com objetivo de evitar enchentes e proteger as margens.

Quanto aos trechos de margens não confinadas, apesar de não haver grande variação na extensão total, verificaram-se mudanças de distribuição espacial ao longo dos três períodos. Após o desastre verificou-se aumento de trechos *não confinados* em decorrência da destruição de margens antrópicas. A finalização das obras de canalização promoveu o encurtamento dos trechos *não confinados*. Por outro lado, ajustes naturais de estreitamento do canal promovidos nos anos seguintes ao desastre, reorganizaram a formação das planícies descontínuas e dos alvéolos ocasionais (Figura 54). Em alguns casos o confinamento está correlacionado à presença de terraços ou rocha.

Figura 52 - Gráficos do quantitativo de margens confinadas para os anos de 2010 (A), 2011 (B) e 2014 (C). Fotos da localidade Girassol em: (D) 2011 (foto sobrevoo INEA/DIRAM) e (E) 2013 (Ecologus)



6.2 Proformas dos Estilos Fluviais

Com base na metodologia proposta foram identificados quatro estilos fluviais permitindo regionalizar atributos e características do canal, resultantes de controles locais e da bacia (Figura 56 e Figura 57). A nomenclatura utilizada para estilo fluvial seguiu a convenção adotada por Fryirs e Brierley (2017).

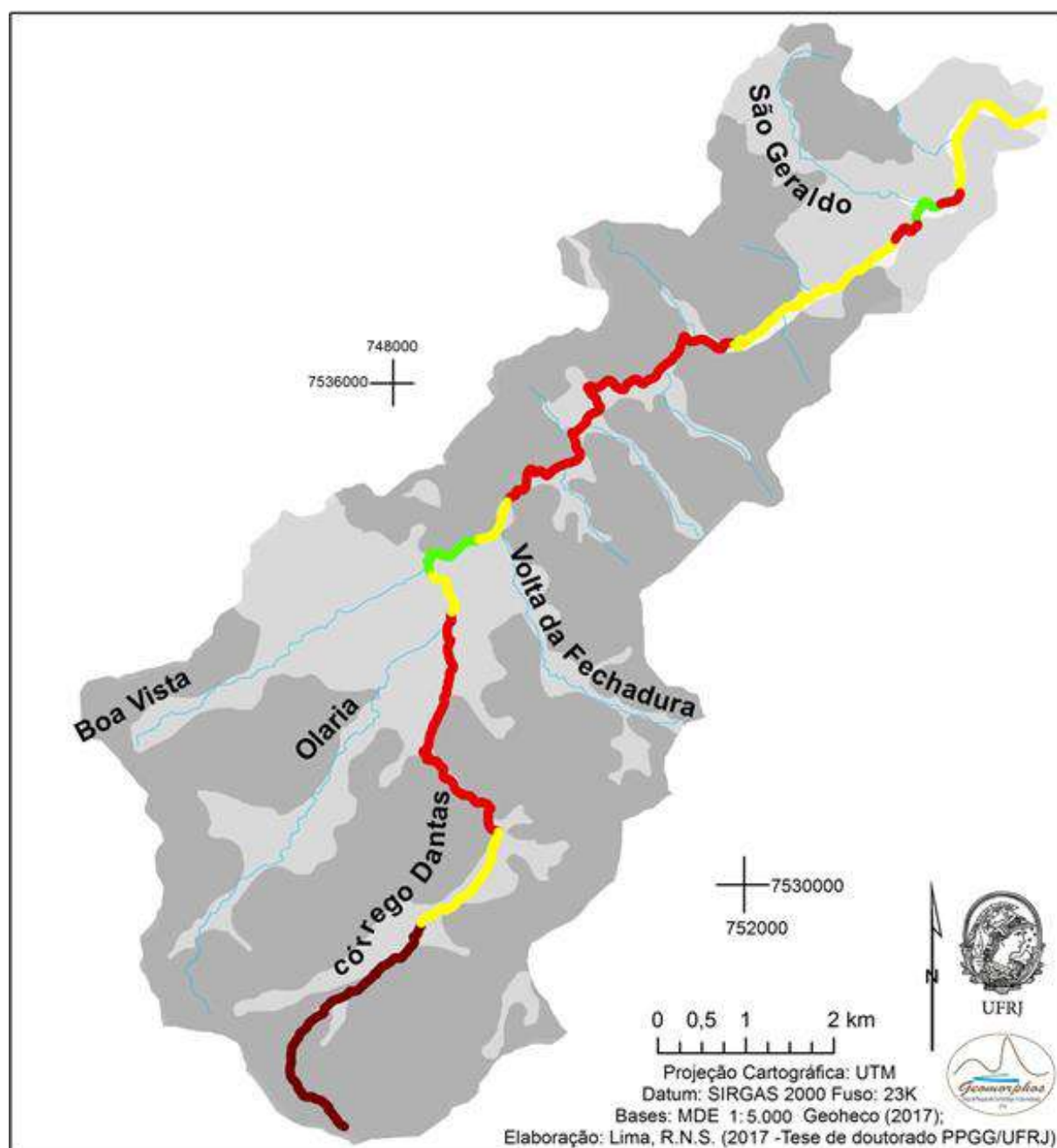
ESTILO FLUVIAL *Confinado, margem controlada por rocha cabeceira íngreme* (Cmc) ocorre predominantemente no Domínio Montanhoso, com amplitudes altimétricas que variam entre 200m e 400m. Apresentam uma grande variabilidade de unidades geomorfológicas, como leito formado por cascalho, blocos, matacões e areia grossa, conferindo caráter de confinamento e estabilidade ao canal. A sinuosidade é baixa e o gradiente longitudinal apresenta média de 6% de declividade, formando quedas d'água ocasionalmente.

ESTILO FLUVIAL *Confinado, planície ocasionais em alvéolos controlada pelo leito rochoso com degraus e rápidos* (Cpo). Ocorre na base das escarpas localizadas nos domínios Montanhosos. Porções de blocos e matacões oriundos das vertentes estreitas encontram-se depositados no fundo do vale. A incisão fluvial induz, por sua vez, a formação de um conjunto heterogêneo de unidades geomorfológicas compostas por estes materiais que são retrabalhados durante eventos de vazões extremas. O gradiente longitudinal deste estilo fluvial é mais baixo que dos descritos anteriormente, apresentando uma média de 0,8% ao passo que os demais ocorrem acima de 1,2%. A ocorrência de corredeiras ou quedas são pontuais e localizadas.

ESTILO FLUVIAL *Parcialmente Confinado, controlado por terraço colúvio e rocha baixa sinuosidade planície descontínua* (PCpd). Situa-se ao longo de vales estreitos, estes trechos movimentam sedimentos arenosos através do transporte de fundo. Ocorrem soleiras (*riffles*) e depressões (*pools*) condicionadas por afloramentos localizados. Ilhas podem se desenvolver em áreas onde há abertura do vale e maior disponibilidade de sedimentos.

ESTILO FLUVIAL *Parcialmente confinado, controle da forma em planta contínuo meândrico barras de pontal planície descontínua* (PCm). Apresenta padrão meandrante, com baixo gradiente de declividade (0,2%), alta sinuosidade e capacidade de ajuste lateral. São caracterizados por deposição em barras laterais pontuais nas margens convexas das curvas e margens côncavas susceptíveis à ação erosiva.

Figura 56 - Mapa dos estilos fluviais da bacia do córrego Dantas.



LEGENDA

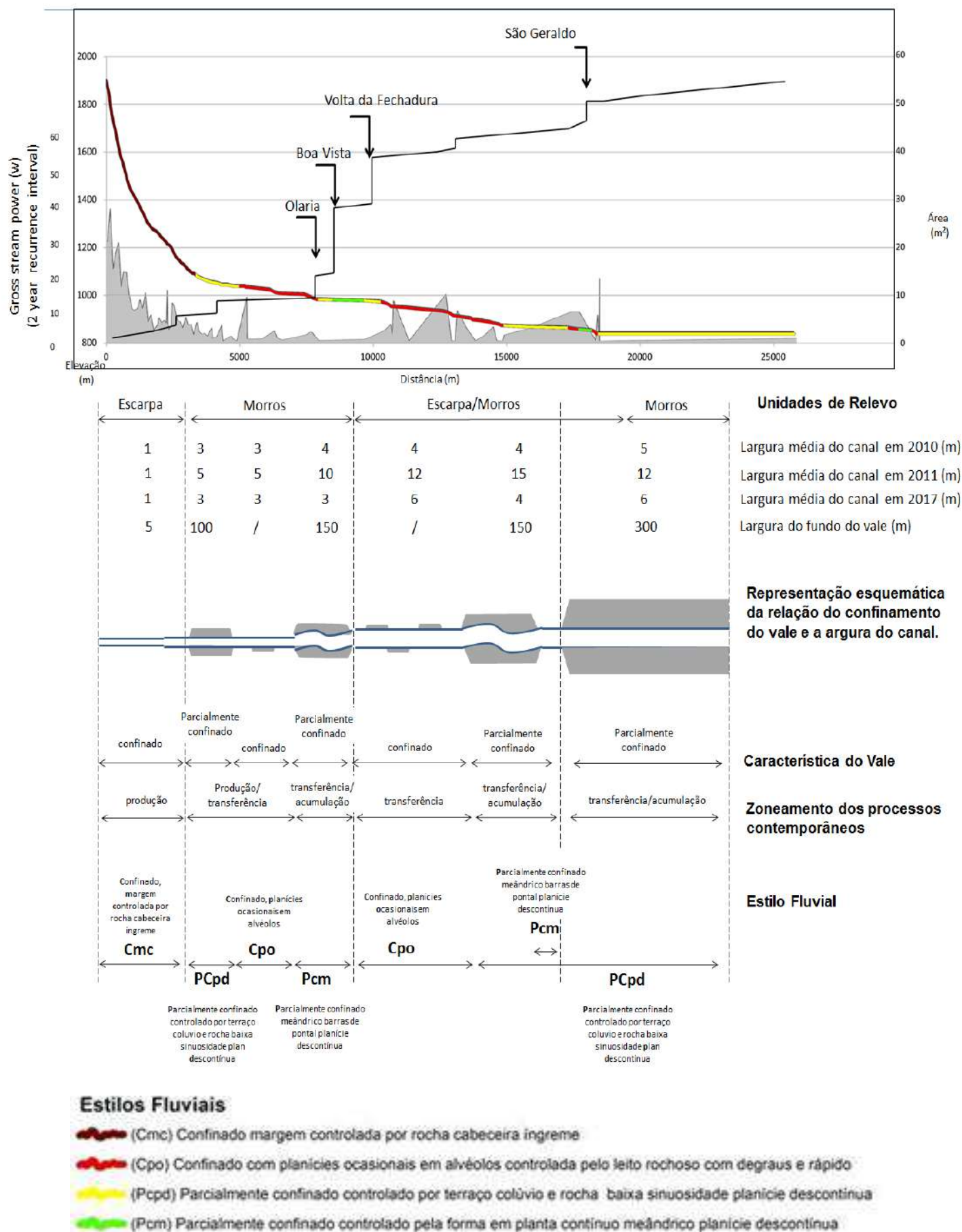
Estilos Fluviais

- (Cmc) Confinado margem controlada por rocha cabeceira íngreme
- (Cpo) Confinado com planícies ocasionais em alvéolos controlada pelo leito rochoso com degraus e rápido
- (Pcpd) Parcialmente confinado controlado por terraço colúvio e rocha baixa sinuosidade planície descontínua
- (Pcm) Parcialmente confinado controlado pela forma em planta contínuo meândrico planície descontínua
- Tributários

Relevo

- Escarpas
- Morros

Figura 57 - Mapa dos estilos fluviais da bacia do córrego Dantas.



As feições identificadas retratam a natureza dos processos atuantes ao longo dos trechos mapeados, permitindo a interpretação dos elementos preponderantes para o estabelecimento de padrões de referência do fluxo, e dinâmica erosiva/deposicional anteriores ao *Megadesastre'11* (Figura 58).

Apesar de algumas feições ocorrerem em mais de um tipo de ambiente, a maneira com que elas se configuram ao longo do canal permite identificar diferentes padrões de comportamento entre os segmentos analisados, e assim inferir sobre os principais processos atuantes em cada trecho (Tabela 5).

Tabela 5 Atributos distintivos dos estilos fluviais na bacia do córrego Dantas.

Estilo Fluvial	Característica do Vale	Unidade de Relevô	Característica do Canal			Comportamento do Rio
			Forma em Planta	Unidades Geomorfológicas	Textura do material de leito	
Confinado, margem controlada por rocha cabeceira íngreme	Confinado	Escarpas Serranas	Canal Único, retilíneo, baixa sinuosidade altamente estável	Sem planícies, alta declividade, degraus rochosos, cascatas, corredeiras	Rocha, matacões, cascalho	Canal com alto controle litológico, e heterogeneidade de unidades geomorfológicas. Remove eficientemente os sedimentos no vale. Não ocorre ajuste lateral.
Confinado com planícies ocasionais em alvéolos controlado pelo leito rochoso e colúvio com degraus e rápidos	Confinado / Ocorrência de Alvéolos Fluviais	Escarpas Serranas / domínio de morros	Canal Único, retilíneo, baixa sinuosidade, altamente estável	Ocorrência de alvéolos fluviais descontínuos, afloramentos rochosos localizados, barras arenosas e depressões (<i>pools</i>)	Rocha, areia e matacões	A incisão fluvial proporciona a formação de um conjunto heterogêneo de unidades geomorfológicas compostas por blocos arredondados de diversos tamanhos, que são retrabalhados durante eventos de vazões extremas.
Parcialmente confinado controlado por colúvio terraço baixa sinuosidade planície descontínua	Parcialmente confinado	Domínio de Morros	Canal único, baixa sinuosidade, moderadamente estável	Sem planícies, alta declividade, degraus rochosos, corredeiras, soleiras (<i>riffles</i>) e depressões (<i>pools</i>)	Areia	Leito rochoso, com sequência de cascatas corredeiras e soleiras (<i>riffle</i>) e depressões (<i>pools</i>). Esses ambientes possuem elevado poder erosivo e de transporte de sedimentos, sendo aumentado em função da declividade do perfil longitudinal e do confinamento no vale.
Parcialmente confinado controlado pela forma em planta contínuo meândrico arenoso	Parcialmente confinado	Domínio de Morros	Canal único, moderadamente sinuoso, moderadamente estável	Sem planícies, alta declividade, degraus rochosos, corredeiras, soleiras (<i>riffles</i>) e depressões (<i>pools</i>)	areia	Leito rochoso, com sequência de cascatas corredeiras e soleiras (<i>riffle</i>) e depressões (<i>pools</i>). Esses ambientes possuem elevado poder erosivo e de transporte de sedimentos, sendo aumentado em função da declividade do perfil longitudinal e do confinamento no vale.

Figura 58 - Estilos Fluviais do córrego Dantas

Forma em Planta

Confinamento do Vale

Confinado			Confinado, margem controlada por rocha cabeceira íngreme
			Confinado com planícies ocasionais em alvéolos controlada pelo leito rochoso com degraus e rápido
			Parcialmente confinado controlado por terraço colúvio e rocha baixa sinuosidade planície descontínua
Parcialmente Confinado			Parcialmente confinado controlado pela forma em planta contínuo meândrico barras de pontal planície descontínua

6.3 Análise dos *Inputs* de Sedimentos e sua Conectividade ao Longo do Sistema Fluvial

Neste item, serão apresentados os resultados do mapeamento dos movimentos de massa ocorridos no Megadesastre' 11 e sua conectividade com a rede de drenagem, como parte do eixo dois da metodologia proposta.

