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

DINÂMICA HIDROSSEDIMENTOLÓGICA E PADRÕES DE CONECTIVIDADE NO RIO MACAÉ (RJ)

PILAR AMADEU DE SOUZA

Orientadora: Profa. Dra. Mônica dos Santos Marçal

RIO DE JANEIRO MARÇO 2013 SOUZA, Pilar Amadeu de

Dinâmica Hidrossedimentológica e Padrões de Conectividade no rio Macaé (RJ). Pilar Amadeu de Souza – Rio de Janeiro: UFRJ / IGEO / PPGG, 2013, 111 p.

Mestrado em Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG), Instituto de Geociências (IGEO/UFRJ), 2013.

Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro / PPGG, 2013.

1. Dinâmica Hidrossedimentológica; 2. Conectividade da Paisagem; 3. Bacia do rio Macaé.

I. UFRJ/ IGEO/ PPGG

II. Título (série)

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

DINÂMICA HIDROSSEDIMENTOLÓGICA E PADRÕES DE CONECTIVIDADE NO RIO MACAÉ (RJ)

PILAR AMADEU DE SOUZA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGG/UFRJ) como requisito obrigatório para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.).

APROVADO POR:

Profa. Dra. Mônica dos Santos Marçal (Dptº Geografia/UFRJ) – Orientadora

Prof. Dr. Jorge Soares Marques – UERJ (Avaliador)

Profa. Dra. Telma Mendes da Silva – UFRJ (Avaliadora)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a minha orientadora Mônica dos Santos Marçal pela disponibilidade, colaboração, conhecimentos transmitidos, paciência e capacidade de estímulo ao longo de toda a pesquisa.

Gostaria de agradecer, também, ao grupo de pesquisa do LAGESOLOS/UFRJ, desde os mais pesquisadores mais novos (Lucas Leal Costa, Juliana Cabral Sessa), como também os mais antigos (Raphael Lima, Guilherme Hissa), que, de alguma forma, foram fundamentais para a realização do trabalho em questão.

Agradeço aos meus pais que sempre me incentivaram a alcançar meus objetivos e que foram os responsáveis pelo meu crescimento pessoal e profissional durante toda a minha vida.

Como também, agradeço a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), responsável pelo fornecimento da bolsa de estudos, na qual propiciou melhor desenvolvimento da pesquisa, com realização de trabalhos de campo e apresentação de trabalhos em encontros e congressos.

DINÂMICA HIDROSSEDIMENTOLÓGICA E PADRÕES DE CONECTIVIDADE NO RIO MACAÉ (RJ)

PILAR AMADEU DE SOUZA

Orientadora: Dra. Mônica dos Santos Marçal

RESUMO

A conectividade de paisagens é definida como a transferência de matéria e energia entre diferentes compartimentos de um sistema ambiental e constitui em um conceito fundamental a ser trabalhado quando se trata da compreensão sobre a dinâmica de relações entre os seus componentes. A pesquisa tem como objetivo analisar as características geomorfológicas e hidrossedimentológicas do rio Macaé e avaliar o comportamento e a distribuição do fluxo de sedimentos identificando a eficiência do sistema hidrológico, para estabelecer padrões de conectividades (entre e intra) ambientes fluviais. A Bacia do rio Macaé que está localizada na Região Norte Fluminense e possui cerca de 1.765 km². A intensa ocupação desordenada aliada a uma gestão ambiental pouco eficiente na região tem transformado de forma significativa a qualidade funcional das paisagens, sobretudo os ambientes fluviais. A metodologia da pesquisa envolveu análises geomorfológicas, morfométricas, hidrossedimentológicas e mapeamentos multi-temporais do canal Macaé, na escala de 1:10.000, a partir de imagens do Google Earth referentes aos anos de 2003, 2006 e 2010. Os resultados obtidos através da integração dos dados identificaram quatros trechos fluviais com características e comportamento geomorfológico e hidrossedimentologico semelhantes, cujos limites são semelhantes à divisão da compartimentação do alto, médio e baixo curso da bacia. Os trechos fluviais identificados (I,II,III e IV) são referentes à transferência de sedimentos fluviais que se diferenciam no que diz respeito ao tipo de material transportado, em sedimentos de carga de fundo e em suspensão, e feições geomorfológicas erosivas e deposicionais de dentro do canal. Com base nessas informações foram avaliados os diferentes tipos de padrões de conectividade longitudinal, conforme a proposta apresentada por Hooke (2003), em sistemas: conectado, potencialmente conectado e parcialmente conectado. Observou-se que embora o rio Macaé apresente ao longo do seu percurso diferentes comportamentos em relação às características geomorfológicas e hidrossedimentológicas é um rio que apresenta eficiência na transferência de sedimentos através de seu fluxo, correspondendo a um canal fluvial com boa conectividade entre seus sub-trechos. Ressalta-se que a investigação da conectividade longitudinal entre os subambientes fluviais de um rio pode contribuir para a avaliação de respostas a novos ajustes impostos ao sistema fluvial, assim como compreender a funcionalidade do sistema em diferentes partes do mesmo, frente à intensificação de distúrbios naturais e antrópicos.

DINÂMICA HIDROSSEDIMENTOLÓGICA E PADRÕES DE CONECTIVIDADE NO RIO MACAÉ (RJ)

PILAR AMADEU DE SOUZA

Orientadora: Dra. Mônica dos Santos Marçal

ABSTRACT

Landscape connectivity is defined as the transfer of matter and energy between different compartments of environmental system and constitutes a fundamental concept to be worked when it comes to the understanding of the dynamics of relationships among its the geomorphologic and components. The research aims to analyze hidrossedimentológicas characteristics of Macaé River and assessment the behavior and distribution of sediment flow identifying hydrological system efficiency, to establish patterns of connectivity (between and intra) fluvial environments. Macaé catchment is located in the northern region of Rio de Janeiro and has approximately 1,765 km². The intense occupation added to a environmental inefficient management in the region has significantly transformed the functional quality of the landscapes, especially the river environments. The research methodology involved geomorphologic, morphometric and hidrossedimentológicas analyses; channel mapping in the scale of 1: 10,000 at different time scales channel from Google Earth for the years 2003, 2006 and 2010. The results obtained through the integration of the data identified four fluvial sections with behavior and characteristics geomorphological and similar hydrosedimentological, whose boundaries are similar to the division of the subdivision of high, middle and lower course of the river basin. The fluvial sections identified (I, II, III and IV) are related to the transfer of fluvial sediments which differ with regard to the type of transported material, sediment load and suspended sediments, and geomorphological features of depositional and erosional within the channel. Based on this information we assessment the different types of longitudinal connectivity patterns according to the proposal presented by Hooke (2003): connected systems, potentially connected and partially connected. Furthermore, it was observed that although the Macaé River shows different behaviors in relation to geomorphological and hidrossedimentological characteristics, it is a river that offers efficiency in sediment transfer through your stream, corresponding to a river channel with good connectivity between their sections. It should be noted that longitudinal connectivity between the fluvial sections can the investigation of contribute to the evaluation of responses to new adjustments to the river system, as well as understand the functionality of the system in different parts of the same, the intensification of natural and anthropic disturbances.

SUMÁRIO:

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS DA PESQUISA:	4
2.1. Objetivo Geral	4
2.1. Objetivos Específicos	4
3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E AMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO	5
3.1. Dinâmica Climática e Características Regionais	5
3.2. Contexto Geológico, Geomorfológico e Pedológico	7
3.3. Histórico de uso e ocupação	14
4. EMBASAMENTO TEÓRICO	17
4.1. Conectividade e Sensibilidade da paisagem em bacias hidrográficas	17
4.2. Estudos Hidrossedimentológicos em bacias hidrográficas	25
4.3. Métodos e Técnicas de análise em Hidrossedimentologia	31
5. METODOLOGIA	34
5.1. Caracterização Geomorfológica e Hidrossedimentológica	38
5.1.1. Caracterização Geomorfológica	38
5.1.2. Caracterização Hidrossedimentológica	40
5.1.2.1. Características Hidrológicas	40
5.1.2.2. Características Sedimentológicas	43
5.2. Mapeamento da distribuição espaço-temporal das feições deposicionais	44
5.3. Setorização e Padrões de Conectividade Longitudinal entre os	
trechos fluviais	45
6. RESULTADOS E DISCUSSOES	47
6.1. Caracterização Geomorfológica e Hidrossedimentológica	47
6.1.1. Caracterização Geomorfologica	4/
6.1.1.1. Morfologia do canal	4/
6.1.1.2. Elementos da organização da rede de drenagem e Aspectos do relevo	51
6.1.1.3. Características Morfométricas	56
6.1.2. Caracterização Hidrossedimentológica	60
6.1.2.1 Características e comportamento Hidrológico	60
6.1.2.2 Características e comportamento Sedimentológico	65
6.2. Mapeamento da distribuição espaço-temporal das feições deposicionais	69
6.3. Setorização e Padrões de Conectividade Longitudinal do rio Macaé	80
6.3.1 – Setorização do Rio Macaé	80
6.3.2 - Padrões de Conectividade Longitudinal do rio Macaé	95
6.4. Estabelecimento dos padrões de conectividade como subsídio ao	
planejamento ambiental da Bacia do rio Macaé	100
7. CONCLUSÕES	103
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105

LISTA DE FIGURAS:

Figura 1: Mapa de localização da Bacia do rio Macaé (RJ).	_
Fonte: LAGESOLOS/UFRJ	3
Figura 2: Mapas dos totais pluviométricos acumulados de verão e inverno de 2007 na	a
Bacia do fio Macae.	6
Fonte: Nascimento, 2010.	0
Figura 5: Granco de distribuição de chuvas para a Estação Galdinopolis.	7
Fonte: ANA (Agencia Nacional de Aguas).	/
Figura 4. Mapa Ocologico da Dacia do no Macae.	10
Fonte. CFRM, 2012. Figura 5: Mana de Compartimentação Geomorfológica da Bacia do rio Macaé	10
Figura 5. Mapa de Compartimentação Geomorrologica da Dacia do no Macae. Fonte: Modificado de Silva (2002)	11
Figura 6: Mapa de solos da Bacia do rio Macaé	11
Fonte: Filho <i>et a</i> l 2000	14
Figura 7 . Esquema de escalas da conectividade da paisagem dentro de uma Bacia	11
Hidrográfica	
Fonte: Traduzido de Brierley <i>et al.</i> (2005)	18
Figura 8: Sistema hidrográfico	10
Fonte: Adaptado de Roux (1993) apud Peigav & Schumm (2003)	19
Figura 9. Relação entre sensibilidade espacial e temporal da paisagem com a	17
conectividade construida da mesma	
Fonte: Traduzido de Thomas (2001)	22
Figura 10: Esquema que representa a movimentação de materiais em encostas e que	
tendem a atingir áreas próximas como os canais fluviais	
Fonte: Traduzido de Thomas (2001)	23
Figura 11: Esquema representativo a (des)conectividade intracompartimento (encost	25 a-
canal) com a presenca de planícies e/ou terracos fluviais	u
Fonte: Traduzido de Jain & Tandon (2010)	24
Figura 12: Relação hipotética da transferência de sedimentos grosseiros dentro de un	 n
canal fluvial.	
Fonte: Traduzido de Hooke (2003).	25
Figura 13: Bacia hidrográfica e o relacionamento com a produção de sedimentos.	_
Fonte: Modificado de Schumm (1977).	27
Figura 14: Classificação dos tipos de carga de sedimentos fluviais e tipos de	
transportes.	
Fonte: Modificado de Morris e Fan (1997).	28
Figura 15: Tipos de transporte de sedimento fluvial e zonas de amostragens.	
Fonte: Morris e Fan (1997).	29
Figura 16: Distribuições verticais teóricas dos sedimentos no curso fluvial em função	С
da granulometria.	
Fonte: Morris e Fan (1997).	29
Figura 17: Diagrama da distribuição da velocidade, da concentração de sedimento e	da
descarga sólida na seção transversal no curso de água.	
Fonte: Carvalho (1994).	30
Figura 18: Esquematização da metodologia da pesquisa.	35
Figura 19: Mapa de localização dos pontos de monitoramento das seções transversais	s e
dados hidrossedimentológicos dentro da Bacia do rio Macaé (RJ).	
Fonte: LAGESOLOS/UFRJ.	36
Figura 20: Linha do tempo e espacialização na coleta dos sedimentos ao longo do car	nal
do rio Macaé.	

Fonte: LAGESOLOS.	37
Figura 21: Mapa de Localização das Estações Pluviométricas e Fluviométricas na	
Bacia do rio Macaé/RJ.	
Fonte: ANA (Agência Nacional das Águas). Elaborado por: Nascimento, 2010.	41
Figura 22: Seções transversais ao canal Macaé: A- à jusante do rio Bonito; B- à jusa	ante
do rio Sana; C- à jusante do rio D'antas; D- à jusante do rio São Pedro.	50
Figura 23: Mapa hidrográfico da Bacia do rio Macaé, com identificação dos padrõe	s de
drenagens e dos três sub-domínios.	53
Figura 24: Mapa Altmétrico da Bacia do rio Macaé e dos três sub-domínios.	54
Figura 25: Mapa de Declividade da Bacia do rio Macaé e dos três sub-domínios. Figura 26: Perfil Longitudinal do rio Macaé e com informações de tipologia da	55
geologia, tipo de leitos e localização dos pontos de monitoramento da pesquisa.	59
Figura 27: Gráfico da distribuição temporal da pluviosidade média anual com a vaz	ão
média anual da Estação Galdinópolis.	
Fonte: ANA (Agência Nacional de Águas).	61
Figura 28: Gráficos de distribuição temporal das chuvas e das vazões mensais dura	nte o
período de 2000 a 2010 da Estação Galdinópolis.	
Fonte: ANA (Agência Nacional de Águas).	62
Figura 29: Gráfico da distribuição temporal da pluviosidade média anual da Estação	C
Fazenda Oratório para a série de 42 anos.	
Fonte: ANA (Agência Nacional de Águas).	63
Figura 30: Gráfico da distribuição temporal das chuvas mensais da Estação Fazenda	a
Oratório para os 10 últimos anos de análise.	
Fonte: ANA (Agência Nacional de Águas).	64
Figura 31: Análises em sedimentos fluviais do canal Macaé: Análise Granulométric	ca;
Grau de Arredondamento; Sedimentos em suspensão de todos os pontos de	
monitoramentos da pesquisa.	68
Figura 32: Blocos rochosos dispostos em diferentes posições no canal Macaé em	
diferentes períodos de observação.	
Fonte Google Earth dos anos de 2006 e 2010.	73
Figura 33: Ilhas fluviais vegetadas de diferentes tamanhos presente no canal Macaé	•
Fonte: Google Earth dos anos de 2003, 2006 e 2010.	74
Figura 34: Sequências de Barras arenosas no inicio do médio curso do rio Macaé.	
Fonte: Imagens do Google Earth nos anos de 2003, 2006 e 2010.	76
Figura 35: Sequências de Barras arenosas no final do médio curso do rio Macaé.	
Fonte: Imagens do Google Earth nos anos de 2003, 2006 e 2010.	77
Figura 36: Oscilação de barras arenosas no início do baixo curso do canal Macaé.	
Fonte: Imagens do Google Earth nos anos de 2003, 2006 e 2010.	78
Figura 37: Oscilação de barras arenosas no final do baixo curso do canal Macaé.	
Fonte: Imagens do Google Earth nos anos de 2003, 2006 e 2010.	79
Figura 38: Mapa de setorização dos trechos fluviais identificados no rio Macaé.	81
Figura 39: (A) Canal bem confinado com blocos rochosos dispostos em diferentes	
posições; (B) Matacões e Blocos rochosos dentro do canal Macaé.	
Foto: LAGESOLOS/UFRJ.	82
Figura 40: TRECHO FLUVIAL I - (A) Imagem do <i>Google Earth</i> de 2003, 2006 e	
2010, com destaque para os blocos rochosos; (B) Localização do Trecho Fluvial I no)
pertil longitudinal do rio Macaé; (C) Gráfico com série histórica da relação entre	~ •
pluviosidade e vazão referente à Estação Galdinópolis.	83
Figura 41: Deslizamento de terra em uma encosta conectada direamente ao canal	~ .
Macaé, em três tempos: 2003, 2006 e 2010. Fonte: Imagem do Google Earth.	84

Figura 42: Parte do canal após o encontro o rio Sana: (A) Ilhas vegetadas; (B) blocos rochosos margeando as ilhas fluviais vegetadas. Foto:LAGESOLOS/UFRJ. 86

Figura 43: TRECHO FLUVIAL II- (A) Imagem do *Google Earth* de 2003, 2006 e 2010, com destaque para as ilhas vegetadas; (B) Localização do Trecho Fluvial II no perfil longitudinal do rio Macaé; (C) Gráfico com série histórica da relação entre pluviosidade e vazão referente à Estação Galdinópolis. 87

Figura 44: (A) Médio curso, vales abertos e canal Macaé sinuoso; (B) confluência com o rio D'antas e o delta fluvial.

Foto:Autor: LAGESOLOS/UFRJ.

Figura 45: TRECHO FLUVIAL III- (A) Imagem do *Google Earth* de 2003, 2006 e 2010, com destaque para as barras arenosas; (B) Localização do Trecho Fluvial III no perfil longitudinal do rio Macaé; (C) Gráfico com série histórica da relação entre pluviosidade e vazão referente à Estação Galdinópolis. 90

Figura 46: TRECHO FLUVIAL III- (A) Imagem do *Google Earth* de 2003, 2006 e 2010, com destaque para as barras arenosas; (B) Localização do Trecho Fluvial III no perfil longitudinal do rio Macaé; (C) Gráfico com série histórica da relação entre pluviosidade e vazão referente à Estação Galdinópolis. 91

Figura 47: Baixo curso do rio Macaé, marcado pela retificação e por amplas planícies aluviais.

Foto: LAGESOLOS/UFRJ.

92

89

Figura 48: TRECHO FLUVIAL IVI- (A) Imagem do Google Earth de 2003, 2006 e2010, com destaque para as barras submersas; (B) Localização do Trecho Fluvial IV noperfil longitudinal do rio Macaé; (C) Gráfico com série histórica da relação entrepluviosidade e vazão referente à Estação Fazenda Oratório.93

Figura 49: TRECHO FLUVIAL IV- (A) Imagem do *Google Earth* de 2003, 2006 e de 2010, com destaque para as feições fluviais. (B) Localização do Trecho Fluvial IV no perfil longitudinal. (C) Gráfico com série histórica da relação entre pluviosidade e vazão referente à Estação Fazenda Oratório. 94

Figura 50: Mapa da Bacia do rio Macaé apresentando a individualização de TrechosFluviais e seus padrões de conectividades longitudinais.99

LISTA DE TABELAS:

Tabela 1: Parâmetros morfométricos calculados para as sub-bacias do rio Macaé.	
Fonte: Villas Boas <i>et al.</i> , 2010.	13
Tabela 2: Exemplos de Impedimentos da Paisagem.	
Fonte: Traduzido de Fryirs et al. (2007).	20
Tabela 3: Métodos de medição da carga sólida em suspensão e de fundo.	
Fonte: Adaptado de Carvalho (1994); Beverger & King (1995).	32
Tabela 4: Estações Pluviométricas selecionadas.	
Fonte: Hidroweb-ANA (Agência Nacional de Águas).	41
Tabela 5: Estações Pluvio-Fluviométricas selecionadas.	
Fonte: Hidroweb-ANA(Agência Nacional de Águas).	42
Tabela 6: Parâmetros morfométricos calculados para as diferentes partes do rio M	acaé:
alto, médio e baixo cursos.	58
Tabela 7: Tabela de dados de vazão coletados em trabalho de campo (out. 2007 a r	nar.
2010).	63
Tabela 8: Dados hidrológicos com coeficientes médios de variabilidade de vazões	para
o rio Macaé dentro do período de 1951 a 2010.	
Fonte: ANA (Agência Nacional de Águas).	64
Tabela 9: Feições Deposicionais dentro do canal Macaé.	70
Tabela 10: Feições Deposicionais na margem do canal Macaé.	71
Tabela 11: Principais características físicas, morfométricas e padrões de conectivi	dade
longitudinal para os quatro trechos fluviais identificados no canal Macaé.	98
Tabela 12: Tabela esquemática de estudo para um possível planejamento ambient	al da
Bacia do rio Macaé.	102

1. INTRODUÇÃO:

Muitos estudos científicos que tratam de assuntos relacionados com a Geomorfologia Fluvial e a Evolução da Paisagem vêm aumentando consideravelmente em função da crescente preocupação com as condições naturais dos ambientes físicos e seus ajustes frente às perturbações causadas pelo homem (Leopold *et al.*, 1964; Chorley & Kennedy, 1971; Schumm, 1981; Brunsden, 2001; Harvey, 2001; Thomas, 2001; Hilu, 2003; Hooke, 2003; Brierley *et al.*, 2005; Fryirs *et al.*, 2007, dentre outros).

Especialistas que trabalham com questões relacionadas à hidrossedimentologia e com o conceito de conectividade da paisagem também ganham destaque por englobarem estudos vinculados à compreensão do funcionamento integrado de sistemas fluviais, assim como das dinâmicas de produção, transporte e deposição de seus sedimentos (Thomas, 2001; Hooke, 2003; Fryirs *et al*, 2007).

Dessa maneira, o conhecimento a respeito do comportamento das inter-relações entre ambientes, presentes em um sistema, vem sendo considerado como um tipo de investigação de previsão dos efeitos das mudanças ambientais, avaliação das implicações da sensibilidade da paisagem, dentre outras. Os diferentes tipos de respostas a um distúrbio passam a ser resultante das novas ligações estabelecidas no sistema propiciando que instabilidades sejam propagadas por *feedbacks* durante vários eventos, modificando o equilíbrio presente do sistema (Brunsden, 2001; Thomas, 2001).

Assim, cada setor da paisagem passa a ter capacidade de resposta específica às mudanças, desencadeando processos em um determinado local da bacia e ajustes em outros setores. Dessa maneira, o entendimento da (des) conectividade entre compartimentos de um sistema passa a ser um importante indicador de possíveis (des) ajustes internos de sistemas (Chorley & Kennedy, 1971; Thomas, 2001; Brierley *et al.*, 2005).

Na mesma medida, é importante reconhecer que nos últimos anos, os problemas ambientais, relacionados aos sistemas fluviais, têm sido recorrentes, devido às inúmeras intervenções de grande parte das sociedades. Estas vêm interferindo nas condições do meio ambiente, criando novas situações ao construir e reordenar espaços físicos, seja pela intensa utilização dos recursos hídricos, usos do solo de maneira inadequada, criação de cidades, etc. Atividades como desmatamento em matas ciliares e em encostas, também vem favorecendo o aumento da produção e entrada de sedimentos dentro dos canais, gerando conseqüentes assoreamentos e prejudicando a qualidade da água como também a passagem contínua de fluxo dos sedimentos (Hilu, 2003).

Este quadro de interferências antrópicas configura o histórico de ocupação de grande parte das bacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro, muitas das quais vem passando pelo agravamento de processos erosivos devido à perda de cobertura vegetal em encostas e matas ciliares, propiciando o aumento de grandes quantidades de sedimentos em suas redes de drenagem, com efeitos negativos na morfologia dos rios e estabilidade dos canais.

Esta pesquisa foi realizada na área da Bacia do rio Macaé que está localizada na Região Norte Fluminense, possui cerca de 1765km² e engloba área de cinco municípios: do Município de Macaé (82%), e parcelas dos Municípios de Nova Friburgo (142 Km²), onde estão localizadas as nascentes, além de Casimiro de Abreu (83 km²), Rio das Ostras (11 km²), Conceição de Macabu (70 km²) e Carapebus (11 km²) (Figura 1).

A ocupação desordenada que vem se desenvolvendo nas áreas da Bacia do rio Macaé, com diversos impactos diretos (modificações diretas no canal, como retificações e represamentos) e indiretos (atividades humanas realizadas fora da área dos canais, mas que modificam o comportamento dos rios) é resultante de décadas de uma gestão ambiental pouco eficiente e que vem transformando significativamente a qualidade funcional de seus diversos ambientes (Marçal & Luz, 2003; Assumpção & Marçal, 2012).

Sob essa perspectiva, a presente pesquisa buscou avaliar a dinâmica da transferência dos sedimentos fluviais e seus possíveis padrões de conectividade ao longo do rio Macaé. Considera-se que o entendimento das relações entre seus ambientes fluviais poderá contribuir para a elaboração de metodologias sustentáveis e para o planejamento e gestão da bacia hidrográfica em questão.



Figura 1: Mapa de localização da Bacia do rio Macaé (RJ). Fonte: LAGESOLOS/UFRJ.

2. OBJETIVOS DA PESQUISA:

2.1 Objetivo Geral:

Analisar as características geomorfológicas e hidrossedimentológicas do rio Macaé e avaliar o comportamento e a distribuição do fluxo de sedimentos identificando a eficiência do sistema hidrológico, para estabelecer padrões de conectividades (inter e intra) trechos fluviais.