Em linhas gerais, destaca-se que, ao longo dos trechos confinados no médio curso do Córrego Dantas, predominam elevados gradientes, que favorecem a transferência de materiais e incisão do vale através de processos erosivos (Figura 59). Com energia elevada, a corrida passou a erodir o material do fundo do leito do rio e inúmeros blocos foram removidos e outros exumados.

No baixo curso, onde ocorrem vales parcialmente confinados, a associação de alvéolos e estrangulamentos com o decrescimento local do gradiente, promoveram a dissipação de energia, ocasionando processos deposicionais e bloqueio de sedimentos grosseiros nesses setores (Figura 60).

Figura 59 - Resposta inicial de incisão e exumação de depósitos antigos em vale confinado



Foto: Ecologus (2011)

Figura 60 - Resposta inicial de acresção vertical na de planícies descontínuas em vale parcialmente confinados.



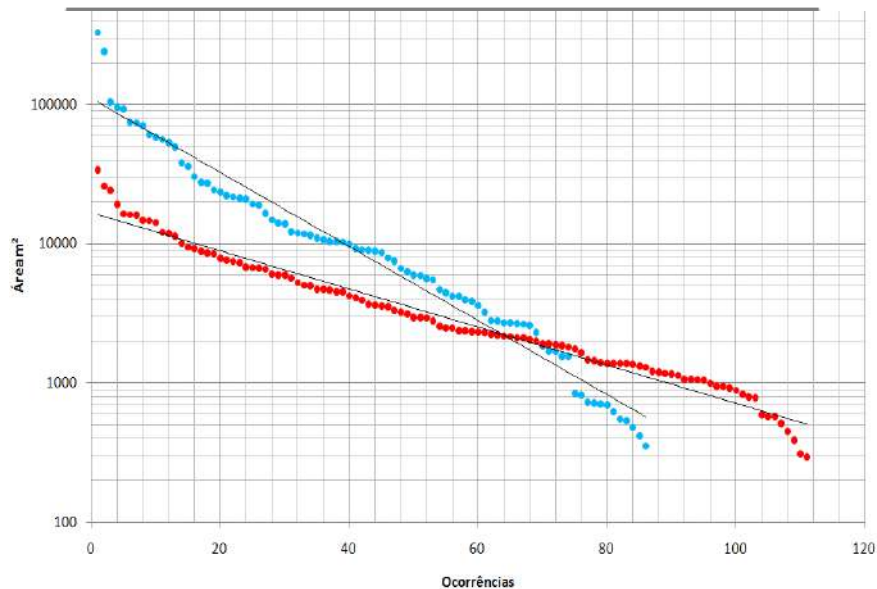
Foto: Ecologus (2011)

O mapeamento realizado identificou na bacia do córrego Dantas, 197 cicatrizes de erosão provocadas por movimentos de massa, das quais 86 estavam conectadas à rede de drenagem e 111 desconectadas (**Tabela 6**). Entretanto, apesar de menos numerosos, verifica-se que os movimentos de massa conectados atingiram uma área 4 vezes maior do que os desconectados ($2.027.880\text{m}^2$ e 537.222m^2 , respectivamente).

Desse modo, pôde-se perceber que os processos de movimento de massa conectados apresentaram maior magnitude, tendo sido registrados 3 cicatrizes de erosão com área acima de 100.000m^2 e 40 registros acima de 1.000m^2 , ao passo que os desconectados não apresentaram eventos acima de 100.000m^2 e foram realizados apenas 14 registros acima de 1.000m^2 . Ressalta-se ainda que a maior cicatriz de movimento de massa conectado corresponde à uma área quase 10 vezes maior do que a maior cicatriz desconectada da drenagem (329.084m^2 e 33.976m^2 , respectivamente).

Tabela 6: Inventário de ocorrências de deslizamentos conectados e desconectados.

Movimentos de Massa	Ocorrências Mapeadas	Área m ²	Maior Área m ²	Menor Área m ²
Conectados	86	2.027.880	329.084	353
Desconectados	111	537.222	33.976	294
TOTAL	197	2.565.102	-	-

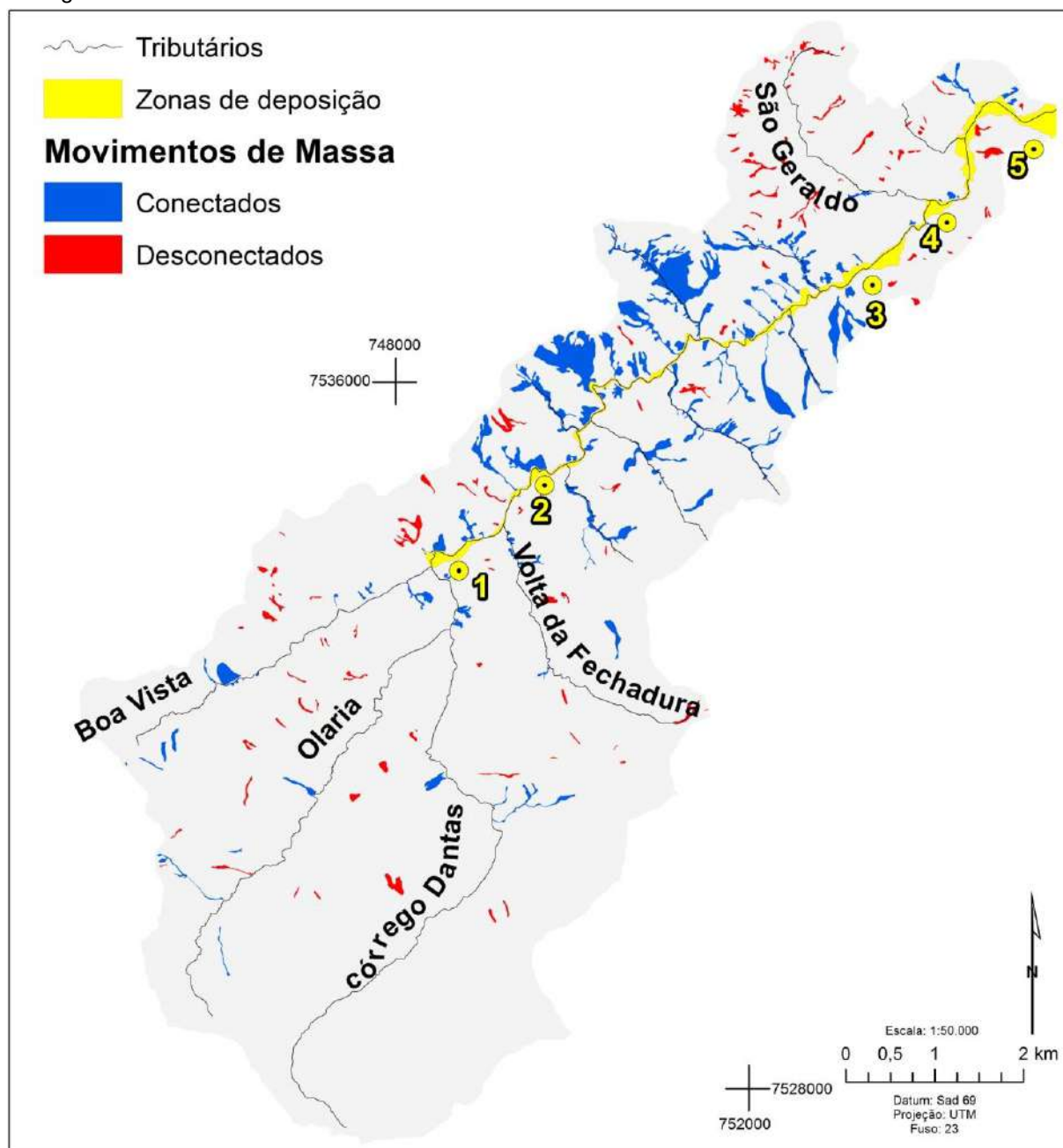


As principais entradas de sedimentos ocorreram no médio curso da bacia, onde verifica-se a combinação dos maiores índices pluviométricos do evento, com ocorrência litológica do Ortognaisse (Figura 61). A estrutura confinada dos vales nessa região favoreceu ainda, a ocorrência de deslizamentos resultantes da erosão hídrica na base da encosta e colapso direto da encosta sobre o canal (Figura 62).

Figura 61 - Movimento de massa conectado provocado pela erosão hídrica na base da encosta

Foto: Ecologus (22/02/2011)

Figura 62 - Distribuição espacial dos movimentos de massa conectados e desconectados na bacia do córrego Dantas.



No início do médio curso, níveis de base locais favorecem a ocorrência pontual de dois alvéolos, onde ocorreu retenção de parte do material arenoso oriundo da confluência do córrego Dantas com os tributários Olaria e Boa Vista (indicadas como 1 e 2 na Figura 62).

No baixo curso ocorrem as três planícies fluviais, que apresentaram maior retenção de sedimentos do sistema. Notadamente, as zonas 3 e 4 indicadas na Figura 62 apresentaram intenso processo de acresção vertical, soterrando casas, construídas nestas planícies (Figura 63).

Após o estrangulamento do vale na localidade de Girassol, verifica-se depósitos menos expressivos e material arenoso do que verificado a montante.

Figura 63 - Acresção vertical de depósitos de areia média e grossa em planície parcialmente confinada. Algumas casas soterradas indicam acúmulo de 2m em alguns pontos.



Foto: Ecologus (2011)

Figura 64 - Remobilização dos sedimentos da planície com deposição de areia fina e argilas. Calha fluvial dragada emergencialmente para desobstrução do fluxo.



Foto: Ecologus (2011)

Além do *input* de natureza catastrófica e episódica provocado pelos deslizamentos, cabe destacar que as cicatrizes resultantes deste evento permaneceram expostas à processos de erosão hídrica, verificando-se a ocorrência de sulcos, formados por eventos chuvosos posteriores (Figura 65). Este processo fez com que a bacia permanecesse fornecendo sedimentos a grandes taxas ao sistema. Ao longo do tempo é possível observar diferentes taxas de regeneração e sucessão florestal nas encostas e nos fundos de vale, que tendem a diminuir este efeito secundário do desastre ao longo do tempo.

Figura 65 - Regeneração florestal em encostas de deslizamento. (A) Fotografia 2011; (B) 2013.



6.4 Análise Temporal e Espacial das Respostas Geomorfológicas

Este capítulo dos resultados corresponde a uma das etapas do eixo dois da metodologia, onde se reúnem evidências fotográficas; estatísticas de mapeamento de seções transversais, analisadas juntamente com as entradas de chuva de cada período, a fim de se reconhecer as tendências de comportamento para os diferentes estilos fluviais da bacia,

Em função da capacidade de ajuste observada nos diferentes Estilos Fluviais identificados no córrego Dantas, optou-se por não detalhar as análises no estilo fluvial *Confinado margem controlada por rocha cabeceira íngreme*. Buscando melhorar as descrições, serão adotadas as seguintes abreviações para os estilos fluviais:

Cpo: Confinado planícies ocasionais em alvéolos controlada pelo leito rochoso com degraus e rápido

PCmc: Parcialmente confinado controlado por terraço colúvio e rocha baixa sinuosidade plan descontínua

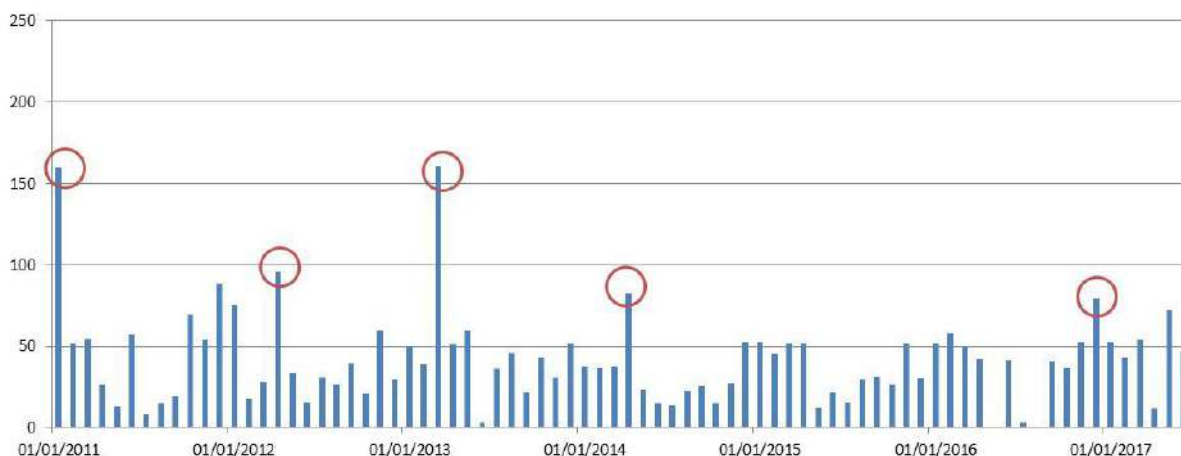
PCcf Parcialmente confinado controlado pela forma em planta contínuo meândrico barras de pontal planície descontínua

O resultado do mapeamento será apresentado na seção (a) deste capítulo e organizado por estilos fluviais, permitindo assim a regionalização dos padrões de comportamento descritos, para as zonas de influência de cada Estilo Fluvial, apresentados no item 5.4. Serão destacados nas explicações, quatro trechos representativos, sendo os mesmos utilizados para as medições *in loco*, apresentadas no item (b) monitoramento das seções transversais.

Para melhorar a interpretação dos processos que produziram as formas mapeadas, as avaliações apoiaram-se nos registros de chuvas intensas para o mesmo período estudado (Figura 66). Foram verificados cinco eventos de precipitação no período, acima de 82mm, estimada pelo Plano de Águas de Nova Friburgo (2006) como a chuva capaz de prover vazão plena à calha fluvial.

Considerando o caráter dinâmico do fluxo, e os diferentes padrões de comportamento apresentados em cada estágio da vazão (vazão de base; leito pleno e alagamento), destaca-se que todas as imagens utilizadas para mapeamento representam instantes onde se registram vazões de base. Deste modo, os padrões de fluxo identificados representam o comportamento para o mesmo tipo de vazão, podendo inferir que variações no tipo de fluxo são controladas principalmente por alterações geomorfológicas do leito. Desse modo o tipo de fluxo foi inferido a partir dos padrões observados na superfície molhada do leito, caracterizados pela interpretação visual das imagens de satélite e apoiadas por verdade de campo realizado para os diferentes períodos.

Figura 66 - Chuvas máximas/24h mensais (ANA-estação Vargem Grande).



a) Mapeamento da forma em planta do canal

1) 07/08 / 2010 Pré-Desastre

O primeiro momento analisado compreende o período anterior ao *Megadesastre'11*, de modo a representar o status de referência do canal do córrego Dantas. As unidades geomorfológicas e seus padrões de associação foram analisados para classificar os Estilos Fluviais e estabelecer parâmetros para análise das mudanças produzidas pelo evento.