O conhecimento de como se articula a transferência de sedimentos fluviais dentro do rio Macaé poderá contribuir com metodologias sustentáveis e melhor planejamento e gestão dos recursos hídricos da região, possibilitando a continuidade do aproveitamento dos recursos naturais existentes.

2.2 Objetivos Específicos:

Os objetivos específicos da pesquisa a serem alcançados são:

1. Caracterização dos principais processos geomorfológicos e hidrossedimentológicos, levando-se em consideração as interações entre os rios tributários e as interferências antrópicas.

2. Análise da transferência e distribuição dos fluxos de sedimentos no rio Macaé, tendo como base a setorização do canal Macaé.

3. Estabelecer padrões de conectividades longitudinais, a cerca da transferência dos fluxos de sedimentos.

4. Contribuir com informações relevantes ao manejo do rio Macaé e, sobretudo, ao planejamento ambiental da Bacia do rio Macaé.

3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E AMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO:

3.1. Dinâmica Climática e Características Regionais:

A Região Sudeste do Brasil, de acordo com a classificação de Köppen é caracterizada pelo Clima Tropical Úmido (Ao), com chuvas intensas no verão e no outono, com temperaturas médias anuais acima de 18°C e inverno seco. Além disso, este clima abrange parte do litoral e a Região Norte/Noroeste do Rio de Janeiro, litoral capixaba, oeste paulista e parte de Minas Gerais. Já a Região Serrana é classificada como Clima Tropical de Altitude (Aw), onde os meses mais chuvosos ocorrem durante a primavera e o verão (novembro a março), e os de estiagem ocorrem durante o outono e o inverno (abril a outubro). Nesse tipo de clima, a precipitação média é maior, pois o relevo condiciona a ocorrência de chuvas convectivas, apresentando médias de 1.500 e 2.000 mm/ano (CAL, 2006).

De acordo com Nascimento (2010) a área da Bacia do rio Macaé é caracterizada pelo predomínio de um regime pluvial com duas sazonalidades bem marcadas: o período de inverno marcado por épocas menos chuvosas e o período de verão caracterizado pelas maiores médias pluviométricas na bacia. Essa variabilidade é vista na Figura 2, onde mostra que para o ano de 2007, choveu cerca de 330mm no alto curso e 50mm no baixo curso, enquanto que no verão, a pluviosidade chegou a 1100mm no alto curso e a 100mm no baixo curso.

Além desta distribuição desigual da chuva, em função, principalmente, da presença da Serra do Mar, dados hidrológicos referentes ao monitoramento realizado pela ANA (Agência Nacional de Águas) mostram que o comportamento pluviométrico da Bacia do rio Macaé, durante os últimos 10 anos (2000 a 2010), vem sendo semelhante, com poucos picos de chuva. Os anos de 2005, 2007, 2008 e 2009 foram os últimos anos a terem maiores concentrações de chuva, enquanto que os anos de 2001 e de 2003 registraram as menores pluviosidades (Figura 3).

A variação mensal e anual da pluviosidade constitui-se um fator primordial para compreender as mudanças na geometria do canal e a capacidade de transferência de sedimentos, assim como mudanças na forma de suas feições.





Figura 2: Mapas dos totais pluviométricos acumulados de verão e inverno de 2007 na Bacia do rio Macaé. Fonte: Nascimento, 2010.



Figura 3: Gráfico de distribuição de chuvas para a Estação Galdinópolis. Fonte: ANA (Agência Nacional de Águas).

3.2. Contexto Geológico, Geomorfológico e Pedológico:

A área da Bacia do rio Macaé enquadra-se nos grandes lineamentos e fraturamentos do Estado do Rio de Janeiro, dentro do contexto geológico da Serra do Mar, na qual apresenta sua evolução vinculada à última configuração associada à separação dos continentes sul-americanos e africanos (Hasui, 1990).

Com a movimentação tectônica, o cinturão do Atlântico passou, por pelo menos, três fases de dobramentos acompanhados de metamorfismo e intrusões alternados por longas fases erosivas, gerando uma série de falhamentos normais e de cavalgamento, que produziram os maciços costeiros, as escarpas serranas, como as Serras do Mar e da Mantiqueira (Asmus & Ferrari, 1978).

As fraturas e falhas geradas, com predomínio da direção E-NE e a dureza das rochas, na maior parte metamórfica e ígnea, de idade Cambriana, tiveram um importante papel para o desenvolvimento da rede de drenagem na bacia, pois refletem, hoje, o forte controle estrutural à que esteve submetida, principalmente nas áreas centrais da bacia, onde são verificados vales mais estreitos, formados pelo entalhamento do rio além de um relevo bem escarpado e inúmeras presenças de afloramentos rochosos (Costa *et al.*, 1982).

De acordo com o último mapeamento realizado para o Estado do Rio de Janeiro em 2012, pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, na escala de 1:100.000, há o predomínio na área da Bacia do rio Macaé das unidades São Fidélis, Complexo Região dos Lagos, Suíte Desengano e pelo Granito Sana no alto/médio curso. Já na área do baixo curso há maior predominância dos afloramentos Terciários do Grupo Barreiras de idade Plio-Pleistocênica e os sedimentos quaternários, que também ocorrem em alguns trechos da baixada do rio Macaé (Figura 4).

São Fidélis é uma unidade constituída essencialmente por metassedimentos detríticos, pelito-grauvaqueanos: granada-biotita-(sillimanita), gnaisses quartzo-feldspáticos (metagrauvacas), com ocorrência generalizada de bolsões e veios de leucossomas graníticos derivados de fusão parcial in situ e injeções. Os paragnaisses quartzo-feldspáticos são compostos predominantemente de quartzo, feldspato (plagioclásio) e biotita, com percentagens variadas de granada.

O Complexo Região dos Lagos é constituído de ortognaisses paleoproterozóicos, rochas ortoderivadas, os principais tipos litológicos em ordem de abundância são os granitóides de composição granítica, granodioritica, tolalítica, os migmatitos homogêneos e heterogêneos, além de rochas granulíticas. A sua maior área de ocorrência é ao sul do rio Macaé, quando alcançam a orla litorânea formam costões rochosos e constituem também o embasamento das ilhas de Santana, Ilha do Francês e Ilhote Sul.

O Complexo Paraíba do Sul é constituído por rochas supracrustais metamorfizadas na fácies anfibolito, meso a neoproterozóicas, além de uma seqüência metassedimentar, com a presença de rochas ígneas e metamórficas do Pré-Cambriano e corresponde à mais extensa unidade geológica presente na bacia.

O Complexo Búzios é formado por rochas supracrustais meso a neoproterozóicas, formadas em ambiente sedimentar de fundo oceânico, além de paragnaisses identificados por três associações litológicas: metapelítica, calcissilicática e anfibolítica. A sequência supracrustal foi metamorfisada e deformada pela Orogênese Búzios entre o Cambriano e o Ordoviciano (Schmitt, 2001). Está presente nas áreas de baixadas da bacia do rio Macaé.

A Suíte Desengano é caracterizada por rochas metamórficas pré-cambrianas, onde a mineralogia é vista pela presença de quartzo, plagioclásio, ortoclásio/microclina, biotita e granada e aparecem, com baixa expressividade, ao norte e centro da bacia.

O Granito Sana é caracterizado por granitóide predominantemente leucocrático datado do Pré-Cambriano Superior que possui coloração cinza clara esbranquiçada a branca, granulação fina a média e textura microfanerítica, com a presença de biotita e muscovita e sillimanita e está presente no médio curso da Bacia Macaé. O Grupo Barreiras é constituído de três unidades: areias grossas conglomeráticas, com matriz caulinítica e estruturas de estratificação cruzada planar na base do pacote, uma unidade intermediária composta de interlaminações de areias grossas quartzosas com matriz areno-argilosa e no topo do pacote um nível de argilas de cores vermelha e branca (Ferrari *et al.*, 1981).

Os sedimentos Quaternários são vistos pelos depósitos Colúvio-Aluvionares, depósitos Flúvio-Lagunares e depósitos praiais marinhos e/ou lagunares. As Coberturas Aluvionares são constituídas por camadas de areia fina a média de cor esbranquizada, relativamente bem drenadas nas áreas próximas a serra, adquirindo sedimentos mais finos em função da diminuição da energia das correntes e das inundações nas proximidades da foz do rio Macaé e São Pedro. As flúvio-lagunares correspondem a depósitos holocênicos lagunares, formados por sedimentos argilo-arenosos e argilosos orgânicos, mal drenados e parcialmente alagáveis que corresponde a paleo-lagunas colmatadas (Ferreira, 1999).

Já as coberturas marinhas possuem sedimentos arenosos de granulometria fina a média e cor geralmente branca em superfície, bem selecionada e bem drenada. Morfologicamente são praias quaternárias pleistocênicas referentes aos depósitos mais internos e extensos e as praias atuais holocênicas correspondem aos depósitos externos e estreitos (Ferreira, 1999).



Figura 4: Mapa Geológico da Bacia do rio Macaé. Fonte: CPRM, 2012.

No que diz respeito à configuração geomorfológica, Silva (2002) elaborou a compartimentação geomorfológica para o Estado do Rio de Janeiro na escala de 1:50.000. A Bacia do rio Macaé, dentro dessa classificação, apresenta 5 unidades morfoesculturais principais: Serras Escarpadas, Serras Locais ou Morfologia de Transição (200m – 400m) predominantemente no alto/médio curso; Colinas (20-100m) e os Morros (100-200m) localizados entre o médio/baixo curso; e Planícies Fluviais e Flúvio-Marinhas, (0-20m) nas partes baixas da bacia, com o vale fluvial bem amplo, caracterizando ambientes de deposição por sedimentos do período Quaternário (Figura 5).

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



Figura 5: Mapa de Compartimentação Geomorfológica da Bacia do rio Macaé. Fonte: Modificado de Silva (2002).

Dentro da caracterização geomorfológica, é importante ressaltar como se configuram as principais sub-bacias presentes na Bacia do rio Macaé, em termos de dados morfométricos. Segundo Tonello (2005) a aplicação e a interpretação dos parâmetros morfométricos de rede de drenagens são instrumentos de suma importância para a compreensão da evolução geomorfológica da região, suas dinâmicas de infiltração, quantidade de água produzida e escoamentos de água, dentre outros.

Dessa forma, os dados morfométricos apresentam-se como subsídios ao conhecimento da dinâmica hídrica das bacias, na medida em que explicitam os indicadores físicos e conseqüente o comportamento das mesmas. Dessa forma, podem contribuir de diferentes maneiras, em termos de fluxos d'água e sedimentos para o canal principal.

Assim, pode-se dizer que a Bacia do rio Macaé é classificada na escala de 1:50.000, a partir da metodologia de Strahler (1952), como uma bacia de sétima ordem, a partir da confluência do rio Macaé com o rio São Pedro, pela margem esquerda. Apresenta, também, grande concentração de canais de primeira ordem na margem esquerda do médio curso do rio Macaé, o que indica uma susceptibilidade à incisão nesta área, podendo estar diretamente relacionada, entre outros fatores, com propriedade do solo, geologia, à área da bacia e principalmente, com a declividade do terreno (Villas Boas *et al.*, 2010).

Em relação à configuração morfométrica das sub-bacias principais (rio Bonito, rio Sana, rio D'antas e rio São Pedro), apresentada na Tabela 1, todas possuem valores semelhantes de densidade de drenagens. Porém, a Bacia do rio Sana é a que apresenta o maior valor, podendo ter maior influencia no fornecimento e no transporte de material dendrítico para o rio Macaé.

Já os valores da forma (índice de circularidade) são bem semelhantes para a Bacia do Sana e a do São Pedro. Ambos os valores caracterizam-nas como bacias alongadas e favorecem processos de escoamentos mais lentos, se comparado à Bacia do rio D'antas, que tende a ser mais circular, favorecendo escoamentos mais rápidos e conseqüentemente, processos de inundações (cheias rápidas).

O gradiente do canal também influencia em termos de dinâmica hidrológica, na medida em que o seu aumento, propicia aumento na velocidade de escoamento das águas (Horton, 1945). Assim, de acordo com os dados de declividades médias do canal fornecidos pela Tabela 1, percebe-se que a parte da bacia que possui o maior valor é a Bacia do rio D'antas, com tendência a maior dissipação da energia do fluxo. Em relação às demais sub-bacias, os dados são baixos, principalmente para a do rio São Pedro, que passou por processos retificação.

Além disso, vale ressaltar que grandes variações de altitude numa bacia acarretam diferenças significativas na temperatura média da região e possíveis variações de precipitação anual (Christofoletti, 1969). A partir desse parâmetro, percebe-se que embora o rio Sana esteja mais à jusante do rio Bonito, possui os maiores desnivelamentos do relevo, tendendo, assim, a possuir os maiores índices pluviométricos e maior deflúvio ao rio Macaé.

	Rio Bonito	Rio Sana	Rio D'antas	Rio São Pedro
Área (Km²)	89	109	57	484
Densidade de Drenagem (Km/Km²)	2,20	2,83	2,45	1,77
Comprimento do canal principal (Km)	25,40	22,47	13,73	44,71
Índice de Circularidade (IC)	2,20	0,43	0,58	0,36
Declividade média do canal principal (m)	0,03	0,10	0,22	0,02
Altmetria da nascente (m)	1200,00	1300,00	800,00	1200,00
Altmetria da desembocadura (m)	540,00	180,00	120,00	20,00
Desnivelamento (m)	660,00	1120,00	680,00	1000,00

Tabela 1: Parâmetros morfométricos calculados para as sub-bacias do rio Macaé. Fonte: Villas Boas *et al.*, 2010.

No que diz respeito à Pedologia, o Estado do Rio de Janeiro foi mapeado por Filho *et al.* (2000) na escala de 1:500.000. As classes de solos identificadas na área de domínio da Bacia do rio Macaé, envolvem uma grande diversidade, somadas a um total de 23 unidades de mapeamento, tendo como dominantes os Argissolos, Cambissolos, Latossolos, Gleissolos, Organossolos, Espodossolos e os Neossolos Flúvicos e Litólicos (Figura 6).

A classe *Cambissolo* é caracterizada por solos minerais, não-hidromórficos. Geralmente, são pouco evoluídos, de características bastante variáveis e pouco profundos ou raros e tem teores de silte relativamente elevados. Está presente na maior parte da bacia, indo desde o Alto curso em direção ao Médio curso. Os *Solos Litólicos* estão mais presente no Alto curso da bacia e compreendem solos mineirais pouco desenvolvidos e rasos. É comum possuírem elevado teores de minerais primários menos resistentes ao intemperismo, como cascalhos ou calhaus de rocha semi-intemperizada. A terceira classe é caracterizada por *Afloramentos Rochosos*, no qual são caracterizados por solos geralmente rasos, arenosos, com alta saturação de alumínio e teores variados de matéria orgânica.

Já mais na parte do médio curso da bacia, encontram-se solos do tipo *Latossolo Vermelho-Amarelo*, nos quais são caracterizados como solos mineirais, nãohidromórficos, com horizonte B latossólico. Além disso, possuem um avançado estágio de intemperização, e normalmente profundos e com elevada permeabilidade. Possui essa coloração vemelho-amarelo devido à baixa concentração de teores de Fe2O3. Os *Solos Aluviais*, também presente no médio curso da bacia, porém com baixa representação, são caracterizados como solos minerais pouco evoluídos e são desenvolvidos a partir de depósitos aluviais recentes, referidos ao Quaternário. Os *Gleissolos*, presentes no baixo curso da bacia Macaé, é caracterizado por solos minerais, hidromórficos, com horizonte A ou H seguindo de horizonte glei. São solos relativamente recentes, pouco evoluídos e originados de sedimentos de idade Quartenária. A penúltima classe de solo, encontrada preferencialmente na transição entre o médio ao baixo curso da bacia, denominada de *Solos Orgânicos*, constituem solos hidromórficos, formados em ambientes palustres, que apresentam camadas de constituição orgânica pelo menos nos primeiros 40 cm superficiais. São solos muito mal drenados, com lençol freático aflorante e em geral, são bastante ácidos. E a última classe encontrada na área de estudo, é denominada de *Podzólicos*, isto é, solos minerais, não-hidromórficos, com horizonte B textural de coloração que varia de vermelha a amarela e possui baixos teores de Fe2O3 e são em geral profundos e bem drenados.



Figura 6: Mapa de solos da Bacia do rio Macaé. Fonte: Filho et al., 2000.

3.3. Histórico de uso e ocupação:

As regiões que englobam os municípios pertencentes à área da Bacia do rio Macaé apresentam reflexos oriundos de diferentes ciclos econômicos, nos quais estão associados, muitas vezes, a inundações e erosão dos solos. Toda essa dinâmica econômica vem mudando a configuração da paisagem local, tanto pelas atividades agropecuárias, turísticas e industriais, na medida em que envolvem, também, a criação de infra-estruturas e atividades associadas (Marçal & Luz, 2003).

Desde meados dos anos 1920, iniciou-se avanço considerável das atividades de pecuária extensiva como também da agricultura em extensas planícies no médio e baixo curso da Bacia do rio Macaé. Esta última buscava atender as demandas da economia canavieira e cafeeira, fazendo com que os processos de erosão nas encostas e desmatamento de grande parte da vegetação primária de Mata Atlântica aumentassem consideravelmente.

No final da década de 1930, o extinto DNOS (Departamento Nacional de Obras e Saneamento) em conjunto com a SERLA (Superintendência de estudos de rios e lagoas) iniciaram a retificação de grande parte dos canais fluviais do baixo curso da Bacia do rio Macaé, incluindo o baixo curso do rio Macaé e do rio São Pedro, principal afluente da margem esquerda, a fim de ampliar as áreas de plantio e de pasto e reduzir os grandes índices de malária que estavam ocorrendo na região e função do alagamento dessas planícies (Assumpção & Marçal, 2012).

Já no início da década de 1970 até os dias de hoje, a Petrobrás passou a exercer forte influência na cidade de Macaé, pois estabeleceu sua base produtiva de suporte na bacia de Campos, garantindo enorme potencial para o desenvolvimento de novas atividades ligadas à prestação de serviço e às atividades comerciais, aumentando de forma considerável o crescimento das áreas urbanas e a demanda pelos recursos hídricos (Peçanha & Neto 2004).

Nessa época, ocorreu, na mesma medida, intensificação do desenvolvimento da atividade turística, com construção de casas de veraneio e de *campings*, contribuindo para o desmatamento de vegetação de Mata Atlântica nas áreas serranas da bacia, especificadamente em distritos do município de Nova Friburgo como Mury e Lumiar.

No final da década de 1990, a água do rio Macaé passou a ser utilizada, além do consumo já usual para a cidade do Macaé, para resfriamento das caldeiras da Usina Termelétrica do Norte-Fluminense (ETE), para o abastecimento da cidade vizinha Rio das Ostras. Porém, somente em 2003, foi elaborado um decreto (Decreto N° 34.243) de instituição do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé, visando o aproveitamento sustentado dos recursos naturais, a recuperação ambiental, a conservação dos corpos hídricos e os aspectos de quantidade e qualidade das águas, bem como participar da discussão dos critérios de cobrança pelo uso das águas.

Ressalta-se que a própria urbanização do baixo curso do rio Macaé também ganhou impulso decorrente das atividades industriais e do desenvolvimento da cidade para atender a instalação de serviços para o funcionamento da Petrobrás. Segundo o último censo realizado pelo IBGE (2010), o Município de Macaé tem hoje 206.748 habitantes 74.287 pessoas a mais que o registrado pelo último Censo, em 2000, que apontou na época 132.461 habitantes.

As grandes mudanças ambientais advindas das atividades da sociedade desde o século XIX até os dias atuais na área da Bacia do rio Macaé, têm sobrecarregado e modificado, sobremaneira, os recursos naturais e interferindo de forma significativa no seu sistema fluvial com tardia preocupação ambiental (Marçal & Luz, 2003; Assumpção & Marçal, 2012).

4. EMBASAMENTO TEÓRICO:

4.1. Conectividade e Sensibilidade da paisagem em bacias hidrográficas:

Conectar significa estabelecer conexão entre partes e pode ser considerado como a capacidade de um dispositivo de se conectar com outros dispositivos e transferir informação. É um importante conceito, também chamado de acoplamento, que pode ajudar a compreender a dinâmica de sistemas, na medida em que fornece subsídios teórico-metodológicos que permitem avaliar a ligação e interação entre os seus componentes (Harvey, 2001).

Dessa forma, muitas pesquisas sobre conectividade de sedimentos vêm sendo abordadas, devido à necessidade, do ponto de vista das ciências ambientais, de entender a interação homem-paisagem e/ou as interações dentro da própria paisagem. Além disso, pode-se dizer que tais estudos tem feito cada vez mais parte das discussões ou explicações na Geomorfologia (Fryirs & Brierley, 2000; Harvey, 2002; Hooke, 2003; Brierley *et al.*, 2006), Hidrologia e Ecologia.

Tal conceito foi introduzido na Geomorfologia por Brunsden & Thornes (1979), com ênfase no entendimento no fucionamento integrado de sistemas fluviais. Alguns estudos (Chorley & Kennedy, 1971) consideram que a conectividade da paisagem ocorre pela transferência de matéria e energia entre (intercompartimentos) ou dentro (intracompartimentos) dos diferentes setores geomorfológicos de um sistema ambiental (Figura 7). E, além disso, pode ser vista tanto pelo contato físico dos compartimentos, como pela transferência de material (sedimentos, água e nutrientes), ou ambos os componentes.

Jain & Tandon (2010), por exemplo, buscaram entender como os compartimentos geomorfológicos da cadeia de montanhas do Himalaia estavam transferindo sedimentos entre eles. Segundo os autores, as mudanças de uso da terra têm propiciado assoreamento e inundações nos canais fluviais, dificultando a transmissão de sedimentos nas partes do sistema como um todo. E a própria caracterização geológica (escarpas íngrimes) somado ao clima da região, seriam responsáveis pelos valores elevados da força motriz e, portanto, uma área mais propícia a levar os sedimentos para outros compartimentos à jusante.



Figura 7: Esquema de escalas da conectividade da paisagem dentro de uma Bacia Hidrográfica. Fonte: Traduzido de Brierley *et al.* (2005)

Nesse contexto, Wainwright *et al.* (2011) consideram que o contato entre os compartimentos pode ser denominado de conectividade estrutural, pois descreve na medida em que as unidades de paisagem (em múltiplas escalas espaciais) são contíguas ou estão fisicamente ligadas umas as outras. E a transferência de fluxos e sedimentos pode ocorrer através da conectividade funcional, na qual aborda especificamente a interação entre os elementos da paisagem através do transporte de diferentes tamanhos de sedimentos entre eles.

Harvey (2002) considera que as diferentes formas de conectividade podem ser consideradas tanto dentro de uma hierarquia aninhada na escalas local, zonal, como do próprio sistema. Em escala local, a conectividade ocorre dentro de um compartimento ou um fenômeno dentro de cada pedoforma. Na escala zonal, a (des) continuidade ocorre entre os compartimentos, entre encostas e canais. Já em uma escala mais ampla do sistema, a (des) conectividade diz respeito ao comportamento da bacia hidrográfica como um todo.

Porém, independente da escala de estudo, a conectividade varia espacialmente como também temporalmente. Espacialmente, pois abrange três dimensões: a Dimensão Longitudinal, a Lateral ou Transversal e a Vertical (Brierley *et al.*, 2006) (Figura 8). Conectividades Longitudinais são definidas no âmbito da rede de canais e incluem relações de fluxo de montante e à jusante e nos tributários com o canal principal, refletindo a capacidade dos canais de transferência de sedimentos, de calibre variável. A Conectividade Lateral é caracterizada pela relação entre a rede de canais e de toda a paisagem, incluindo a relação encosta-canal e planície de inundação-canal fluvial, sendo esses últimos conduzidos pela frequência e magnitude dos eventos de inundação de transbordamento. Já a Conectividade Vertical implica na relação de trocas químicas, biológicas e hidrológicas que ocorrem entre os ambientes superficiais e subsuperficiais e é controlada pela textura do material do leito e do regime de transporte do canal.



Figura 8: Sistema hidrográfico. Fonte: Adaptado de Roux (1993) apud Peigay & Schumm (2003).

No requisito temporal, a conectividade entre compartimentos da paisagem operam tanto em modos como em graus de eficiência de resposta diversos, como também entre eventos de diferentes magnitudes e freqüências (Fryirs *et al.*, 2007).

No que diz respeito aos fatores que interferem na circulação e transferência de sedimentos em uma bacia hidrográfica, pode-se citar as formas topográficas e geomorfológicas, isto é, as zonas tampão (*buffers*), barreiras (*barrier*), zonas de cobertura (*blankets*), nas quais são chamadas de impedimentos da paisagem e

funcionam como uma série de interruptores que podem possibilitar e/ou embarreirar processos de distribuição de sedimentos, modificando a conectividade da paisagem (Fryirs *et al.*, 2007).