O elevado índice de sombra, classificado no primeiro mapeamento, se deu pela presença de grandes trechos de cobertura ciliar densa, mas também em função da pouca largura do canal, que ao chegar no limite da resolução da imagem, em alguns trechos, era sombreado por capim alto, que domina como vegetação ripária ao longo do córrego Dantas.

Neste período, destaca-se que em trechos do baixo curso (**Cpo**), foi verificada a ocorrência de erosão das margens por solapamento, formando depósitos anexos a ela (Figura 68 P4). Estes depósitos já encontravam-se estabilizados por vegetação, apresentando, no entanto, indícios de remobilização, em função de suas formas irregulares. Esse processo indica uma tendência de alargamento da calha. 20 unidades geomorfológicas 'ressalto de margem' (*ledge*) foram mapeadas nesse período (Figura 67).

No início do médio curso e ao longo de todo o baixo curso (**PCm** e **PCpd**), durante a vazão de base, o córrego Dantas apresenta feições planares que indicam

fluxos de baixa velocidade, predominando ‘fluxo laminar’ (glides) intercalada por trechos mais curtos de ‘fluxo turbulento incipiente’ (*runs*).

As feições convexas ocorrem ao longo de todo o canal mostrando diferentes arranjos deposicionais. Na região central do trecho mapeado, trechos de grande energia forma ilhas com vegetação, circundadas por soleiras (*riffles*). Durante todo o baixo curso verificou-se ocorrência de barras arenosas em diferentes posições no canal.

Figura 67 - Unidades Geomorfológicas 07/08/2010 (1) Número de unidades geomorfológicas (2) área mapeada das unidades geomorfológicas

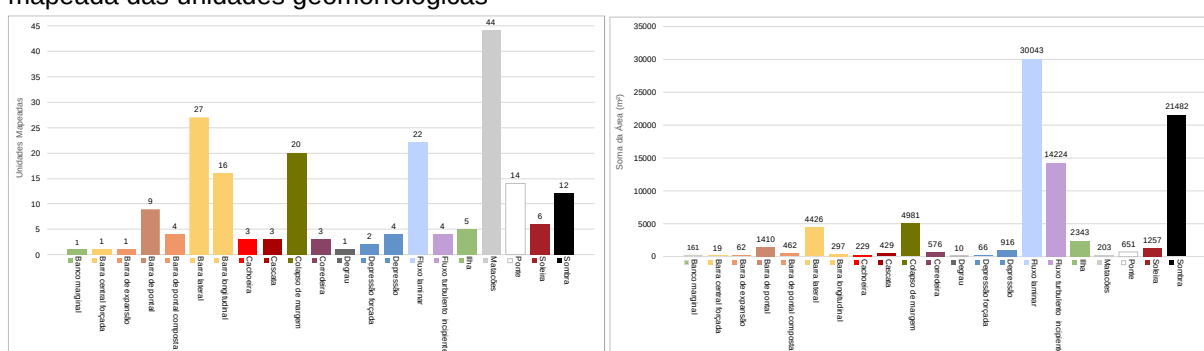
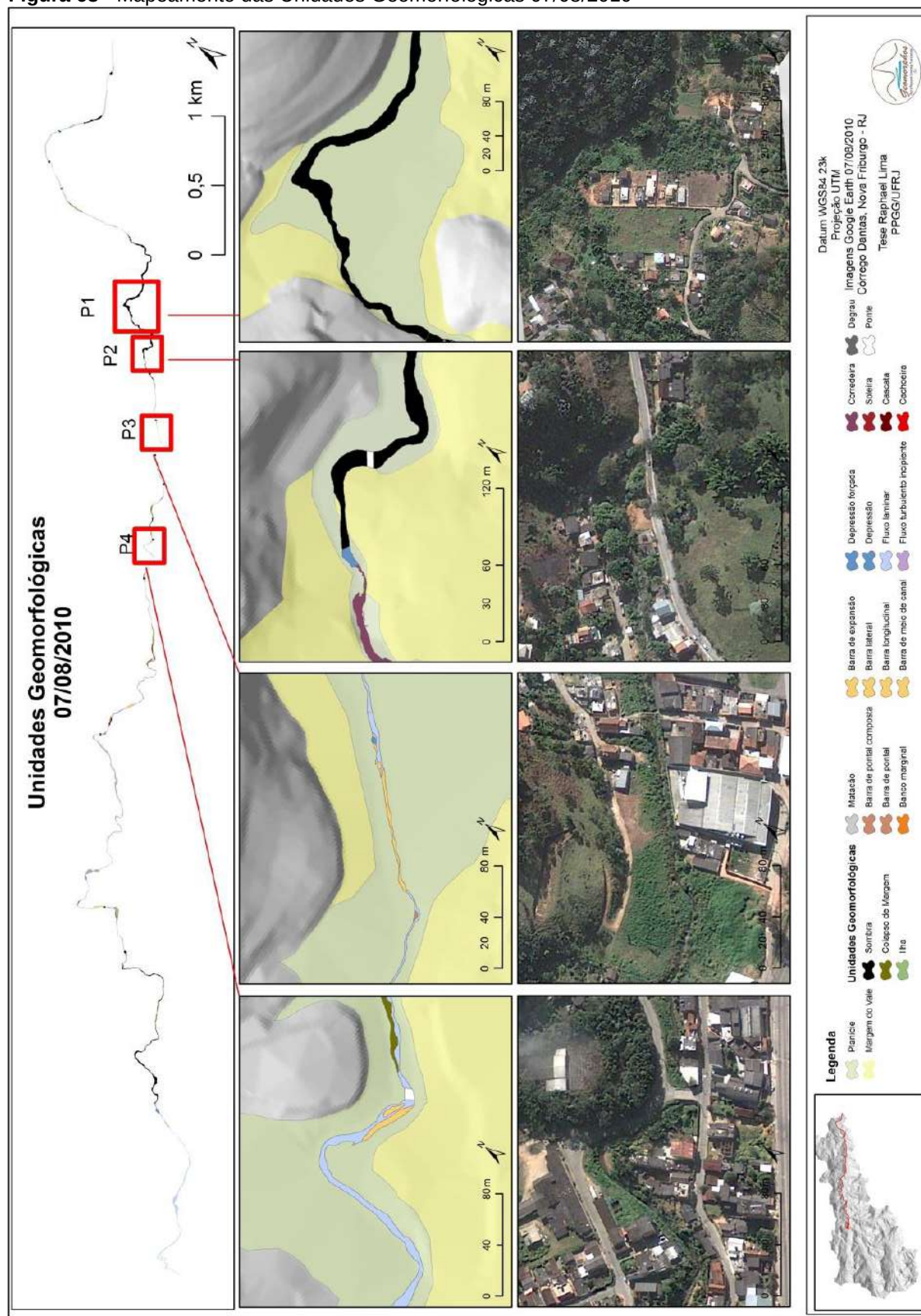


Figura 68 - Mapeamento das Unidades Geomorfológicas 07/08/2010



II) 19/01/2011 *Megadesastre'11*

O *Megadesastre'11* provocou uma completa alteração na morfologia do córrego Dantas. A energia do evento transportou uma enorme quantidade de sedimentos por todo o sistema, produzindo depósitos de acreção vertical nas planícies alagadas. Em função da manutenção de uma vazão de base elevada, nos dias que sucederam diversos alvéolos permaneceram alagados.

Destaca-se que a imagem utilizada para caracterizar esse período, representa a situação cinco dias após o *Megadesastre'11*. Nessa data, os trabalhos de desobstrução de pontos da calha já estavam em curso. Algumas áreas que encontravam-se com baixa energia de fluxo, como o P4 (Figura 69), ganharam competência de transporte, iniciando uma fase de intensa remobilização de sedimentos. Foram identificados apenas três trechos de fluxo laminar, com quantitativo de área de 2.036m² ao passo que as feições planares de energia moderada e alta, como fluxo turbulento inicial (*glide*) e soleiras (*riffle*) representaram uma área de 90.776 km² e 54.886 km² respectivamente.

Destaca-se que apesar do quantitativo do total de barras não ter apresentado grande aumento (58 unidades em 2010; e 67 unidades em 2011) a dimensão das barras aumentou significativamente, passando de 6.675km² para 20.632, provocando, principalmente no baixo curso, trechos com padrões entrelaçados. Vale destacar a ocorrência unidades estruturais (troncos de árvores blocos, entulhos de edificações etc.) em diversos segmentos do rio, afetando as condições locais de fluxo, e forçando a ocorrência de barras associadas a este processo. Nestes trechos predominou um comportamento de transferência de materiais para jusante, com acomodação temporária de materiais no leito.

Por outro lado, a intensificação de processos também ocorreu em ambientes de alta energia (**Cpo**). Verificou-se aumento dos trechos de corredeira (*rapids*) e formação de cascatas (*cascades*) nas regiões centrais do médio curso. Depósitos de planície e ilhas foram erodidos, verificando-se processo de incisão vertical e alargamento rio, numa razão média de 2m para 12m.

Cabe destacar, ainda, que no início do trecho mapeado, o entulhamento do vale na confluência do córrego Dantas, com o córrego Boa vista, formou um ambiente de brejo, com canais secundários, criando um pequeno trecho anastomosado (Pcm).

Figura 69 - Mapeamento das Unidades Geomorfológicas 19/01/2011

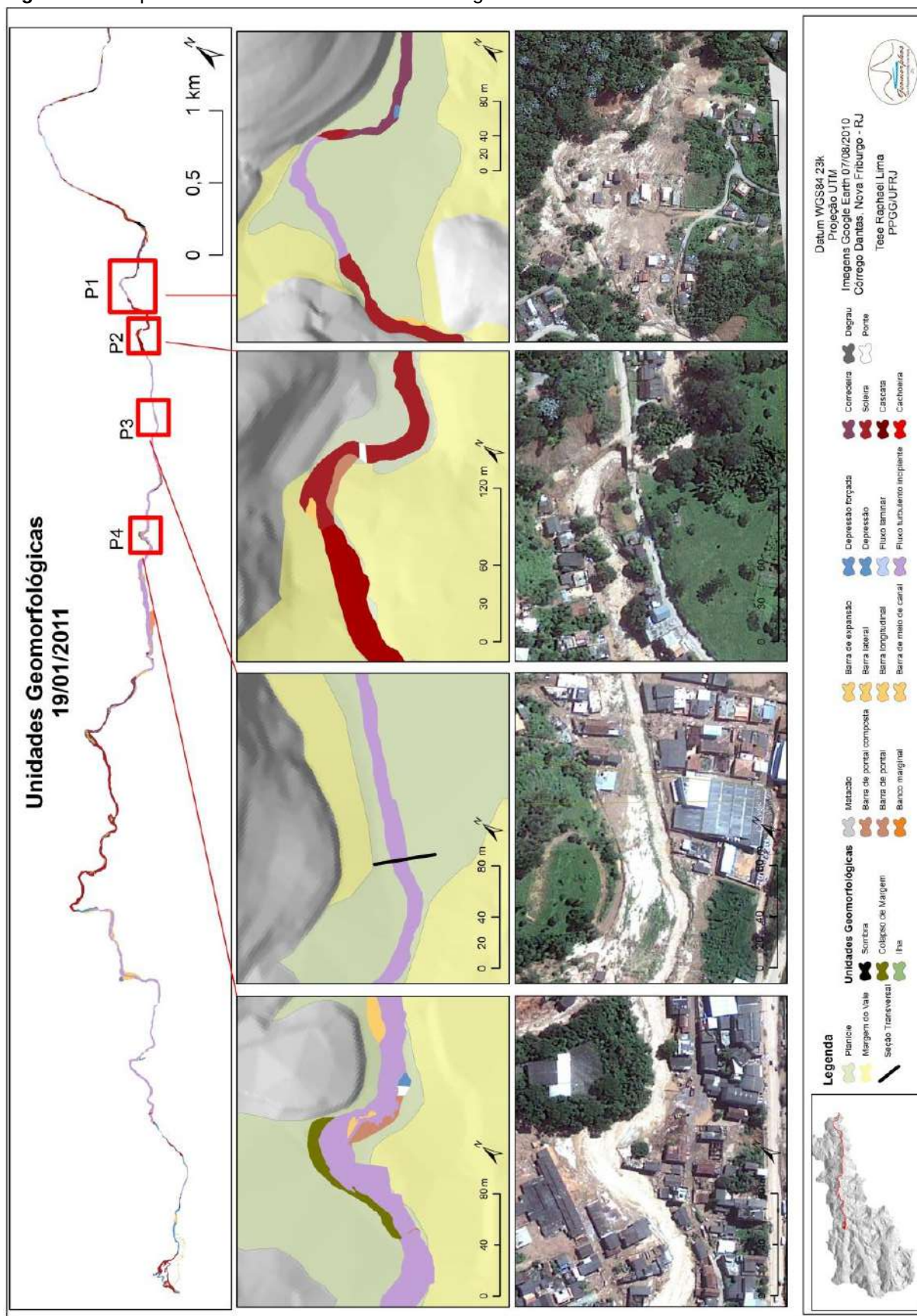


Figura 71 - Mapeamento das Unidades Geomorfológicas 06/05/2011

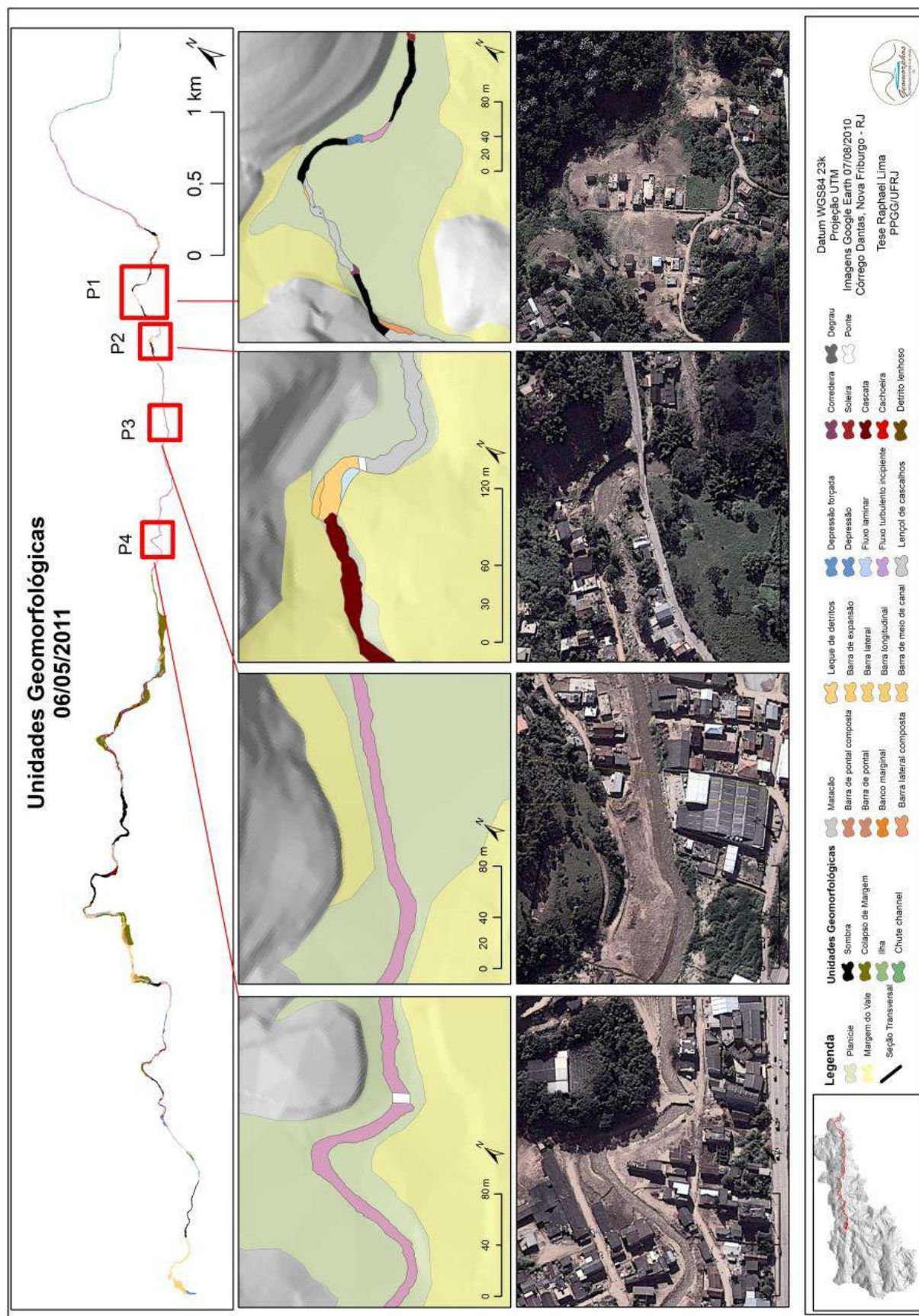
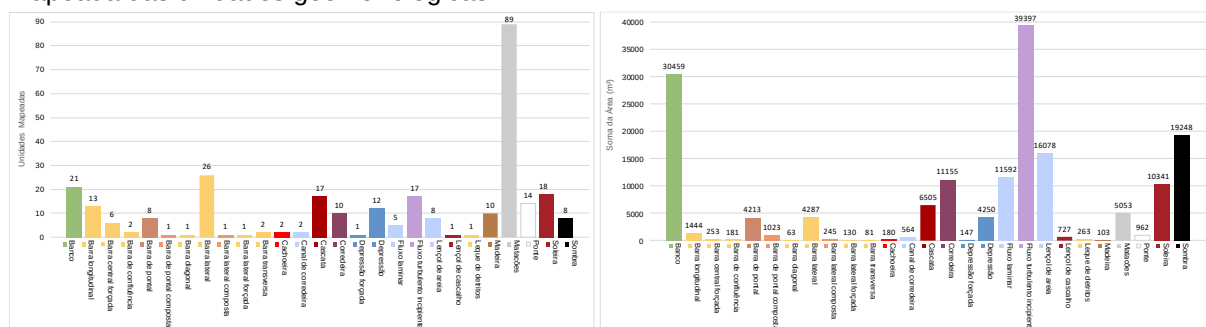


Figura 72 - Unidades Geomorfológicas 06/05/2011 (1) Número de unidades geomorfológicas (2) área mapeada das unidades geomorfológicas



IV) 24/05/2013 – Início das Obras no trecho 3

Após o período de obras emergenciais, em 2013 foram iniciadas as obras definitivas para o trecho 3 do córrego Dantas previsto no projeto Rios da Serra (Figura 73).

Neste período verifica-se a formação de ajustes e acomodação de sedimentos nas calhas alteradas na fase emergencial.

Neste período, a conformação da calha para uma seção trapezoidal removeu novamente as unidades geomorfológicas dos trechos alvo (**PCpd**). O alargamento do leito também provocou neste período, a diminuição da competência do rio em vazões baixas, evidenciado do aumento de fluxos laminares (*glide*) e a diminuição dos trechos de soleiras (*riffles*).

Nos trechos de alta energia (**Cpo**), as corredeiras (rapids) passaram por processo de acomodação e reorganização de fluxos, originando feições mais complexas como cascatas (*cascades*) e sequências de soleiras (*riffles*) e depressões.

Até este período, o trecho embrejado do estilo fluvial **PCm**, localizado no início do trecho de mapeamento, havia ajustado para um padrão entrelaçado para meândrico, com ocorrência de barras de pontal. No conjunto de obras realizadas, este trecho foi dragado e retificado, a fim de evitar alagamentos nesse ponto.

Figura 73- Mapeamento das Unidades Geomorfológicas 24/05/2013.

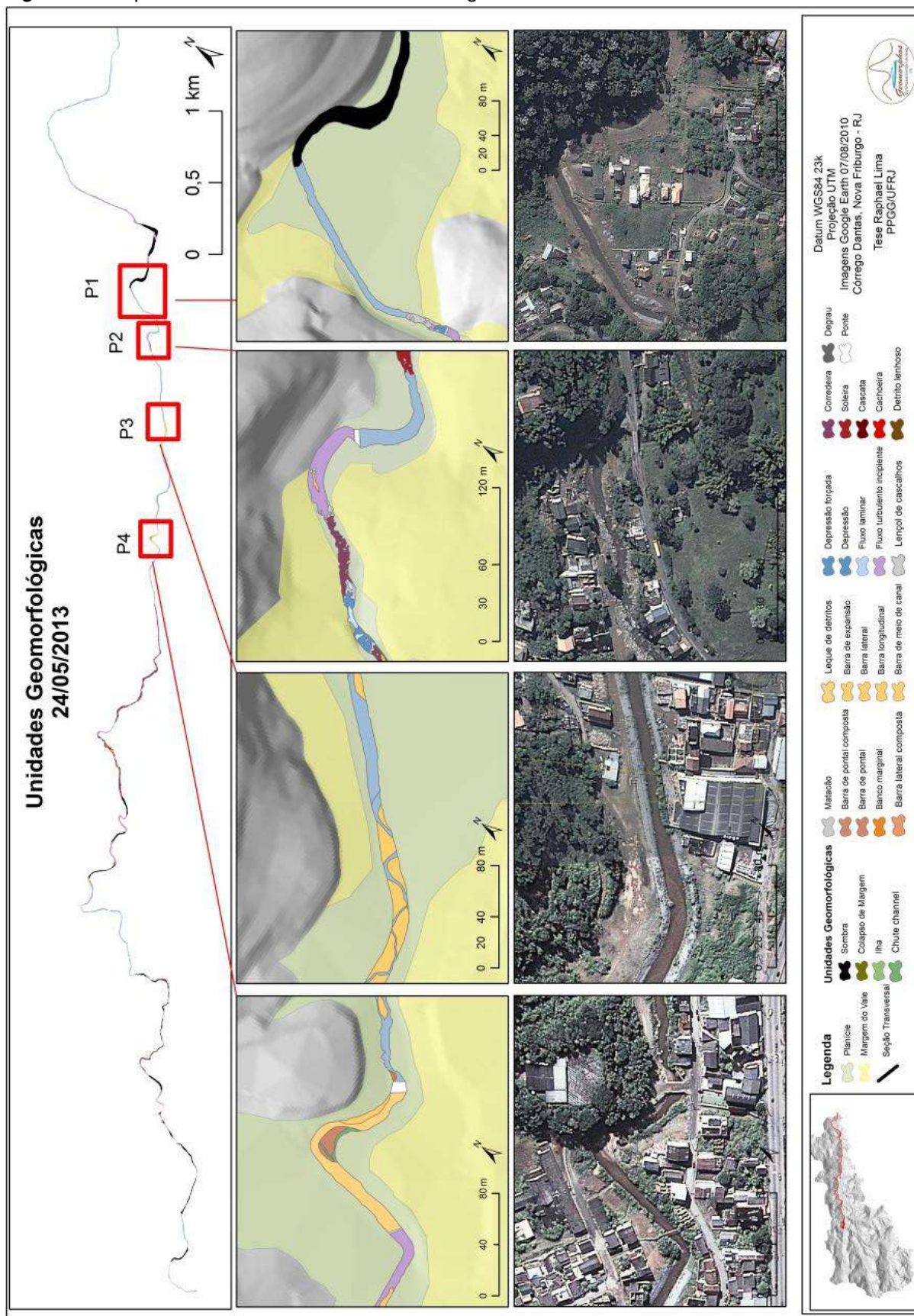
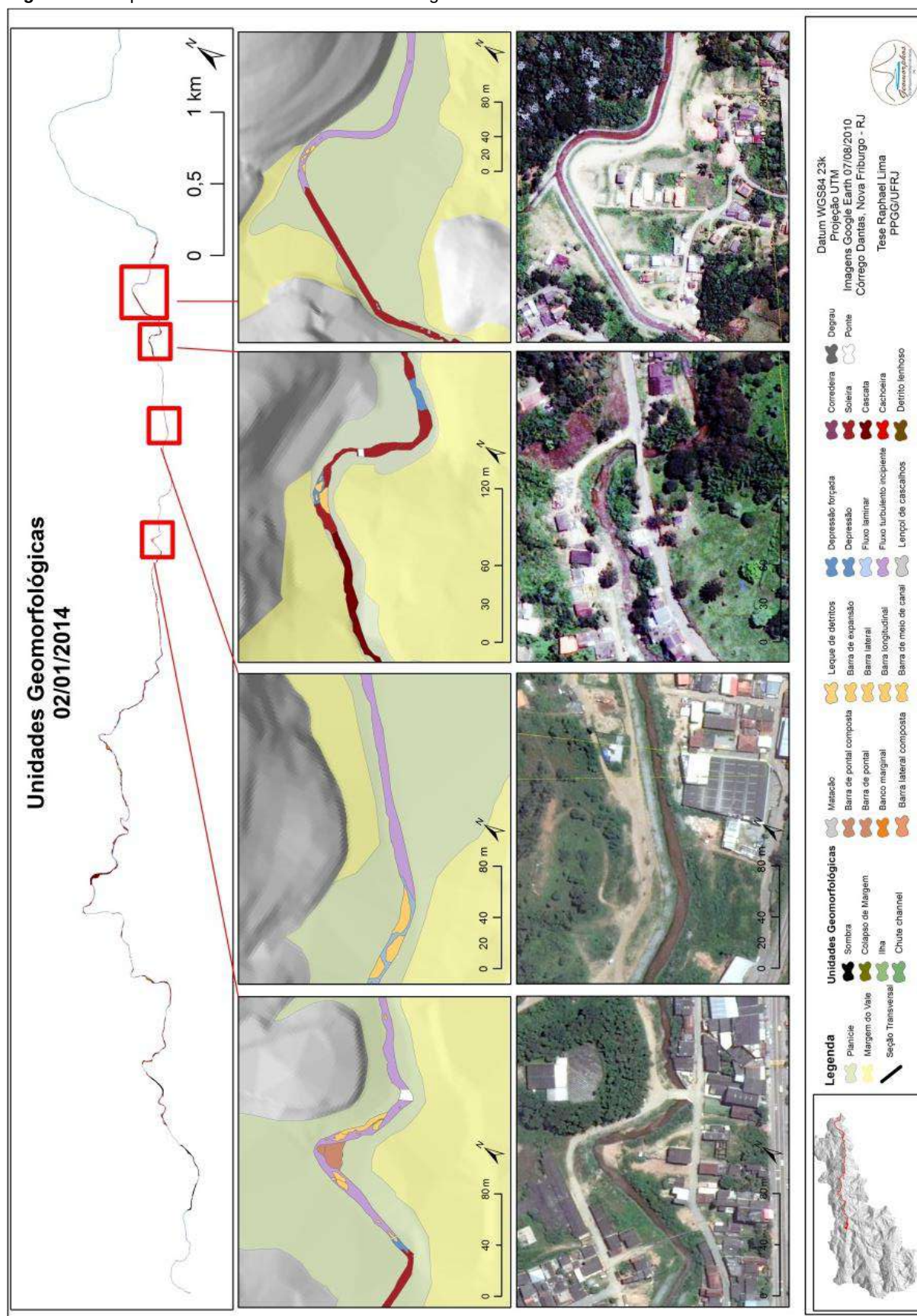


Figura 76 - Mapeamento das Unidades Geomorfológicas 02/01/2014

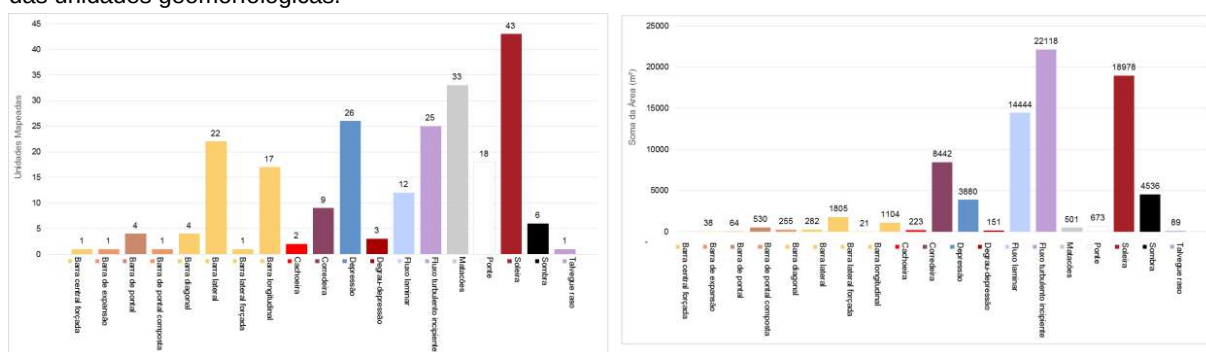


VI) 28/01/2014 – Início dos ajustes pós obras

Neste período as mudanças não foram mais significativas nos estilos **CPo**, considerando sendo verificada uma estabilização nos processos, uma vez que os sedimentos arenosos se acomodaram nas margens, preenchendo as áreas inundadas, e concentrando fluxos de alta energia.

Nesta fase começaram os principais ajustes nos estilos **PCpd**. Os fluxos de sedimentos continuaram a ocorrer com intensidade, sendo percebido após o fim do mês de janeiro, a mobilização dos sedimentos.

Figura 77 - Unidades Geomorfológicas 28/01/2014 (1) Número de unidades geomorfológicas (2) área mapeada das unidades geomorfológicas.



I) 15/07/2016 – Situação atual

Entre 2014 e 2016, ocorreram os principais ajustes no PCpd, com progressivo desenvolvimento de barras laterais, estabilizadas por vegetação.

Tal processo resultou no estreitamento do talvegue, adequando a calha à vasão de base.

Figura 78- Unidades Geomorfológicas 15/07/2016 (1) Número de unidades geomorfológicas (2) área mapeada das unidades geomorfológicas.

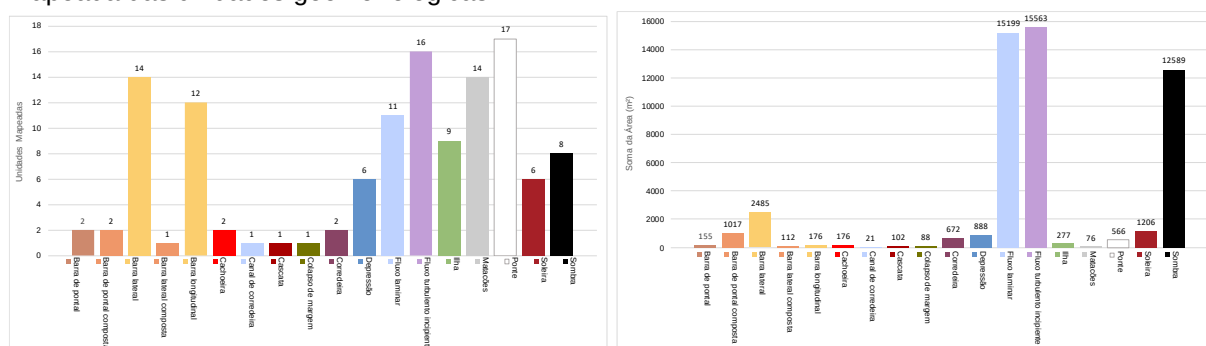


Figura 79 - Mapeamento das Unidades Geomorfológicas 28/01/2014.