Zonas tampão constituem formas que impedem os sedimentos de entrarem na rede de canais; as barreiras impedem a circulação de sedimentos ao longo da rede de canais e incluem estruturas rochosas e/ou contruções como barragens. Já as zonas de cobertura tendem a recobrir outras formações geomorfológicas, protegendo as formas de retrabalho, removendo temporariamente os depósitos de sedimentos em cascata (Tabela 2).

Impedimentos da	Exemplos			
paisagem				
Zonas tampão (<i>Buffers</i>)	Vales preenchidos intactos	Planície Fluvial contínua/ descontínua	Leques aluvuais	
Barreiras (<i>Barrier</i>)	Degraus Rochosos	Sedimentos fluviais	Capacidade do canal (largura/ relação de profundidade do canal)	
Zonas de Cobertura (<i>Blankets</i>)	Lençóis de sedimentos em Planícies Fluviais	Fina camada de material em interstícios de cascalho	Leito de canal grosseiro	

Tabela 2: Exemplos de Impedimentos da Paisagem. Fonte: Traduzido de Fryirs et al. (2007).

Perturbações antrópicas como urbanização, construção de reservatório e mudanças nas práticas agrícolas (no uso e cobertura da terra) em encostas, também podem ter efeitos importantes sobre a dinâmica espacial e temporal na hidrologia, incluindo mudança na morfologia do canal, pois além de interferir na produção, a circulação (transporte e distribuição) de sedimentos, ao longo do curso fluvial, também pode ser afetada (Dunne, 1991; Braud *et al.*, 2001; Rey, 2003, Barros *et al.*, 2010).

Barros *et al.* (2010) nessa perspectiva de entender os possíveis impactos antropogênicos e suas eventuais interferências nos processos de um sistema fluvial, elaboraram um mapa de sensitividade da paisagem, no qual identificava possíveis barreiras de transmissão na Bacia do riacho Mulungu, Belém de São Francisco (PE). Segundo os autores, a desconexão de partes desse sistema ocorre muito em função da presença de estradas, barragens e também de planícies de inundação.

Portanto, compreender o comportamento das conectividades de paisagens é um aspecto fundamental para identificar o funcionamento e a evolução dos sistemas geomorfológicos, na medida em que compreende as suas relações; prevê os efeitos das mudanças ambientais; possibilita avaliar as implicações da sensibilidade da paisagem, juntamente com a extensão das conseqüências propagatórias das mudanças introduzidas no sistema ambiental e das respostas desse sistema à jusante, sendo, portanto, um indicador de possíveis desajustes internos do sistema (Brunsden, 2001; Thomas, 2001).

Pode-se dizer, também, que a sensibilidade da paisagem tem íntima relação com as conectividades existentes em um sistema ambiental. A conexão entre os componentes desse sistema garante que instabilidades locais possam ser propagadas por feedback em vários eventos (de magnitude e freqüência variável), modificando o equilíbrio presente e permitindo que cada setor da paisagem tenha uma capacidade de resposta específica às mudanças, podendo vir a desencadear processos em um local da bacia e ajustes em outros setores.

Já Brunsden & Thornes (1979) consideram que a sensibilidade corresponde à "soma da *suscetibilidade e da vulnerabilidade* de qualquer sistema fluvial", no qual *vulnerabilidade* remete o potencial de um rio em sofrer mudanças do seu estado que alterem a sua configuração natural, passando a se comportar como outro tipo de rio. E *suscetibilidade*, é a capacidade de se ajustar dentro de um sistema devido às características de evolução natural. Assim, diferentes subsistemas dentro do complexo da paisagem podem apresentar um comportamento simultâneo como também contrastante.

Logo, dentro dessa perspectiva, a estabilidade da paisagem é regida em função das distribuições temporais e espaciais das forças de resistência e das forças perturbadoras. As forças de resistência são vistas pelas especificações que compõem o sistema, isto é, a sua estrutura; propriedades químicas e físicas que irão determinar as características do relevo, influenciando na resistência da capacidade do sistema de transmitir impulsos de mudança, podendo facilitar ou não a transmição de material e energia, a eficiência da conectividade e a capacidade de recuperação.

Já as forças perturbadoras, são normalmente considerados por geomorfólogos, como os controles tectônicos, climáticos, bióticos e antrópicos sobre a estrutura geológica, hidrológica e morfológica do sistema. A mudança ocorre através do tempo e do espaço e envolve o transporte de material, a evolução morfológica e rearranjo estrutural dos componentes do sistema. Estes, por sua vez, progressivamente, alteram o desempenho ao longo do tempo (Brunsden, 2001).

Thomas (2001), nesse contexto, considera que existem dois tipos de sensibilidade, a sensibilidade temporal e a sensibilidade espacial. A temporal é em função da frequência e magnitude dos eventos de formação da paisagem e a sensibilidade espacial ocorre através das fontes de sedimentos e da capacidade de transporte dos mesmos que propicia ou limita as diferentes taxas de mudanças, entre componentes da paisagem (Figura 9).



Figura 9: Relação entre sensibilidade, espacial e temporal, da paisagem com a conectividade construida da mesma. Fonte: Traduzido de Thomas (2001).

Esse quadro inter-relacionado de conectividade e sensibilidade norteia estudos em diversas escalas. Sob a escala zonal, a produção de sedimentos em encostas tende a gerar efeitos diferenciados em áreas características de canais fluviais, pois vertentes e os rios são consideradas, segundo Christofoletti (1980), como entidades separadas já que constituem membros de um sistema aberto e estão continuamente em interação.

Guerra & Mendonça (2004) afirmam que os "processos erosivos acelerados causam prejuízos ao meio ambiente e a sociedade, tanto de forma local (efeito *on-site*) como também em áreas próximas ou afastadas (efeito *off-site*), isto é, com escoamento de água e sedimentos, mudanças negativas ao meio ambiente, bem como danos

relacionados a enchentes, assoreamento de rios, lagos e reservatórios, contaminação de corpos líquidos, etc".

O acoplamento encosta-canal ocorre de diversas formas de entrada de sedimentos, seja através das características do carreamento por escoamento superficial (velocidade, concentrado ou não concentrado), determinando a granulometria das partículas, como também por fluxos de detritos (movimentos de massa) alimentados por uma falha ou vindos de feições erosivas e por inundação (Owczarek, 2008) (Figura 10).



Figura 10: Esquema que representa a movimentação de materiais em encostas e que tendem a atingir áreas próximas, como os canais fluviais. Fonte: Traduzido de Thomas (2001).

Processos de erosão em encostas também fornecem quantidades diferenciadas de sedimentos, tanto de carga de leito como de carga em suspensão. Em geral, as encostas dominadas por ravinas, feições que tendem a serem mais descontínuas, oferecem pouco sedimento para o canal, enquanto que encostas com predominância de voçorocas tendem a fornecer maior quantidade de sedimentos (Harvey, 1996).

Em um sistema conectado, os sedimentos são fornecidos diretamente das encostas para a rede de canais, onde são retrabalhados e transportados à jusante. Em geral, esse mecanismo ocorre principalmente em ambientes de cabeceiras, onde o canal e as encostas estão diretamente conectados (fisicamente) ou onde o canal confina a margem do vale. Em um sistema desconectado, a transferência de sedimentos é ineficiente e os sedimentos tendem a serem armazenados em planícies de inundação na base de encostas (Fryirs & Brierley, 1999; Harvey, 2001) (Figura 11).



Figura 11: Esquema representativo a (des)conectividade intracompartimento (encosta-canal) com a presença de planícies e/ou terraços fluviais. Fonte: Traduzido de Jain & Tandon (2010).

Hooke (2003) considera que o canal fluvial também funciona como um sistema e que o transporte dos sedimentos, que são movidos dentro desse sistema, tende a definir se há conectividade entre os diferentes ambientes de um rio. No entanto, considera que os sistemas fluviais são dinâmicos e que o grau de conectividade entre esses sedimentos pode mudar de acordo com a escala de tempo de análise. Além disso, as zonas de acumulação e os depósitos de sedimento no canal, como barras arenosas podem variar de estabilidade e de mobilidade, assim como a capacidade do transporte ao longo do percurso, o que representa que esses sedimentos se deslocam constantemente, através do seu sistema.

Logo, conectividade entre os sedimentos, dentro do canal fluvial, pode ser vista como o potencial que uma partícula tem para ser transportada até o fim um sistema de canal bem ligado (Hooke, 2003). Irá variar com o tamanho do material e do regime de descarga, já que a carga de leito é deslocada com menos freqüência (apenas em épocas de cheia, quando o fluxo adquire maior competência e/ou quando as vazões são tidas como altas) do que o material transportado em cargas em suspensão.

A identificação do encaminhamento dos sedimentos entre as fontes de sedimentos seja de depósitos dentro (*stores*) e fora (*sinks*) do canal, e a saída no sistema fluvial ajudam a identificar a forma como vêm ocorrendo o transporte de sedimentos entre os ambientes identificados, as condições, as rotas e as distâncias de transporte. Ou seja, como ocorre a transferência de sedimentos de uma feição em barra para outra forma em barra, de uma feição em barra para outro leito, ou do leito para a barra (Hooke, 2003; Brierley *et al.*, 2006) (Figura 12).


Figura 12: Relação hipotética da transferência de sedimentos grosseiros dentro de um canal fluvial. Fonte: Traduzido de Hooke (2003).

Church & Jones (1982) reconhecem zonas com grandes volumes de sedimentos, geralmente reconhecidas em barras, chamadas de "Zonas de Sedimentação", que denotam áreas de instabilidade. Quando não podem ser transportados, o material é armazenado temporalmente, até que ela possa ser transportada, cessando a transferência e conectividade, geralmente implicando em um movimento lateral do canal ou assoreamento no corpo d'agua. E a conectividade só é reestabelecida quando há renovação de transporte desse depósito, que pode ser depois de dezenas de anos em um canal muito móvel ou em milhares de anos nos canais lateralmente estáveis.

4.2. Estudos Hidrossedimentológicos em bacias hidrográficas:

A Geomorfologia Fluvial é uma ciência, na qual se interessa pelo estudo dos processos e das formas relacionadas ao entendimento da dinâmica fluvial e aliada a diversas outras disciplinas, isto é, através de pesquisas multidisciplinares, permite uma melhor compreensão dos processos atuantes nas bacias hidrográficas, das suas dinâmicas ambientais e da evolução do sistema fluvial, como um todo (Christofoletti, 1981).

A Hidrossedimentologia, dentro desse contexto, engloba importantes análises para realização de qualquer programa de planejamento e gestão de recursos hídricos, na medida em que envolve a busca pelo conhecimento do transporte de sedimentos tanto pelas características dos fluxos (escoamento das águas responsáveis pelo seu transporte) representados por parâmetros hidrológicos, como também, pelas características dos sedimentos que são transportados, representado por parâmetros sedimentológicos. O entendimento do inter-relacionamento entre essas duas variáveis (ciência hidrológica e disciplina sedimentológica) influenciam diretamente no tipo e volume do material erodido e transportado ao longo de um curso fluvial (Carvalho, 1994; Feba *et al.*, 2006; Vestena, 2008).

A bacia hidrográfica além de ser a unidade territorial básica para o planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos também é considerada uma unidade hidrossedimentológica. Isto é, uma região sobre a Terra na qual escoa para um ponto em comum, fluxo de matéria (nutrientes e poluentes) e energia, sendo coordenada principalmente pela dinâmica da água. Esta dinâmica depende da combinação, no tempo e no espaço, de vários fatores que interagem no sistema bacia hidrográficas, como rochas, solos, relevo, clima, flora, fauna, uso do solo, entre outros (Feba *et al.*, 2006).

De acordo Bordas Semmelmann (2000),com e OS processos hidrossedimentológicos em uma bacia hidrográfica se compõem em três sistemas naturais: (A) no alto curso do rio onde ocorre forte degradação (erosão), sendo uma área de maior produção de sedimentos, com elevadas quantidades de material grosseiro transportado pelo rio (blocos rochosos, matacões, seixos); (B) o médio curso é uma área de maior estabilidade, onde não há elevados acréscimos e perdas do volume transportado, que apresenta, em geral, granulometria média (grânulos e areias); e (C) o baixo curso é uma região de forte gradação, onde predomina a deposição dos sedimentos e o rio transporta em sua grande maioria partículas mais finas (areia fina, silte e argila) (Figura 13).