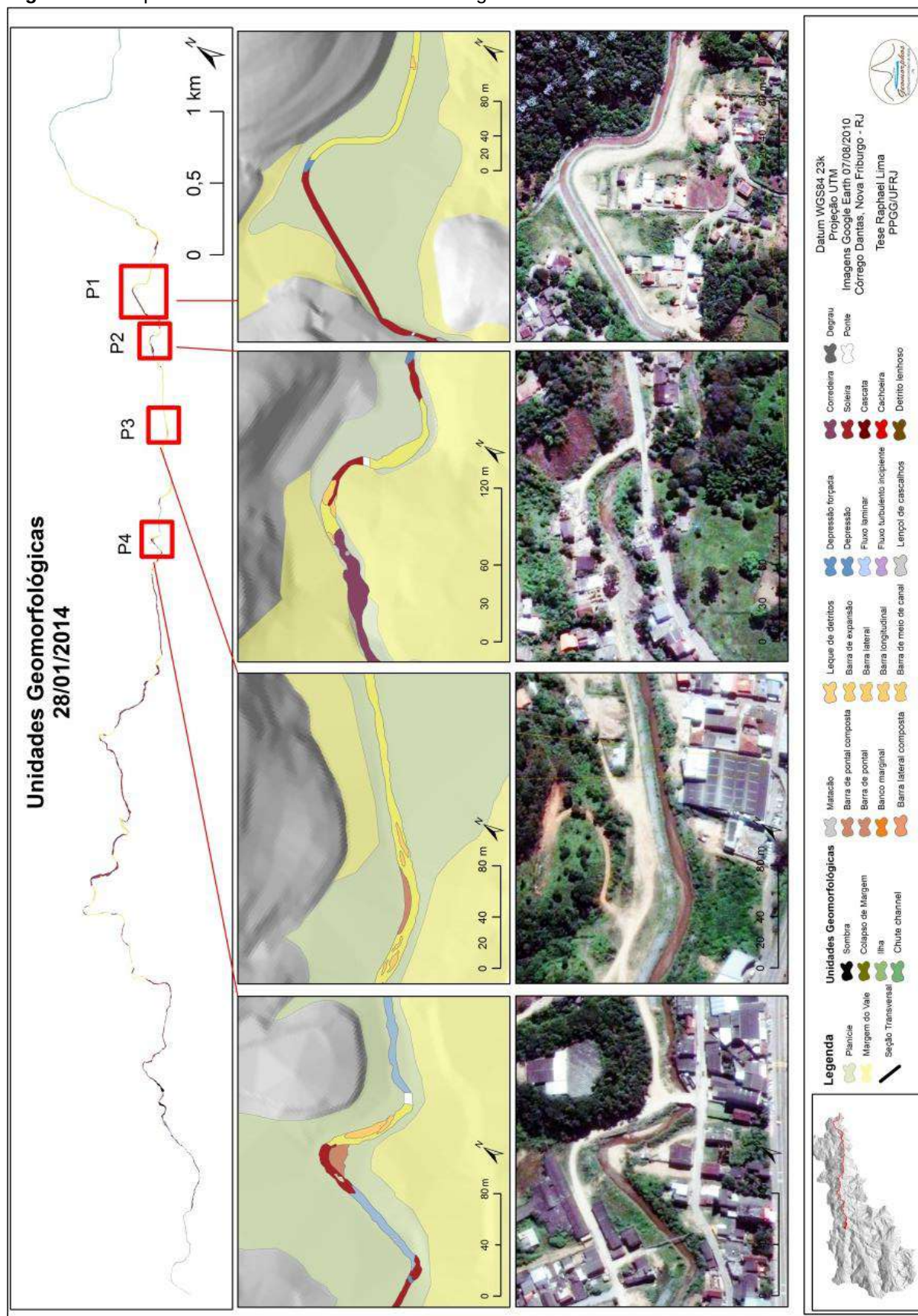
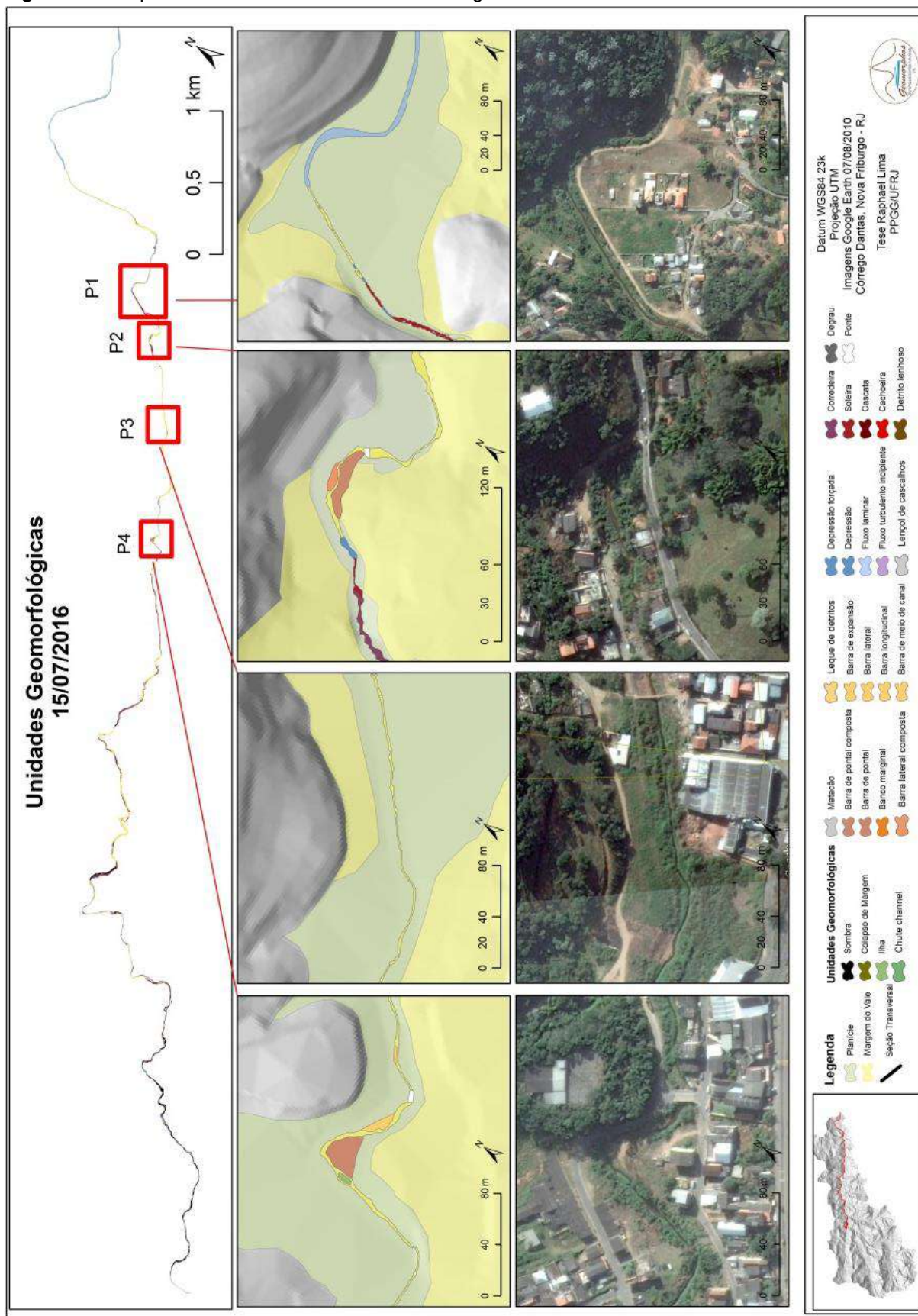


Figura 80 - Mapeamento das Unidades Geomorfológicas 15/07/2016



b) Monitoramento de seções transversais

O monitoramento das seções transversais permitiu a análise dos ajustes operados em trechos representativos dos estilos fluviais e suas taxas. Deste modo buscou-se compreender o comportamento destas seções, a fim de avaliar suas tendências (Figura 81).

Figura 81 - Localização das seções de monitoramento no córrego Dantas e sua posição no canal.

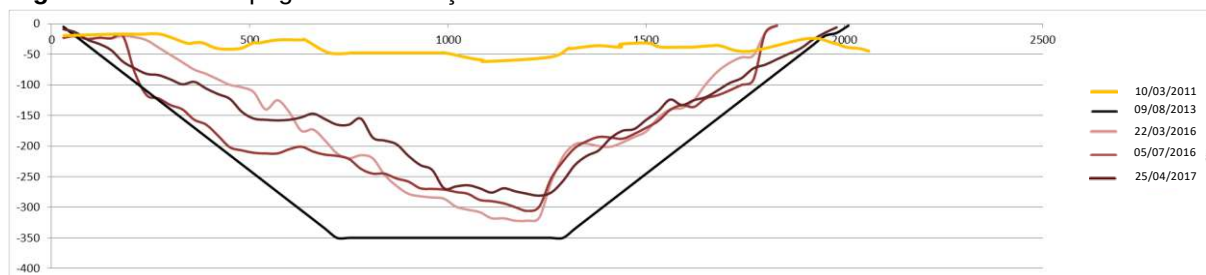


Ponto 1A

Apesar de estarem em há aproximadamente 300 m de distância e terem passado por processos de mudanças e intervenções similares, a escolha dos pontos 1A e 1B, se deu, pois, a fim de se avaliar a influência de elementos como a curva do rio, e a proximidade de afluentes no comportamento hidrossedimentológico do canal.

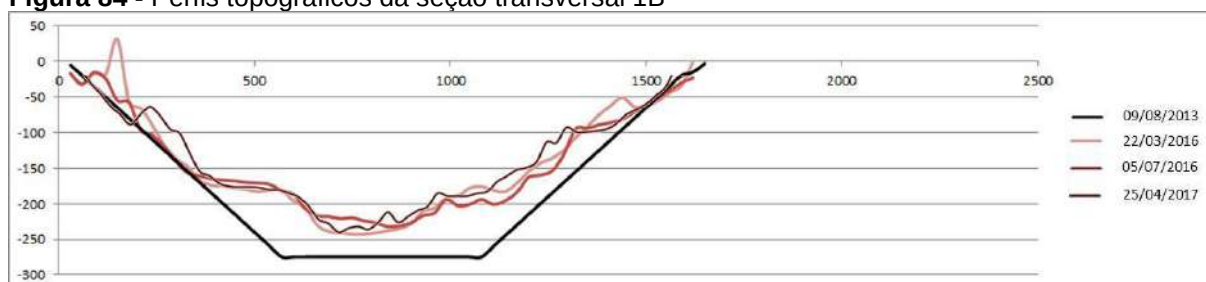
Apesar de estar à 50m da desembocadura do córrego São Geraldo, a seção foi instalada entre duas curvaturas do canal visando compreender a influência desta no regime de transporte.

Após a obra que estabeleceu uma geometria trapezoidal, o processo que se descreve a partir dos perfis, é a agradação do fundo do canal (Figura 82). O processo de sedimentação acompanhou o fluxo mais intenso na margem direita, ocasionado pela curva do rio, verificando-se assimetria do depósito com maior agradação na margem esquerda. O período de monitoramento evidenciou uma tendência de agradação e estreitamento do córrego Dantas neste setor. A presença de vegetação nas barras depositadas confere um caráter irregular ao perfil (Figura 83).

Figura 82 - Perfis topográficos da seção transversal 1 A.**Figura 83** - Foto da seção 1 A. Fluxo turbulento incipiente (run) 05/07/2016.**Ponto 1B**

O ponto 1B, posicionado no início do alvéolo fluvial, atua como uma área de dissipação da energia vinda do pequeno trecho de corredeira, a montante. Este setor apresenta um gradiente mais elevado do que a seção 1A, e por apresentar um traçado retilíneo, a energia do fluxo e os processos de transporte e deposição ocorreram de forma mais distribuída na calha.

O perfil mostra uma pequena deposição de topo plano em ambas as margens. As irregularidades no perfil estão associadas a raízes e vegetação estabelecida nas margens do canal. O processo de agradiação posterior às obras, demonstrou estabilização, visto que o fluxo de base apresenta energia moderada nesse local.

Figura 84 - Perfis topográficos da seção transversal 1B**Figura 85** - Foto da seção 1 A. Fluxo com energia moderada, formando Soleiras (*riffle*) 05/07/2016.**Ponto 2**

O ponto 2 está localizado em uma curvatura do vale, entre dois trechos estrangulados de corredeira. Sua localização visa compreender os processos de retenção e transferência de sedimentos em heterogeneidades localizadas em trechos de alta energia.

Os perfis topográficos obtidos nesta seção representam o processo de deposição e remobilização deste depósito entre os períodos analisados (Figura 86). A formação de uma barra composta na margem esquerda ocorreu inicialmente pela presença de blocos posicionados próximos à margem, criaram uma zona de sombra no fluxo, forçando a sedimentação nestes locais e deslocando o eixo do talvegue para a margem direita. As concavidades verificadas sobre as barras representam calhas secundárias formadas em vazões de cheia, que retrabalham as barras (Figura 87). O perfil realizado em 22/03/2016, mostra uma ilha na margem direita com dois talvegues

estreitos. Nos períodos seguintes o fluxo passou a correr em talvegue único, que foi alargado ao longo do tempo.

Figura 86 - Perfis topográficos da seção transversal 2

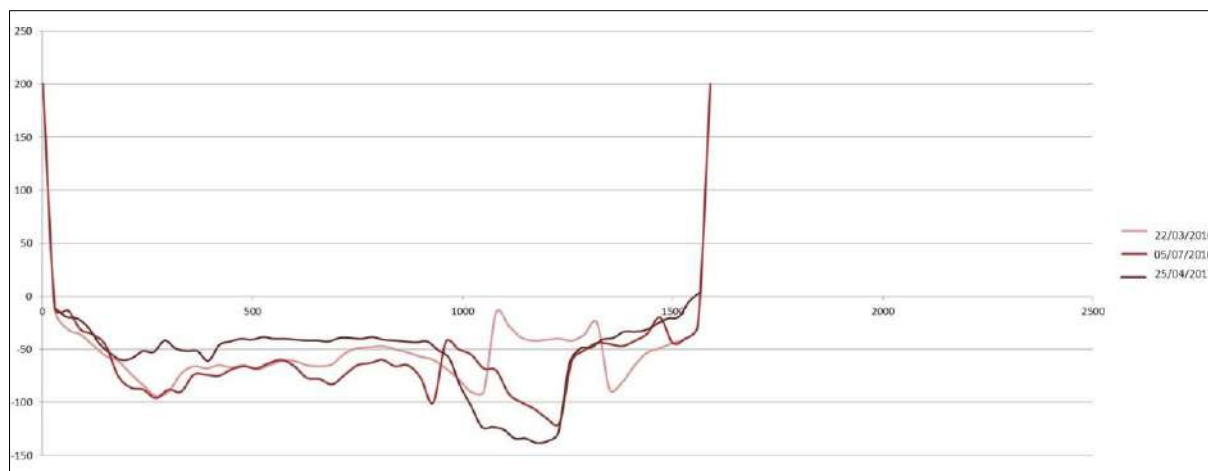


Figura 87 - Barra composta por diferentes fluxos formadores. Verifica-se gradação nos sedimentos arenosos e presença de canal secundário. Apresenta substrato composto de seixos sustentados por areia grossa e média. À direita é possível identificar outros matacões posicionados na margem e outras barras formadas por processo semelhante (22/03/2016).



Ponto 3

O ponto 3 apresenta história de intervenções semelhantes ao ponto 1, em uma área onde se verificou intensa sedimentação nas planícies e mudança do canal para um padrão anastomosado, próximo à cota -50m, do gráfico (Figura 88).

Após a obra este trecho apresentou intensa deposição, iniciada por barras laterais. Ao longo deste segmento, o rio apresentou estreitamento, correndo no eixo central da calha projetada (Figura 89). Este ponto, no entanto, por estar localizado após uma curva, apresenta assimetria no eixo do fluxo, tanto de cheia como de vazante. Este processo gerou, localmente, a ocorrência de um processo de sedimentação inicial formado por 'barras alternadas' (*side bars*), formando um talvegue sinuoso dentro da calha projetada. A estabilização e acresção sucessiva destas unidades produziram sequências de barras laterais e consequente assimetria no perfil, com deslocamento do talvegue para a margem direita.

Figura 88 - Perfis topográficos da seção transversal 3.

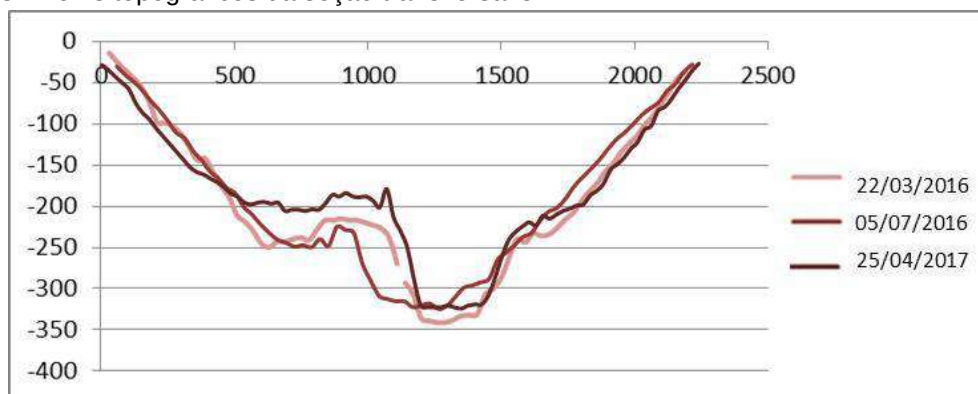


Figura 89 - Barras laterais formadas dentro da calha projetada do córrego Dantas (22/03/2016).

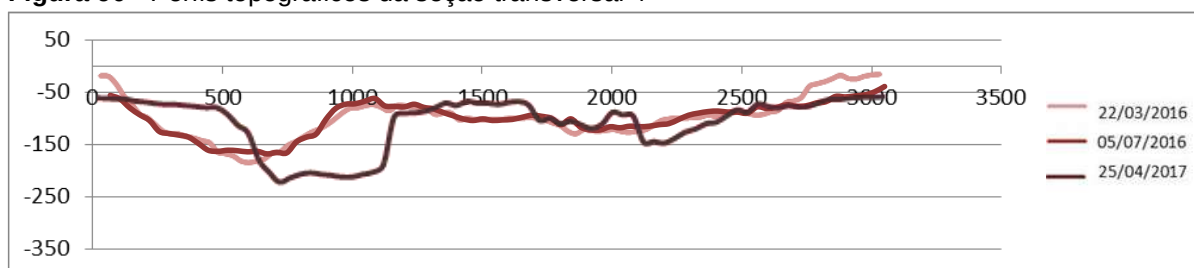


Ponto 4

Localizado 600m a montante do ponto 3, a posição do ponto 4 foi escolhida por representar uma barra de pontal composta que passou por intensas modificações após o *Megadesastre'11*, sendo importante indicador do comportamento frente os regimes de fluxo e geomorfológico deste setor.

No perfil, é possível identificar o depósito em forma de barra de pontal na margem direita do canal, com talvegue formado na margem esquerda (Figura 90). Apesar dos dois monitoramentos apresentarem pouquíssima variação, verificou-se para o período seguinte que as cheias registradas em janeiro/2017, encobriu a barra, com fluxo suficiente para remobilização do depósito. Nestes episódios, a fase de diminuição da descarga líquida promoveu ainda a formação de uma pequena calha sobre o depósito (*chute channel*).

Figura 90 - Perfis topográficos da seção transversal 4



7 DISCUSSÕES - Trajetória de Mudanças. Uma Análise da Resiliência/Sensibilidade do Sistema

a) Trajetória de mudanças dos Estilos Cpo

Durante o clímax do evento, predominou processo de transporte e remobilização de materiais de antigos depósitos, provocando incisão e alargamento da calha.

Em um segundo momento, as cheias provocaram acomodação de materiais nas margens que haviam sido reativadas pelo fluxo de detritos.

O elevado gradiente do trecho e a disponibilidade de sedimentos no sistema permitiu a reorganização dos sedimentos no vale e reconstrução natural da calha fluvial, voltando à um estágio semelhante ao de referência pré-desastre (Figura 91 e Figura 92).

Figura 91 - Modelo conceitual da trajetória de ajustes para o estilo fluvial Cpo do Córrego Dantas, apresentando quatro estagios da evolução do canal. O estágio inicial representa o padrão pré Megadesastre¹¹, e sua sequência de estágios segue as tendências de ajustes de largura e profundidade do leito, bem como marcos da nterferência antrópica.

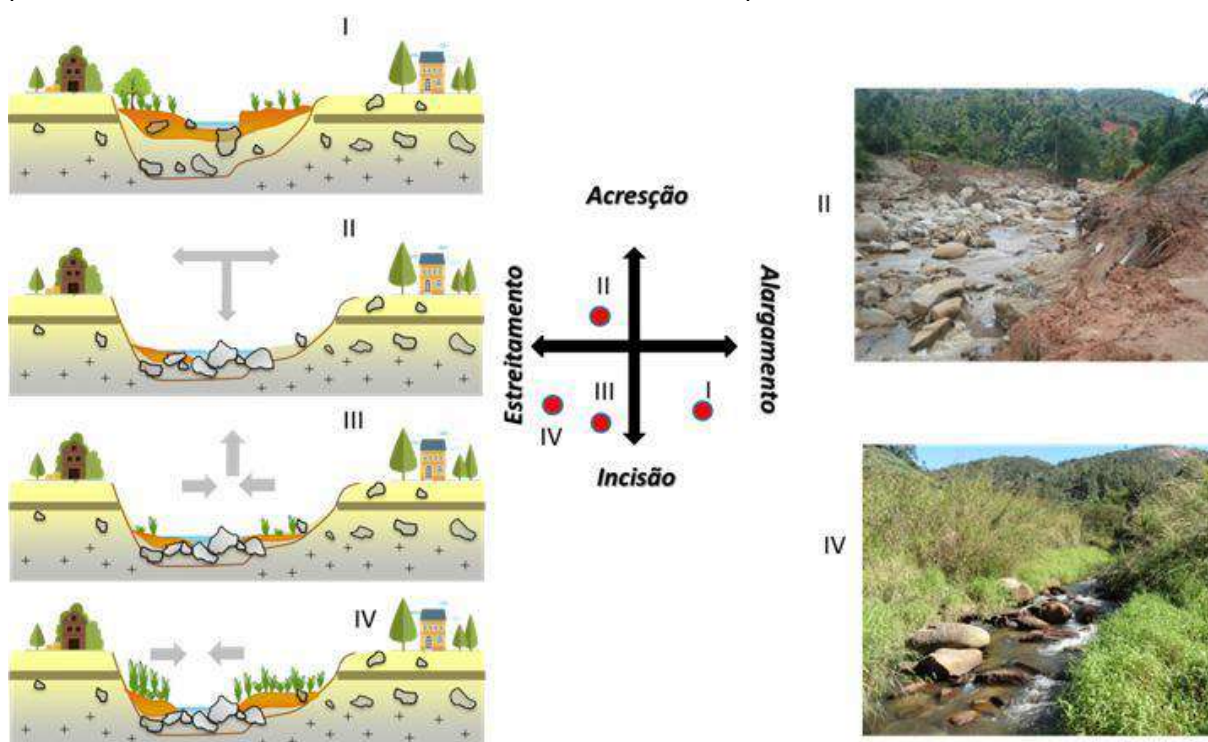
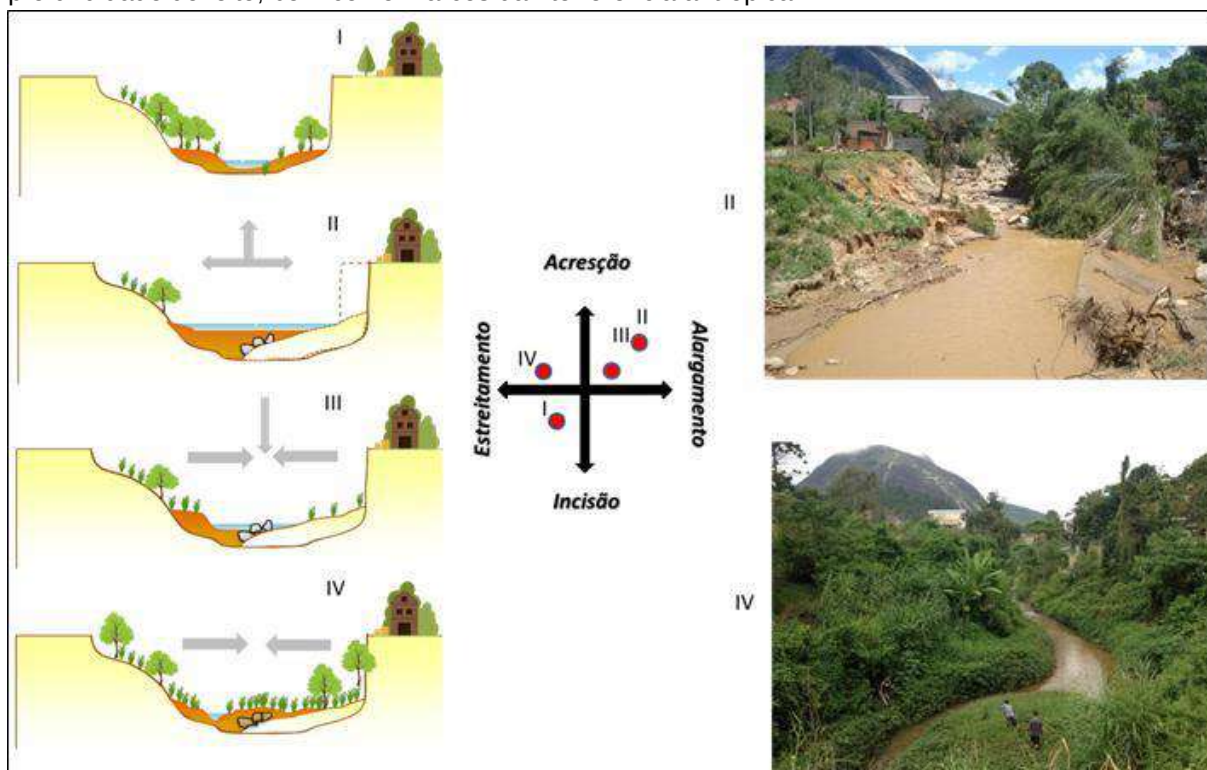


Figura 92 - Modelo conceitual da trajetória de ajustes para o estilo fluvial Cpo do Córrego Dantas, apresentando quatro estágios da evolução do canal. O estágio inicial representa o padrão pré Megadesastre¹¹, e sua sequência de estágios segue as tendências de ajustes de largura e profundidade do leito, bem como marcos da interferência antrópica.

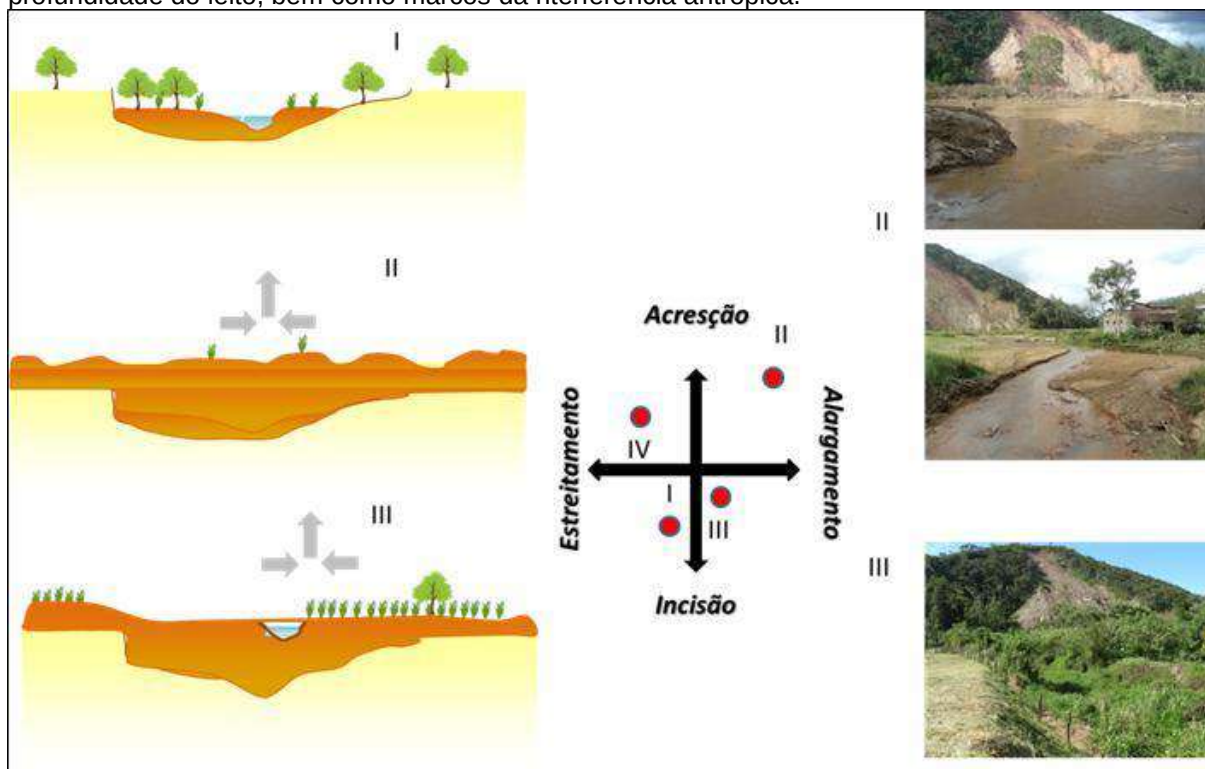


b) Trajetória de mudanças dos Estilos PCm:

Após o desastre, este trecho experimentou intensa deposição nas planícies e entulhamento da calha. Alguns locais, como a confluência do córrego Boa Vista, desenvolveram padrão entrelaçado após o evento, ajustando-se progressivamente para meandrante, com ocorrência de barras de pontal.