Os mesmos autores ressaltam que os processos hidrossedimentológicos estão intimamente vinculados ao ciclo hidrológico já que este compreende o deslocamento, o transporte e o depósito de partículas sólidas presentes na superfície de uma bacia hidrográfica através do movimento da água nos seus diferentes estados físicos. Sendo assim, pode-se dizer que a precipitação é um fator determinante no transporte de sedimentos, uma vez que é responsável pela capacidade de produzir escoamento, fator que implica na produção de sedimentos e na transferência destes à jusante.



Figura 13: Bacia hidrográfica e o relacionamento com a produção de sedimentos. Fonte: Modificado de Schumm (1977).

Os transportes de sedimentos envolvem uma variabilidade de formas de mecanismos de transferência para os sedimentos fluviais variando desde o fluxo laminar ao fluxo turbulento. O regime laminar, também chamado de planar, possui um movimento horizontal, sem mistura de água e sedimento e ocorre quando as partículas de um fluido movem-se ao longo de trajetórias bem definidas, geralmente a baixas velocidades e em fluídos que apresentem grande viscosidade. Já o regime turbulento possui um movimento vertical, com mistura de água e sedimento e ocorre quando as partículas de um fluido não se movem ao longo de trajetórias bem definidas, ou seja, as partículas descrevem trajetórias irregulares (Carvalho, 1994).

E os sedimentos fluviais carreados fazem parte de duas categorias de cargas: as cargas dissolvidas e as cargas sólidas de fundo e os de suspensão (Figura 14). Segundo Christofoletti (2002) a carga dissolvida compreende os constituintes intemperizados das rochas, silte e argila, que, por serem pequenas, se conservam em suspensão pelo fluxo.



Figura 14: Classificação dos tipos de carga de sedimentos fluviais e tipos de transportes. Fonte: Modificado de Morris e Fan (1997).

Suguio & Bigarella (1990) consideram que as formas de transporte da carga sólida de leito são de três tipos: o primeiro é do tipo *carga sólida de arrasto*, na qual se apresenta em torno de 5 a 25% de sedimentos do total transportado e constituem partículas que rolam ou escorregam longitudinalmente no curso de água, junto ao leito; e o segundo é do tipo *carga de leito*, cujas partículas pulam ao longo do curso de água por efeito da correnteza ou devido ao impacto de outras partículas.

Essa segunda classe também pode ser chamada de *carga saltante*, cujas partículas são suportadas pelas componentes verticais ascencionais das velocidades do escoamento turbulento, enquanto são transportadas longitudinalmente pelas componentes horizontais para permanecerem em suspensão, subindo e descendo no seio do fluido. A terceira é a *carga sólida em suspensão*, na qual representa a maior quantidade de carga sólida do curso d'água, podendo corresponder a 95% de toda a descarga (Figura 15).



Figura 15: Tipos de transporte de sedimento fluvial e zonas de amostragens. Fonte: Morris e Fan (1997).

Carvalho (1994) considera que os sedimentos fluviais estão distribuídos, em torno da seção transversal nos cursos d'água, de forma vertical devido à velocidade da corrente horizontal e do peso das partículas. A concentração de sedimentos apresenta um mínimo na superfície e um máximo perto do leito, variando de acordo com a granulometria. Assim, as partículas mais finas apresentam uma distribuição aproximadamente mais uniforme na vertical, enquanto as partículas mais grossas apresentam uma variação crescente da superfície para o fundo do leito e as concentrações de sedimento geralmente são menores próximas às margens (Figura 16).



Figura 16: Distribuições verticais teóricas dos sedimentos no curso fluvial em função da granulometria. Fonte: Morris e Fan (1997).

Segundo o mesmo autor, os escoamentos em canais formam naturalmente os perfis de velocidade nas seções transversais, decorrente do efeito viscoso e de rugosidade do leito do canal fluvial.

Em função disso, o escoamento é mais lento nas porções próximas ao leito e mais rápido no núcleo central do canal, variando com a geometria deste. Os sedimentos em suspensão também produzem perfis, que dependem de fatores vinculados ao escoamento e ao próprio sedimento, como a sua granulometria (Figura 17).



Figura 17: Diagrama da distribuição da velocidade, da concentração de sedimento e da descarga sólida na seção transversal no curso de água. Fonte: Carvalho (1994).

De acordo com Carvalho (1994), vários fatores exercem importância significativa no regime hidrossedimentológico, dentre eles tem-se: as condições locais (geologia, dissecação do relevo, tipo de solo e o clima); o tamanho da partícula, do seu peso e sua forma; o regime de escoamento (laminar ou turbulento); temperatura da água, na qual possui grande efeito sob os sedimentos em suspensão, já que em água com temperaturas mais amenas, ocorre uma maior concentração de grãos do tipo fino devido à viscosidade da água, que tende a diminuir; da velocidade da corrente; dos obstáculos no leito; e de diversas outras variáveis que estão inter-relacionadas e exercem importância significativa no regime hidrossedimentológico.

No que diz respeito às conseqüências da presença em altas concentrações dos sedimentos em um canal fluvial, vale dizer que além de alterar o canal fisicamente (assoreamento causado pelos sedimentos de fundo), há também alteração das características físicas e químicas das águas (pelos sedimentos em suspensão). Um dos principais problemas relacionados à deterioração da qualidade da água dos rios vinculas e ao desequilíbrio no aporte de sedimentos finos em suspensão nos canais, afetando a transparência da água e produzindo turbidez.

A turbidez pode ser definida como a dificuldade da passagem de um feixe de luz por uma amostra, causada por absorção e espalhamento do mesmo ao entrar em contato com as partículas dissolvidas presentes. As águas podem ficam turvas após eventos de chuva, decorrentes da natureza argilosa dos solos existentes na área de drenagem (Vestena *et al.*, 2008).

Assim, enumerando as possíveis conseqüências de sedimentos nos rios, pode-se dizer que as partículas em suspensão degradam o uso *consumptivo* da água, aumentando o custo de tratamento; a turbidez tende a reduzir a atividade da fotossíntese necessária à salubridade dos corpos d'água, gerando problemas efetivos para os ecossistemas aquáticos; o sedimento atua como portador de poluentes, tais como nutrientes químicos, inseticidas, herbicidas, metais pesados, bactérias e vírus.

Segundo, Bufon *et al.* (2009), o sedimento pode ser um dos maiores veículos de poluição da água por peso e volume, sendo também o grande transportador e catalisador de defensivos agrícolas, resíduos orgânicos, nutrientes e organismos.

4.3. Métodos e Técnicas de análise em Hidrossedimentologia:

Quanto às análises de sedimentos, pode-se dizer que há uma grande variedade de formas, de maneira diretas (*in situ*) e indiretas. Além disso, ressalta-se que a amostragem de sedimento, de uma forma geral, é efetuada com o objetivo de se obter amostras representativas na seção transversal do curso d'água, com amostradores padronizados e usando técnicas apropriadas, definindo o tipo e a quantidade de material que é transportado (Villela, 1936) (Tabela 3).

Tabela 3: Métodos de medição da carga sólida em suspensão e de fundo. Fonte: Adaptado de Carvalho (1994); Beverger & King (1995).

Descarga	Medição	Descrição	Equipamentos
sólida			
	DIRETA	Medem no curso d'água ou pela turbidez	Medidor nuclear (portátil ou fixo); Ultra- sônico Ótico ou de Doppler de dispersão; Turbidímetro; ADCP (Doppler)
Descarga sólida em Suspensão		Por acumulação do sedimento em um medidor (proveta graduada)	Garrafa Delf (medição pontual e concentração alta)
	INDIRETA	Amostragem da mistura água-sedimento e cálculos posteriores.	Bombeamento; Garrafas ou sacas: pontuais instantâneos, pontuais por integração e integradores na vertical (U-59, DH-48, DH- 59, D-49, P-61)
		Fotos de satélite com medidas simultâneas de campo para calibragem.	Equações que correlacionam as grandezas de observação das fotos com as concentrações medidas.
	DIRETA	Amostradores ou medidores portáteis de três tipos principais que ficam apoiados no leito entre 2 min a 2 horas de tal forma a receber no receptor 30 a	Uso de amostradores portáteis ou removíveis colocados no leito: 1) Cesta ou caixa – medidores Muhlhofer, Ehrenberger, da Autoridade Suíça e outros 2) Bandeja ou tanque – medidores Losiebsky, Polyakov, SRIH e outros
Descarga sólida do		50% de sua capacidade.	 3) Diferença de pressão – medidores Helly- Smith, Arnhem, Sphinx, do USCE, Károlyi, do PRI, Yangtze, Yangtze-78 VUV e outros
		Estruturas tipo fenda ou poço – as fendas do leito do rio são abertas por instantes e coletado o sedimento	Medidor Mulhofer (EUA)
leito	INDIRETA	Coleta de material do leito (Coleta Zig Zag, no talvegue do canal), análise granulométrica.	 de penetração horizontal, tipos caçamba de dragagem e de concha de penetração vertical, tipos de tubo vertical, caçamba de raspagem, caçamba de escavação e escavação de pedregulho tipo <i>piston-core</i> que retém a amostra por vácuo parcial
		 1) Traçadores radioativos 2) Traçadores de diluição. 	 por colocação direta do traçador no sedimento do leito do rio por coleta do sedimento, colocação do traçador no sedimento e seu retorno ao leito

Se o sedimento em suspensão fosse uniformemente distribuído na seção, uma amostra em qualquer ponto poderia representar a sua concentração. Como isso não ocorre, há a necessidade de considerar ao longo da seção medições pontuais ou verticais, em um número adequado de posições. A amostragem pontual exige a determinação da velocidade da corrente no mesmo ponto e as amostragens por integração na vertical exigem o conhecimento da velocidade média na vertical.

Gray e Gartner (2009) citam que propriedades ópticas da água (como a turbidez) vêm sendo muito utilizadas para a determinação da concentração de sedimentos em

suspensão. Porém, outras técnicas como difração a laser, fotos digitais, métodos acústicos, e tecnologias baseadas em diferenças de pressão também são utilizados tanto para determinação da concentração de sedimentos em suspensão como para avaliações da granulometria.

No que diz respeito ao tipo de equipamento usado nas operações de hidrossedimentometria, são na maior parte de origem norte-americana e são operados manualmente ou a guinchos, de acordo com o seu peso, com a velocidade da corrente e a profundidade do curso d'água e que são, na maior parte, de origem norte-americana. Para as medições diretas dos sedimentos em suspensão, são mais usados os do tipo fotoelétrico e nucleares. E para as medições indiretas, há mistura água/sedimento e podem ser classificados em três categorias: instantâneos, por integração e por bombeamento (Villela, 1936; Bogárdi, 1972).

Os amostradores instantâneos coletam um volume de água/sedimento pelo fechamento instantâneo por meio de dispositivos nas extremidades da câmara ou recipiente. Os amostradores por integração acumulam no recipiente um mistura água/sedimento em certo tempo pela retirada do fluxo ambiente através de um pequeno bico. Já os amostradores por bombeamento retiram a mistura em suspensão através de um orifício pela ação de bombeamento.

Vale ressaltar que os amostradores de sedimentos em suspensão devem ter formas aerodinâmicas para causar o mínimo distúrbio na corrente. Devem reter uma amostra, que, posteriormente, será posta em estufa, secada, pesada e dará o peso do sedimento retido. Sendo conhecido o volume do amostrador, calcula-se a concentração, por exemplo, em gramas por litro (Carvalho, 1994).

No que diz respeito à análise dos sedimentos (suspensão e de fundo), pode-se dizer que há uma grande variedade de formas de analisá-los. Para os sedimentos em suspensão, tem-se: o Método da Evaporação (é preferível usá-lo quando há grandes concentrações do teor de argila ou de material orgânico), Filtração (possui rápida operação e simplicidade de equipamentos utilizados) e o Método de análise granulométrica pelo Densímetro (Carvalho, 1994).

Para análise dos sedimentos de fundo, há 2 (duas) maneiras: Pipetagem e Peneiramento. E para ambos os tipos de sedimentos, pode usar 3 (três) tipos de métodos: Método do tubo de retirada pelo fundo e Método do tubo de acumulação visual (Carvalho, 1994).

5. METODOLOGIA:

A metodologia desta pesquisa baseou-se na utilização de dados primários e secundários a partir de três etapas de pesquisa a fim de avaliar a dinâmica hidrossedimentológica do canal Macaé: 1) Caracterização Geomorfológica e Hidrossedimentológica; 3) Mapeamento da distribuição espaço-temporal das feições deposicionais; 4) Setorização e Padrões de Conectividade Longitudinal entre os trechos identificados (Figura 18).