No conjunto de obras realizadas, este trecho foi dragado e retificado, a fim de mitigar novos alagamentos nesse ponto (Figura 93).

Figura 93 - Modelo conceitual da trajetória de ajustes para o estilo fluvial PCm do Córrego Dantas, apresentando três estágios da evolução do canal. O estágio inicial representa o padrão pré Megadesastre11', e sua sequência de estágios segue as tendências de ajustes de largura e profundidade do leito, bem como marcos da interferência antrópica.



c) Trajetória de mudanças dos Estilos PCpd

Após o desastre, alguns trechos de menor energia modificaram-se para padrões semelhantes ao estilo PCm, com características iniciais de canal anastomosado, sofrendo acresção e alargamento.

Após obras e dragagens, a calha fluvial foi alterada, buscando-se reestabelecimento das condições de escoamento. A incisão e o alargamento artificial da calha ocorreram em praticamente todos os trechos deste estilo fluvial.

Em decorrência das obras, respostas semelhantes aconteceram ao longo do trecho. Em função do contínuo aporte de sedimentos no sistema e a alta conectividade entre os trechos, favorecida pelas obras, permitiram que as calhas fossem ajustando e reconfigurando, a cada evento de cheia, suas condições de escoamento do fluxo de base.

Esse processo resultou em um processo de acresção e estreitamento que foi reduzindo em velocidade à medida em que o rio foi se estreitando.

Figura 94 - Modelo conceitual da trajetória de ajustes para o estilo fluvial PCpd do Córrego Dantas, apresentando quatro estágios da evolução do canal. O estágio inicial representa o padrão pré Megadesastre11', e sua sequência de estágios segue as tendências de ajustes de largura e profundidade do leito, bem como marcos da nterferência antrópica.

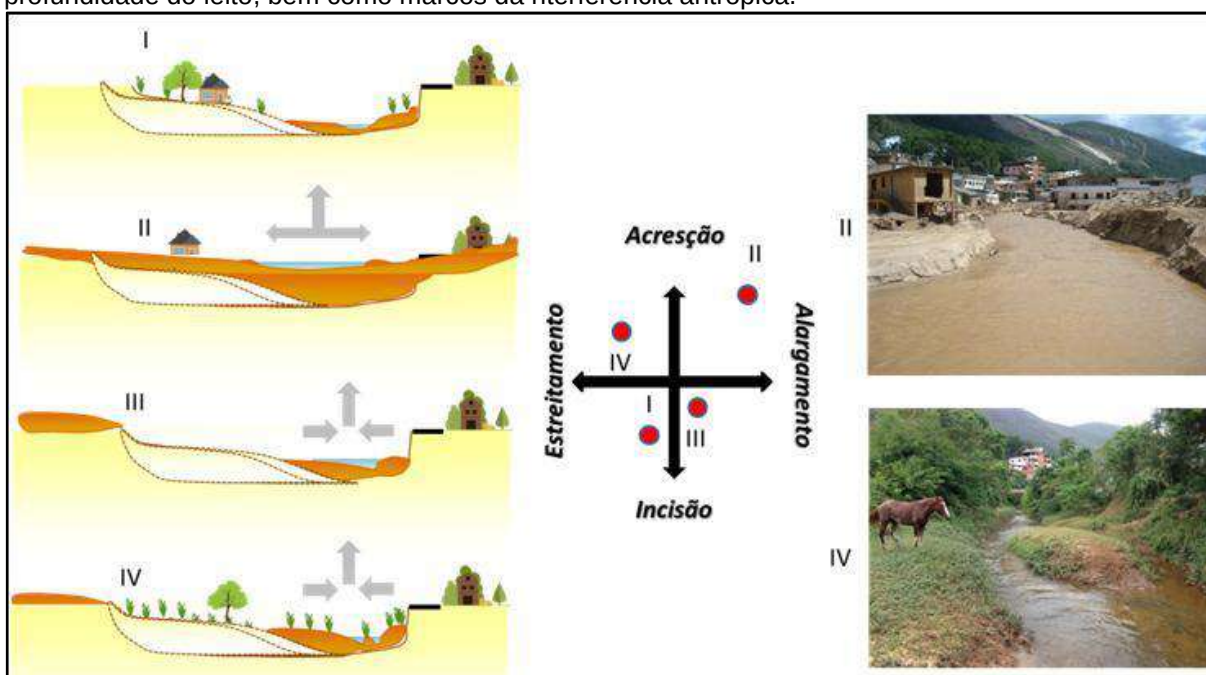


Figura 95 - Modelo conceitual da trajetória de ajustes para o estilo fluvial Cpo do Córrego Dantas, apresentando quatro estágios da evolução do canal. O estágio inicial representa o padrão pré Megadesastre11', e sua sequência de estágios segue as tendências de ajustes de largura e profundidade do leito, bem como marcos da nterferência antrópica.

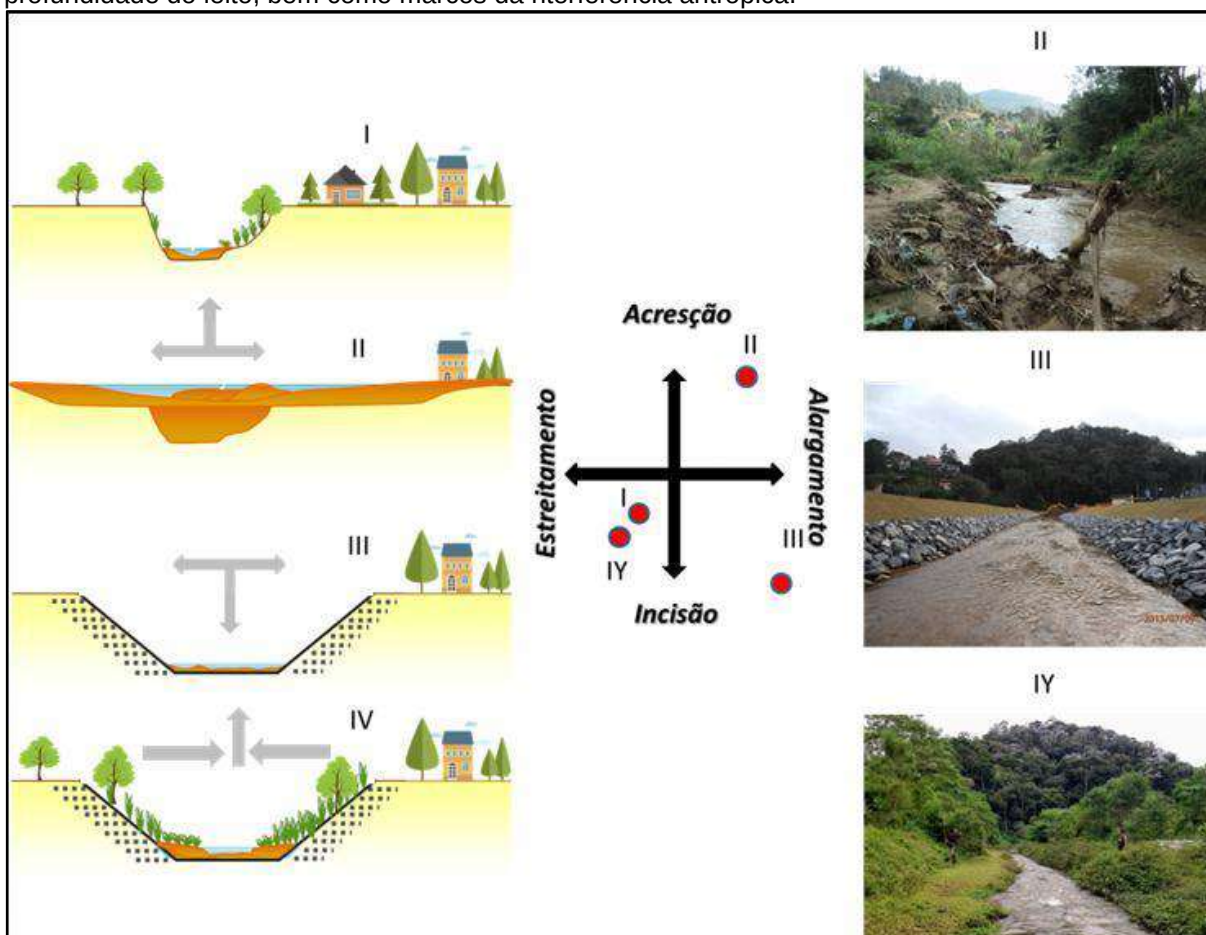
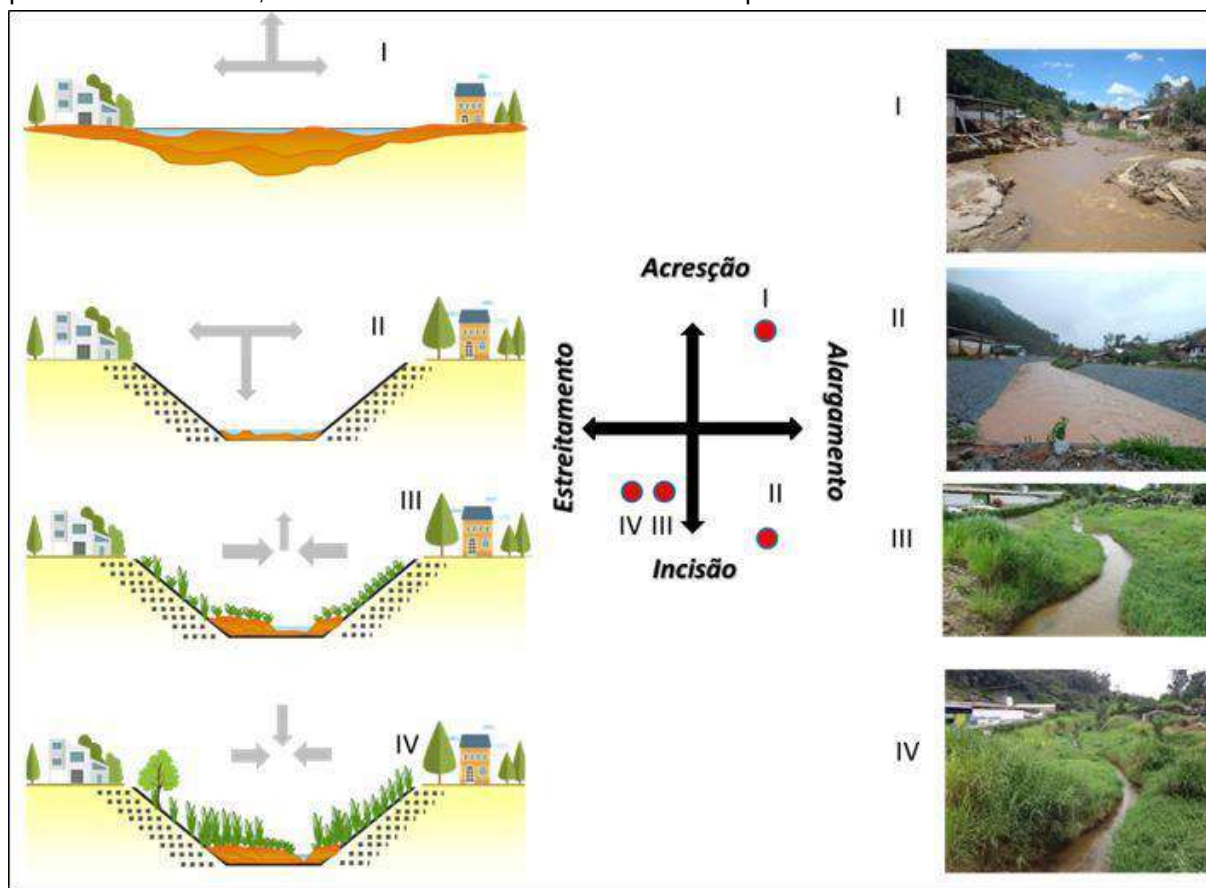


Figura 96 - Modelo conceitual da trajetória de ajustes para o estilo fluvial Cpo do Córrego Dantas, apresentando quatro estágios da evolução do canal. O estágio inicial representa o padrão pré Megadesastre¹¹, e sua sequência de estágios segue as tendências de ajustes de largura e profundidade do leito, bem como marcos da interferência antrópica.



8 CONCLUSÕES

Conforme identificado nos controles regionais da bacia, devido à alta conectividade lateral e longitudinal os deslizamentos ocorridos durante o Megadesastre' 11, produziram *inputs* de um volume massivo de água e sedimentos no sistema fluvial, que representou um pulso de perturbação no sistema concentrado no médio curso a maior magnitude do evento. Tal variação abrupta da vazão e carga sedimentar provocaram mudanças profundas imediatas na morfologia do córrego Dantas e seus tributários, cujos períodos de ajustes foram diferentes, respondendo às características de cada estilo fluvial na dissipação e transferência de materiais e de energia, bem como às intervenções antrópicas que incidiram sobre alguns sítios da bacia.

A partir de uma minuciosa caracterização da morfologia dos canais e das suas variações ao longo do tempo, foi possível analisar a alternância dos processos de mobilização e retenção de sedimentos fluviais ao longo de diferentes compartimentos da bacia. No decorrer do período de relaxamento de seis anos que sucedeu ao *Megadesastre'11*, destaca-se o papel das cheias subsequentes na reconstrução geomorfológica da calha fluvial.

Tais investigações, contribuíram para se alcançar satisfatoriamente as questões suscitadas na introdução: De que forma este sistema se ajusta a eventos extremos de entrada de sedimentos? Como a interferência antrópica pode afetar a taxa dos processos nesses ambientes? É possível retorno ao estágio de referência do sistema fluvial impactado?

Analizou-se ao longo dos resultados e discussões da tese as trajetórias de ajustes operados pelo canal se deu tanto em resposta às novas entradas de chuvas na bacia, como em função das intervenções de engenharia conduzidas na calha.

Evidenciou-se de maneira geral, que ao longo deste período, ocorreu o processo de reestabelecimento de condições semelhantes às verificadas no estado de referência anterior ao desastre. Em alguns trechos, mais resilientes como os *Confinados, com planícies ocasionais em alvéolos* (Cpo), os rios retornaram ao seu estado de referência sem haver intervenções diretas. Já nos trechos *Parcialmente confinado, controlado por terraço colúvio* (PCpd) e *Parcialmente confinados meândricos* (PCm), as intervenções realizadas ofereceram condições para que o canal se ajustasse mais rapidamente às condições de referência, e começasse a

apresentar um processo de estabilização nos processos de deposição. Pelos resultados obtidos nos perfis transversais, pode-se inferir que as taxas de sedimentação estão se estabilizando e diminuindo em intensidade, à medida que o rio encontra seu equilíbrio entre a área da calha e suas vazões.