Os *dados primários* são referentes aos dados coletados pelo monitoramento da morfologia de trechos do canal fluvial através de seções transversais; dados da velocidade do fluxo; e referente às coletas de sedimentos fluviais (de fundo e em suspensão). O levantamento destes dados foi feito em trabalhos de campo realizados em intervalos de 5 a 6 meses; com duração de cerca de 3 a 4 dias, predominantemente em dois períodos ao ano: em épocas mais chuvosas (março/abril) e em épocas menos chuvosas (outubro/setembro). Ressalta-se que o primeiro monitoramento foi realizado em outubro de 2007 (LAGESOLOS/UFRJ), fora do período desta pesquisa, e o último em março de 2012.

A coleta dos dados primários vem sendo realizada em sete pontos, ao longo rio Macaé, pelo grupo de estudos fluviais do LAGESOLOS/UFRJ desde outubro de 2007. Porém, a presente pesquisa utilizou somente as medições entre o período de 2010 a 2012 e quatro pontos de monitoramento distribuídos após o encontro dos quatros principais tributários ao longo do rio Macaé (rio Bonito, rio Sana, rio D'antas e rio São Pedro) (Figura 19). Ressalta-se que a utilização dos pontos à jusante deve-se a posição dos principais tributários como também pela maior disponibilidade de dados, referente à quantidade de monitoramentos realizados.

Não ocorreu uniformidade na apresentação dos dados coletados em trabalhos de campo, na medida em que, ao longo da pesquisa, encontraram-se dificuldades instrumentais e naturais (alta vazão, por exemplo) em determinadas épocas, que inviabilizaram a obtenção de medições em todos os anos de análise (Figura 20).

Os dados referentes à morfologia do canal fluvial e de velocidade do fluxo foram levados ao gabinete a fim de inseri-los no banco de dados (BDGF - Banco de Dados de Geomorfologia Fluvial) gerenciado pelo LAGESOLOS (Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos) para realizar gráficos de seções transversais e o cálculo de vazão em Excel. As amostras de sedimentos de fundo e em suspensão foram destinadas ao Laboratório de Geomorfologia Maria Regina Mousinho Meis, localizado no Departamento de Geografia da UFRJ, a fim de serem analisadas e posteriormente armazenadas em gabinete.

Já os *dados secundários* são referentes à pluviosidade e a vazão obtidas através do portal eletrônico HIDROWEB, pertencentes à Agência Nacional de Águas (ANA).







Figura 19: Mapa de localização dos pontos de monitoramento das seções transversais e dados hidrossedimentológicos dentro da Bacia do rio Macaé (RJ). Fonte: LAGESOLOS/UFRJ.



Figura 20: Linha do tempo e espacialização dos trabalhos de campos realizados ao longo do canal do rio Macaé. Fonte: LAGESOLOS.

5.1. Caracterização Geomorfológica e Hidrossedimentológica:

5.1.1. Caracterização Geomorfológica:

Esta etapa foi subdividida pela análise da morfologia do canal Macaé através do monitoramento realizado em seções transversais; dos aspectos do relevo e dos elementos da organização da rede de drenagem, visto sob escala regional (da bacia) e pelas características morfométricas, analisadas sob uma escala de detalhe (do canal Macaé).

A análise da morfologia de trechos do canal do rio Macaé vem sendo feita pelo grupo de pesquisa fluvial do LAGESOLOS/UFRJ e esta baseado em metodologias apresentadas por Olson-Rutz e Marlow (1992) e por Oliveira e Melo (2007). As seções transversais foram realizadas a partir de estacas fincadas em cada margem do rio e ligadas por tubos de aço por onde foram levantadas medidas da calha fluvial até a lâmina d'água, em intervalos de 50 cm. O levantamento de tais medidas foi realizado com o uso do ecobatímetro, modelo "cuda 168 portable – eagle" (utiliza-se um pequeno bote para auxílio da medição quando a vazão encontrava-se alta).

A segunda parte da caracterização geomorfológica referente aos elementos da organização da rede de drenagem da Bacia do rio Macaé foi a identificação e caracterização dos Padrões de Drenagem existentes, pela classificação proposta por Bigaarella *et al.* (1979).

A terceira parte constituiu-se da análise dos aspectos do relevo, com a construção dos mapas de Hipsometria e de declividade. Ambos foram gerados utilizando-se a base cartográfica de curvas de nível de 1:50.000 do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia) com posterior elaboração de um MDT (Modelo Digital de Terreno), e divididos em classes de altmetria e declividade, respectivamente.

O último item trabalhado na caracterização geomorfológica foi à caracterização morfométrica do canal Macaé, onde foram definidas e mensuradas quatro variáveis: análise da distribuição dos pontos de monitoramento sob o perfil longitudinal, com o intuito de observar as áreas possíveis de retenção de sedimentos por impedimentos de nível de base; o índice de sinuosidade, declividade média e a rugosidade do canal principal.

A construção do Perfil Longitudinal do rio Macaé foi realizado a partir da criação do MDT, utilizando a ferramenta Topograph Profile do ArcGis 9.3, com base cartográfica 1:50.000 do IBGE. Nele, está presente a divisão da compartimentação em alto, médio e baixo curso, de acordo com as diferenças altmétricas e de declividade do

relevo da Bacia Macaé, juntamente com os tipos de geologia e de leitos, com a localização dos pontos de monitoramentos (Figura 26).

O Grau de sinuosidade consiste na relação entre o comprimento do canal e o seu comprimento vetorial. Schumm (1963) considera que quanto maior o índice, menor a velocidade do escoamento e conseqüente, menor a influencia nas enchentes à jusante. Considera-se que valores próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser retilíneo. Já os valores superiores a 2,0 sugerem canais tortuosos e os valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares.

$$Gs = L / Dv$$

Sendo: Gs = Grau de Sinuosidade (km/km ou m/m); L = Comprimento do canal principal (metros ou kilometros) e Dv = Distancia vetorial do canal principal (metros ou kilometros)*

*- linha que vai do início do talvegue ao final do mesmo.

A Declividade média do canal consiste na relação entre a diferença entre as altitudes e a distância percorrida. Segundo Christofoletti (1980), este parâmetro controla a velocidade do escoamento superficial, no qual poderá influenciar na velocidade do fluxo e capacidade de transporte de matéria. A declividade relaciona-se com a velocidade em que se dá o escoamento superficial, afetando, portanto, o tempo que leva a água da chuva para concentrar-se nos leitos fluviais.

$Dm = [(H-h) / L] \times 100$

Sendo: Dm = Declividade média do canal principal (%); (*H-h*) = Amplitude altmétrica da bacia (metros ou em kilometros); L = Comprimento do trecho do canal (metros ou em kilometros).

Por sua vez, o Índice de rugosidade é a relação entre a densidade de drenagem multiplicada pela amplitude altmétrica da bacia. Strahler (1957) considera que a elevada irregularidade do leito condiciona movimentos verticais dos fluxos, propiciando um maior caráter turbulento e aumento da velocidade de escoamento do canal.

Ir = Dd x (H-h)

Sendo Ir = Indice de rugosidade; Dd = Densidade de drenagem*; (H-h) = Amplitude altmétrica da bacia (metros ou em kilometros).

$$* Dd = Ct / A$$
.

Sendo: Ct = Comprimento total dos canais; A = Área da bacia (metros ou kilometros).

5.1.2. Caracterização Hidrossedimentológica:

A caracterização hidrossedimentológica baseou-se na análise das características hidrológicas, através dos dados de chuva e de vazão da ANA e das descargas calculadas pelas medidas de velocidades do fluxo d'agua coletadas em trabalho de campo. E análise das características sedimentológicas, avaliadas pela coleta de sedimentos fluviais de fundo e em suspensão, com respectiva análise de granulometria, grau de arredondamento e seleção para os primeiros e filtragem e pesagem para os últimos.

5.1.2.1. Características Hidrológicas:

Há um total de 15 estações pluviométricas localizadas internamente e em áreas adjacentes à Bacia do rio Macaé, segundo a ANA (Figura 21 e Tabela 4 e 5, com informações como nomes, altitudes e códigos de cada estação utilizada). Dentre dessas 15 estações, foram utilizadas somente duas localizadas no alto e baixo curso da bacia: a Estação Plúvio-Fluviométrica de Galdinópolis com 740m de altitude e a Estação Pluviométrica Fazenda Oratório de 50m de altitude. A primeira estação possui uma série histórica de 59 anos (1951-2010) e a segunda possui uma série de 42 anos (1968 a 2010).



Figura 21: Mapa de Localização das Estações Pluviométricas e Fluviométricas na Bacia do rio Macaé/RJ. Fonte: ANA (Agência Nacional das Águas). Elaborado por: Nascimento, 2010.

	Estações			
ID	Pluviométricas	Código	Município	Altitude
0	Fazenda Oratório	2241004	Macaé	50m
1	Galdinópolis	2242004	Nova Friburgo	740m
2	Piller	2242003	Nova Friburgo	670m
3	Rio Dourado	2242006	Casimiro de Abreu	12m
4	Gaviões	2242008	Silva Jardim	1620m
5	Fazenda São João	2242005	Nova Friburgo	1010m
6	Vargem Grande	2242020	Nova Friburgo	680m
7	Fazenda Mendes	2242022	Nova Friburgo	1010m
8	Teodoro de Oliveira	2242024	Nova Friburgo	-
9	Barra Alegre	2242018	Bom Jardim	650m
10	Vargem Alta	2242019	Bom Jardim	1100m
11	Maria Mendonça	2242002	Trajano de Morais	800m
12	Macabuzinho	2241003	Conceição de Macabu	19m
13	Quartéis	2242007	Silva Jardim	58m
14	Cascatinha do Conego	2242025	Nova Friburgo	1980m

Tabela 4: Estações Pluviométricas selecionadas. Fonte: Hidroweb-ANA (Agência Nacional de Águas).

Tabela 5: Estações Pluvio-Fluviométricas selecionadas. Fonte: Hidroweb-ANA(Agência Nacional de Águas).

ID	Estações Fluviométricas	Código	Município	Altitude
1	Galdinópolis	59125000	Nova Friburgo	740m
2	Piller	59135000	Nova Friburgo	670m

O monitoramento em estações hidrológicas, segundo diversas escalas de análise, isto é, em escala diária, mensal e anual é essencial para estabelecer parâmetros de tendências, assim como, os processos dominantes, estágios de evolução, as magnitudes e as instabilidades do canal.

Nessa pesquisa foram analisados os dados mensais e anuais de precipitação e de vazão. Para tal, foram organizados gráficos e tabelas de pluviosidade média anual e mensal para série histórica de 59 anos (1951-2010) da Estação Galdinópolis, no alto curso, e para a série histórica de 42 anos (1968 a 2010) na Estação Fazenda Oratório, no baixo curso da bacia.

Ressalta-se que não foram usados os dados referentes aos anos de 2011 e 2012, por não estarem disponíveis no site da ANA (Agência Nacional de Águas). Além disso, foram usados os dados de velocidade do fluxo d'água medidos em trabalhos de campo, através do Molinete FP 111/211 nos pontos de monitoramento referentes à jusante do rio D'antas e do rio São Pedro para calculo da vazão no médio/baixo curso.

Esta vazão foi obtida através do calculo da velocidade vezes a área da lamina d'agua:

Q = V x A

Sendo: V = Velocidade do fluxo d'água; A = Área da lamina d'água

Objetivando analisar de forma mais detalhada os dados hidrológicos, foram também elaborados gráficos referente ao período de análise de 2000 a 2010, com os meses de março, junho, julho e outubro em destaque. Estes foram considerados como meses estratégicos na medida em que correspondem a épocas específicas de análise, isto é, os meses de março e outubro correspondem aos meses de monitoramento realizados pelo LAGESOLOS/UFRJ e os meses de junho e julho correspondem aos meses analisados nas imagens mapeadas do *Google Earth* (03/06/2003, 22/07/2006, 24/06/2010).

A fim de entender a instabilidade e as respostas dos fluxos em diferentes áreas do canal Macaé, foram utilizados os dados de *vazões máximas mensais* da Estação Galdinópolis, na medida em que o conhecimento do comportamento de tais dados contribui para analisar a capacidade de resposta do canal em transportar maiores quantidades e tamanhos de sedimentos. Também foi calculado a *média* de vazões (somatório dos totais de vazões mensais pelo número de meses da série analisada) e a *variabilidade de vazões* (estabelecida pela razão entre a vazão máxima e a vazão mínima).