Com base nas leis de transporte já consagradas e reconhecidas pela geomorfologia, que reconhecem os controles geomorfológicos operados pelos vales na dissipação e transmissão de matéria e energia no sistema fluvial, juntamente com as evidências reunidas por esta pesquisa, verificou-se que o sistema fluvial do córrego Dantas está assentado sobre depósitos construídos a partir de inputs de energia similares ao gerado no evento *Megadesastre'11*.

Não há, portanto, dúvida de que a geomorfologia é útil para a prevenção de riscos e para o planejamento urbano, entre outras aplicações. No entanto, este discurso, ecoado cada vez mais alto ao longo de décadas de aprimoramento do conhecimento geomorfológico, raramente é traduzido em aplicações práticas deste conhecimento, seja para o ordenamento do território, seja para respostas a situações de crise. Práticas tradicionais de engenharia pesada, continuam a moldar os rios e a consumir recursos em esforços que não deixam muitas alternativas para gerações futuras, que não seja conviver com desastres.

A pergunta que realmente nos desafia é: como conduzir uma boa prática do conhecimento geomorfológico no dia a dia das instituições que lidam com o planejamento e com tomadas de decisões?

A resposta para essa pergunta surgida nas elucubrações finais da tese, parece ter pista nos avanços tecnológicos da última década. A ampliação da constelação de satélite de observação sistemático e detalhado da Terra; a viabilidade técnica de levantamento topográfico em escala submétrica; a possibilidade de cruzamento de dados em Sistemas de Informações Geográficas com capacidade de processamento cada vez maior. Essas tecnologias têm conferido ao geomorfólogo, capacidade analítica cada vez mais precisa a respeito das taxas em que os processos operam em diferentes tipos de sistemas e ambientes.

Estas ferramentas dão ao geomorfólogo agilidade sem precedentes no levantamento de evidências e na realização de prognósticos mais precisos para as realidades locais, fazendo com que a geomorfologia seja, para além de um campo do conhecimento útil, um campo do conhecimento utilizável, perante os desafios de mudanças climáticas que virão pelo século XXI.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, José Otávio. Revisitando o tema da guerra entre índios Puri-Coroado da Mata Central de Minas Gerais nos oitocentos: relações com o estado, sub-difereciações étnicas, transculturações e relações tensivas no vale do Rio Pomba (1813-1836). In: Mnemosine Revista. Volume1, Nº 2, jul/dez 2010. p.112.

ALLEN, T.; STARR, T. Hierarchy. Chicago, IL: University of Chicago Press, 1982.

AMARAL, C.; LIMA, F.I.; VAREJÃO, L.C.; SANTANA, M. Carta de risco remanescente a escorregamentos no município de Teresópolis, após o Megadesastre'11 da Região Serrana. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 13, 2011, 2011, São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE, 2011.

AVELAR, A.S; COELHO NETTO, A.S; LACERDA, W.L. BECKER, L.B & MENDONÇA, M.B. (2011) "Mechanisms oh the Recent Catastrophic Landslides in the Mountainous Range of Rio de Janeiro, Brazil", Proc. of the 2nd World Landslide Forum, Roma, em CD.

BIGARELLA, J.J.; MOUSINHO, M.R. Considerações a respeito dos terraços fluviais, rampas de colúvio e várzeas. Bol. Paran.Geogr., Curitiba, 16/17-153-198, 1965.

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2005.

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. (Eds.). River Futures: An Integrative Scientific Approach to River Repair. Washington: Island Press, 2008.

BRIERLEY, G.J.; FRYIRS, K.A. River Styles, a geomorphic approach to catchment characterization: Implications for river rehabilitation in Bega Catchment, NSW, Australia. Environmental Management. New York, US: v. 25, n. 6, p. 661-679. 2000.

BRIERLEY, G. & FRYIRS, K.A. The River Styles® framework: The short course conceptual book. Macquarie Research Limited.151pp, 2003.

BROOKES, A. Restoring the Sinuosity of Artificially Straightened Stream Channels. *Environmental Geology and Water Science*, v. 10, p. 33-41, 1987.

BRUNSDEN, D.; THORNES, J.B. Landscape Sensitivity and Change. *Translates of the Institute of British Geographers*, v. NS4, p. 463-484, 1979.

BRUNSDEN, D.; Applicable models of long term landform evolution: *Z. Geomorph. N.F., Suppl.* – Bd. 36, 16-26, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. A Aplicação da Abordagem em sistemas na Geografia Física. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 52, n 2, p. 21 – 35, 1990.

COELHO NETTO, A. L.; SATO, A. M.; AVELAR, A. S.; VIANNA, L. G. G.; ARAÚJO, I. S.; FERREIRA, D. L. C.; LIMA, P. H.; SILVA, A. P. A.; SILVA, R. P. 2011. January 2011- The extreme landslide disaster in Brazil. 2011.roc. of the 2nd World Landslide Forum, Roma, em CD.

CORRÊA, A. C. B. A Geografia Física: uma pequena revisão de seus enfoques. *Rios*, v. 1, p. 170-181, 2005.

COLTRINARI, L. Geomorfologia e Dinâmica Quaternária no Sudeste do Brasil. *Revista Do Departamento De Geografia*, v. 6, p. 7-16, 8 nov. 2011.

CULLUM, C.; BRIERLEY, G. J; THOMS, M. The Spatial Organization of River Systems. In: BRIERLEY, G. J.; KIRSTIE, A. (Eds.) *River Futures: an Integrative Scientific Approach To River Repair*. Island Press, Society for Ecological Restoration International, p. 43-64, 2008.

DOURADO, F.; COUTINHO, T.; FERNANDES, M. O Megadesastre da Região Serrana do Rio de Janeiro – as Causas do Evento, os Mecanismos dos Movimentos de Massa e a Distribuição Espacial dos Investimentos de Reconstrução no Pós-Desastre. *Anuário do Instituto de Geociências*, Rio de Janeiro, v. 35, n 2, p. 43-54, 2012.

DUARTE, N. S. Conectividade no sistema de drenagem do rio Sana, afluente do rio Macaé (RJ). Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.

DRM-RJ. Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro. Diagnóstico do Megadesastre da Região Serrana, janeiro de 2011. Rio de Janeiro: DRM, 2011

FREIRE, B.; RIBAMAR, J.; FERNANDA, M.M. Aldeamentos Indígenas do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Programa de Estudos dos Povos Indígenas/Uerj, 1997.

FRISSELL, C. A.; LISS, W. J.; WARREN, C. E.; HURLEY, M. D. A Hierarchical Framework for Stream Habitat Classification: Viewing Streams in a Watershed Context. *Environmental Management*, v. 10, n. 2, p. 199-214, 1986.

FRYIRS, K.; BRIERLEY, G. J. *Geomorphic Analysis of River Systems. An Approach to Reading the Landscape*. Oxford: Blackwell, 2013.

FRYIRS, K.; BRIERLEY, G. J. Naturalness and Place in River Rehabilitation. *Ecology and Society*, v. 14, n. 1, p. 20, 2009.

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*, UK: v. 34, n.7, p. 897-918. 2009.

HACK, J. T. *Studies of longitudinal profiles in Virginia and Maryland*. U.S. Geological Survey Professional Paper 294-B, Washington DC, 1957.

HOOKE, J. Coarse Sediment Connectivity in River Channel Systems: a Conceptual Framework And Methodology. *Geomorphology*, v. 56, n. 1-2, p. 79-94, 2003.

HORTON, R. E. *Erosional Development of Streams and their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology*. Geological Society of America Bulletin, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

KANJI, M.A.; MASSAD, F.; CRUZ P.T. Debris flows in areas of residual soils: occurrence and characteristics In: *International workshop on occurrence and mechanisms of flows in natural slopes and earthfills (iw-flows)*, 2, 2003, Sorrento. Proc... Sorrento: Associazione Geotecnica Italiana, p. 1–11, 2003.

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

KONDOLF, G.M.; MONTGOMERY, D.R.; PIEGÁY, H.; SCHMITT, L. Geomorphic Classification of Rivers and Streams. In: KONDOLF, G.M.; PIEGÁY, H. (Orgs.) Tools in Fluvial Geomorphology. John Wiley & Sons, Ltd. PP.171-204. p 696. 2003

KORUP, O.; MCSAVENEY, M. J.; DAVIES, T. R. H. Sediment generation and delivery from large historic landslides in the Southern Alps, New Zealand. Geomorphology, v. 61, p. 189-207, 2004.

LAKE, P. S. Disturbance, patchiness, and diversity in streams. Journal of the North American Benthological Society, v. 19, p. 573-46, 2000.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G.; River channel patterns: braided, meandering and straight. Professional paper 282-B, United States Geological Survey, Washington, DC, 1957

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. Fluvial Process in Geomorphology. San Francisco: W. F. Freeman and Co., 1964.

LIMA, P.H.M.; COUTINHO, B.H.; GOMES, G.B.; FERNANDES, M.C.; COELHO NETTO, A.L. Parâmetros morfométricos relacionados às bacias de 1º ordem e a ocorrência de deslizamentos rasos na bacia do córrego Dantas: Nova Friburgo – RJ. Revista Geonorte, Edição Especial 4, V.10, N.1, p.218 – 223, 2014.

LIMA, R. N. S.; MARÇAL, M. S. Avaliação da Condição Geomorfológica da Bacia do rio Macaé — RJ a partir da Metodologia de Classificação dos Estilos Fluviais. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 14, p. 171-179, 2013.

MARÇAL, M.S.; BRIERLEY, G.J.; LIMA, R. N. S.; Using geomorphic understanding of catchment-scale process relationships to support the management of river futures: Macae Basin, Brazil. Applied Geography. 84 23 – 41 2017.

MARÇAL, M.S.; LIMA, R. N. S.; Abordagens Conceituais Contemporâneas na Geomorfologia Fluvial. Espaço Aberto, PPGG - UFRJ, V. 6, N.1, p. 17-33, 2016.

MALHEIROS, M. “Homens da Fronteira” Índios e Capuchinhos na Ocupação dos Sertões do Leste do Paraíba ou Goytacazes, século XVIII e XIX,UFF, Niterói, p. 32. 2008.

MEIS, M.R.M.; XAVIER-DA SILVA, J. Considerações geomorfológicas a propósito dos movimentos de massa ocorridos no Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, v. 30, n. 1, p. 55-73, jan./mar. 1968.

MELO, R.; VAREJÃO, L.C.; DOURADO, F. Megadesastre’11 da Serra Fluminense: a corrida de massa do vale do Cuiabá, em Itaipava/Petrópolis, Análise preliminar dos condicionantes geológicos. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 13, 2011, São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE, 2011.

MORIN, E. O Método 1. A natureza da natureza. 3. ed. Porto Alegre: Sulina, 2013.

NICOLL, T. J.; HICKIN, E. J.; Planform geometry and channel migration of confined meandering rivers on the Canadian prairies. Geomorphology 116 (1–2), 37–47, 2010.

OLIVEIRA, F.L.; MELLO, E.F. A Mineração de Areia e os Impactos Ambientais na Bacia do Rio São João, RJ. Revista Brasileira de Geociências. São Paulo: v.2, n.37, p. 374-389. 2007.

PETTS, G.E. y AMOROS, C. (coord) (1996): Fluvial hydrosystems. London, Chapman & Hall Ltd, 322 pp.

PIÉGAY, H.; KONDOLF, M.; MINEAR, T.; VAUDOR, L. Trends in Publications in Fluvial Geomorphology Over Two Decades: A Truly New Era in the Discipline Owing to Recent Technological Revolution? Geomorphology, v. 248, p. 489-500, 2015.

PIÉGAY, H.; SCHUMM, S. A. System approaches in fluvial geomorphology. In: Kondolf, G.M., Piégay, H. (Eds.), Tools in Fluvial Geomorphology. Wiley, Chichester, UK, pp. 105–134, 2003.

PINHO, G.M.; FRANCISCO, C.N.; SALGADO, C.M.; Análise espacial dos movimentos de massa em Nova Friburgo/RJ: O caso do desastre natural de Janeiro de 2011. Revista Tamoios, São Gonçalo (RJ), ano 9, n.1, p. 16- 27, jan/jun. 2013.

PINTO, R.W.P.; FREITAS, M.M. Considerações a respeito dos movimentos de massa ocorridos em janeiro de 2011 na bacia do córrego Dantas, Nova Friburgo. – RJ GeoPUC – Revista do Departamento de Geografia da PUC – Rio, Rio de Janeiro, v. 5, n. 9, p. 79-96, 2012.

POOLE G. C. Fluvial Landscape Ecology: Addressing Uniqueness Within the River Discontinuous. *Freshwater Biology*, v. 47, p. 641-660, 2002.

RODRIGUES, J.; TUPINAMBÁ, M.; AMARAL, C. A corrida de massa do rio Vieira em Teresópolis, sudeste do Brasil: caracterização da área fonte dos sedimentos transportados. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, Rio de Janeiro, v. 35, n. 2, p. 152-164, 2012.

ROSGEN, D. L. A classification of natural rivers. *Catena*, v.22, p.169-199, 1994.

SCHEFFER, M. S.; CARPENTER, J. A.; FOLEY, C. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*, n. 413, p. 591-96, 2001.

SCHUMM, S. A., River Metamorphosis. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers. Journal of the Hydraulics Division*, v. 95, p. 255-273, 1969.

SCHUMM, S.A. *The fluvial System*. Chichester, UK: John Wiley and Sons, 338p. 1977.

SCHUMM, S. A., *Geomorphic Thresholds and Complex Response of Drainage Systems*. In: MORISAWA, M. (Ed.). *Fluvial Geomorphology*. Nova York: SUNY Binghamton Publications in Geomorphology, 1973

SCHUMM, S.A. Patterns of alluvial rivers. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 13, 5–27, 1985

SCHUMM, S. A.; LICHTY, R W. Time, Space and Causality in Geomorphology. *American Journal of Science*, v. 263, p. 110-119, 1965.

SIMON, A.; CASTRO, J. Measurement and Analysis of Alluvial Channel Form. In: KONDOLF, G. M.; PIÉGAY, H. *Tools in Fluvial Geomorphology*. John Wiley & Sons Ltda, 2003, 322p.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (Area-Altitude) — Analysis of Erosional Topography. Geological Society of America Bulletin, v. 63, n. 10, p. 1117-1142, 1952.

WHEATON, J.M.; FRYIRS, K.A.; BRIERLEY, G.; BANGEN, S.G.; BOUWES, N.; O'BRIEN, G.; Geomorphic mapping and taxonomy of fluvial landforms. Geomorphology 248, 273-295, 2015.

WOHL, E. Time and the Rivers Flowing: Fluvial Geomorphology Since 1960. Geomorphology, v. 216, p. 263-282, 2014.

WOLMAN, M. G.; LEOPOLD, L. B. River Flood Plains: Some Observations on Their Formation. U.S. Geological Survey Professional Paper 282C. U.S. Government Printing Office, Washington, DC, p. 87-109, 1957.

WOLMAN, M. G.; GERSON, R. Relative Scales of Time and Effectiveness of Climate in Watershed Geomorphology. Earth Surface Processes and Landforms, v. 3, p. 189-208, 1978.

WU, J. G.; LOUCKS, O. L. From Balance of Nature to Hierarchical Patch Dynamics: a Paradigm Shift in Ecology. Quarterly Review of Biology, v. 70, n. 4, p. 439-466, 1995.