O conhecimento do coeficiente de variabilidade de vazão auxilia na compreensão de quais as áreas do canal que possuem maior discrepância de flutuações, condicionando a modificações mais intensas na sua morfologia.

5.1.2.2. Características Sedimentológicas:

A caracterização sedimentológica para as cargas de fundo e em suspensão foi realizada no Laboratório de Geomorfologia Maria Regina Mousinho De Meis/ UFRJ, porém subdivididas em metodologias de análise diferentes. Os sedimentos de fundo passaram por análises de Granulometria, Grau de Arredondamento e Seleção, nas quais, contribuem para a identificação de áreas-fonte, estimação da distância de transporte dos clastos, auxiliando a compreender questões de assoreamento e erosão dos canais.

A metodologia de coleta de sedimentos de fundo baseou-se na integração do método de Zig-Zag proposto por Beverger & King (1995), onde o observador caminha na diagonal ao longo do córrego, em zig zag da esquerda para a direita e vice-versa, com intervalos de 5 a 5 metros, juntamente com o método de Rosgen (1996) de coleta sedimentos no talvegue do canal. A junção das duas técnicas de amostragem foi fundamental para obter amostras aleatórias e bem distribuídas ao longo do canal fluvial, buscando a representação das características dos sedimentos de diversos ambientes fluviais presentes na bacia, em uma unidade mais integrada.

Já os sedimentos em suspensão passaram por análises de filtração e pesagem, também no laboratório da UFRJ e a metodologia de coleta foi caracterizada por amostragem de integração na vertical (Carvalho, 1994). Este método permite mistura de água-sedimento contínua dentro do coletor de sedimentos de suspensão, buscando sempre obter uma amostra representativa da carga sedimentar em suspensão que atravessa o rio. O amostrador se move verticalmente em uma velocidade de trânsito constante entre a superfície e um ponto a poucos centímetros acima do leito, permitindo a entrada da mistura numa velocidade quase igual à velocidade instantânea da corrente em cada ponto na vertical.

Ressalta-se que foi realizada as coletas de sedimentos de fundo e em suspensão tanto nos meses de abril e março (período este marcado por chuvas abundantes) como também nos meses de setembro e outubro (período marcado por chuvas mais escassas).

O objetivo nessas análises sedimentológicas foi caracterizar a dinâmica dos sedimentos fluviais em cada ponto de monitoramento, diferenciando pelo tipo de calibre e o grau de retrabalhamento dos sedimentos de fundo e expressividade para os sedimentos de suspensão.

5.2. Mapeamento da distribuição espaço-temporal das feições deposicionais:

A perspectiva em planta do canal é definida como a tomada aérea do rio, formando um ângulo de 90° entre o observador e o canal. Essa técnica de observação geralmente utiliza fotografias aéreas ou imagens de satélite em escala que permita o mapeamento das feições fluviais.

O objetivo do mapeamento nesta pesquisa foi identificar o padrão de evolução da morfologia do canal multi-temporais ao longo do curso do rio Macaé. Para tal, foram mapeados setores do canal Macaé, utilizando imagens do *Google Earth*TM, em escala aproximada 1:10.000 dos anos de 2003, 2006 e 2010. Essas imagens correspondem ao satélite *QuickBird*, e são obtidas de forma gratuita pelo programa mencionado.

Apesar das imagens não permitirem métodos quantitativos, em função da impossibilidade de georreferenciar as imagens com precisão cartográfica compatível com a escala de análise, há boa resolução, custo nulo na obtenção delas e principalmente porque elas podem oferecer imagens de diferentes períodos de análise.

Dentro desse contexto, vale ressaltar que Summerfield (1991) considera que as feições deposicionais podem ser encontradas tanto dentro do canal como na margem do canal. As feições de dentro do canal englobam os depósitos transitórios de canal, contento material de leito temporariamente em repouso; os depósitos prisioneiros, com presença de partículas grandes ou pesadas, mais permanente do que depósitos transitórios; e os de preenchimento de canais, constituídas por acumulações em segmentos de agradação, variando de material relativamente grosseiro de leito para grãos finos em depósitos de meandros abandonados.

Já as feições encontradas na margem do canal fluvial englobam os depósitos de agradação lateral, barras pontual e marginal que podem ser preservadas pela alteração do canal e anexado aos terraços.

5.3. Setorização e Padrões de Conectividade Longitudinal entre os trechos fluviais:

A Setorização realizada baseada no agrupamento de características geomorfológicas e hidrossedimentológicas do canal Macaé foi realizada com base na adaptação da metodologia dos Estilos Fluviais de Brierley & Fryirs (2003), que os consideram como segmentos do rio que apresentam um conjunto comum de características geomorfológicas e hidrodinâmicas e servem de base para 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 classificações de compartimentação, mesmo que cada trecho fluvial interaja de maneira particular com a paisagem em seu entorno. Assim, foram escolhidos parâmetros morfológicos e hidrossedimentológicas a fim de analisar apenas o comportamento da transferência de sedimentos fluviais de montante à jusante.

Já a classificação e compreensão da conectividade longitudinal do canal do rio Macaé foi adaptado da metodologia de Hooke (2003), no qual considera que há cinco tipos de conectividade de sedimentos grosseiros que podem ser identificados.

Os *Sistemas conectados*, onde os sedimentos fluviais se movem facilmente e frequentemente dentro do sistema canal, são transportados por eventos normais de cheias e geralmente podem ficar armazenados durante um tempo, mas são rapidamente removidos. Os *Sistemas Parcialmente (ou Periodicamente) conectados*, onde há somente um pequeno transporte de sedimentos grosseiros entre um trecho e outro, exceto em eventos extremos, isto é, só são transportados ocasionalmente.

Os *Sistemas Potencialmente conectados*, por sua vez, não permitem muita transferência de sedimentos grosseiros de um trecho para o outro, porque não há disponibilidade de sedimentos o suficiente a serem transportados. Os *Sistemas Não Conectados* são trechos que funcionam quase independentemente um do outro, pois a propagação de efeitos entre um e outro demora muito tempo ou precisa de um grande evento para acontecer. Isso pode ser explicado pela falta de competência do fluxo.

E por último, os *Sistemas Desconectados*, onde há presença de barreiras dentro do canal que impedem o movimento do fluxo, podendo ser estas naturais (bancos de areia) ou construídas (barragens para hidrelétricas).

As informações adquiridas durante a pesquisa foram inter-relacionadas levando a elaboração de uma mapa na escala 1:50.000 da Bacia do rio Macaé, com espacialização dos diversos setores encontrados por cores e símbolos para representar o padrão de conectividade longitudinal entre os trechos identificados.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES:

6.1. Caracterização Geomorfológica e Hidrossedimentológica:

6.1.1. Caracterização Geomorfológica:

A caracterização geomorfológica baseou-se na apresentação de informações referentes à morfologia de trechos do canal Macaé; aos aspectos do relevo e dos elementos da organização da rede de drenagem, sob escala regional como também, relacionadas às características morfométricas, analisadas sob a escala do rio Macaé.

6.1.1.1. Morfologia do Canal:

A morfologia dos canais varia devido à alternância dos processos de mobilização de sedimentos fluviais no decorrer do tempo e no espaço, sendo condicionada, geralmente pelas mudanças dos fluxos, pela variação da altura das lâminas d'águas, estabilidade das margens e também da carga existente. Estes constituem bons indicadores de mudanças de comportamentos das formas arenosas presentes dentro dos canais frente às novas condições impostas (Sumerfield, 1991; Brierley & Fryirs, 2005).

A partir dessas considerações, foram analisados os monitoramentos em seções transversais ao canal Macaé, identificando de forma qualitativa o comportamento da morfologia do canal em relação aos processos de erosão e sedimentação em área de seção transversal, em diferentes pontos do canal.

- Morfologia do canal Maca, à jusante do rio Bonito:

A seção transversal instalada nesse ponto de monitoramento, possui cerca de 42 m e está localizada aproximadamente 500m do encontro dos rios e em uma área com vales bem confinados. Ressalta-se que é uma área de difícil acesso devido à forte correnteza e por isso, só foi possível realizar coleta de sedimento de fundo e poucas medições em seção transversal (Figura 22).

Durante o período monitorado, outubro de 2007, outubro de 2008 e outubro de 2010, não ocorreram mudanças significativas no leito e nas margens do canal, devido, principalmente, à sua composição rochosa. No entanto, observa-se, apenas, que em outubro de 2010 há o predomínio de modificação de agradação, principalmente na margem esquerda e na parte central do canal, em relação aos anos anteriores (Figura 22).

Para este ano de 2010, a pluviosidade mensal, de acordo com os dados da ANA, foi relativamente baixa, com respectivas respostas das vazões médias

(106,90mm/5,20m³/s), se comparado aos anos de 2007 (53,90mm/3,537m³/s), 2008 (141,10/9,02m³/s) e 2009 (296mm/18,96m³/s). Assim as efetivas respostas das descargas fluviais podem ter influenciado na ocorrência de processos de erosão (quando ocorre aumento de chuva, como em 2009) e de processos de deposição (quando ocorre diminuição de chuva, como em 2010).

- Morfologia do canal Maca, à jusante do rio Sana:

Durante os meses de monitoramento da seção transversal localizada após a confluência dom o rio Sana, na qual possui cerca de 50,5 m de largura, observou-se que a profundidade do canal variou verticalmente, apresentando processo de acumulação e remoção alternada de sedimentos (Figura 22).

Além disso, considerou-se que o período que mais ocorreu deposição, na seção transversal, foi no ano de 2008 (março de 2008 a outubro de 2008); o que mais erodiu foi entre outubro de 2007 a março de 2008 e que foi somente a partir do ano de 2009 que o canal passou a ter maior regularidade, quanto ao entulhamento de sedimentos (Figura 22).

De acordo com os dados de pluviosidade da ANA, os processos de deposição relativos ao ano de 2008, podem estar associados à grande redução de chuva, já que em março de 2008 choveu cerca de 367,40mm com vazão correspondente a 45,48m³/s e o mês de outubro de 2008 com 141mm de chuva e 9,024m²/s de vazão.

Ressalta-se que embora tenha ocorrido redução progressiva dos dados de chuva e vazão no intervalo de outubro de 2007 a março de 2008, tendendo a processos de deposição, o mês março de 2008 teve uma altíssima pluviosidade e vazão (367mm/ 45,48m³/s), podendo favorecer mais a ocorrência dos processos de erosão.

Já a partir do ano de 2009, iniciou-se a predominância de uma maior concentração de sedimentos (deposição), porém de forma progressiva já que houve uma certa diminuição da chuva (309,50mm) e também da vazão, esta última apresentando aproximadamente a metade do valor do mês de março de 2008: 22,45m³/s.

- Morfologia do canal Maca, à jusante do rio D'antas:

A seção transversal possui cerca de 48,5 m de largura e diante dos meses de monitoramentos, outubro de 2007 a outubro de 2010, foi observada grande irregularidade entre as taxas de assoreamento e de erosão, se estabilizando somente a partir de Outubro de 2008 até os monitoramentos mais recentes, de 2010 (Figura 22).

Porém, apresentou baixa variação na migração vertical do rio, mantendo profundidade média de 3 a 3,5 metros e de 3 a 4 metros no período mais chuvoso (março) e menos chuvoso (outubro), respectivamente. Além disso, vem apresentando um processo de formação de um talvegue na margem esquerda, na qual propicia um gradativo processo de erosão desta margem (Figura 22).

Para os meses de mudança, a grande alternância entre os processos de erosão e deposição pode ter sido favorecida em função da variação da pluviosidade nos respectivos meses de março (todos choveram dentro de intervalos de 350mm a 200mm) e outubro (todos choveram em média de 50mm a 200mm). Porém, não foi observado relação com os dados hidrológicos e a maior estabilização dos processos de erosão e deposição após o mês de outubro.

- Morfologia do canal Macaé à jusante do rio São Pedro:

A seção transversal desta área possui cerca de 55 m de largura e como mostrado na Figura 39, a morfologia do canal apresentou as maiores mudanças no fundo do canal, onde estas se alternaram de 3 a 3,5 metros e de 4 a 2 metros no período menos chuvoso (outubro) e mais chuvoso (março), respectivamente (Figura 22).

Observa-se, também, que em ambos os meses a dinâmica entre assorear e erodir foi irregular, porém vêm ocorrendo forte tendência de assoreamento desde o monitoramento realizado em março de 2008 (Figura 22). É preciso ressaltar que embora a pluviosidade dos meses de março de 2008 (340,4mm) e março e outubro de 2009 (378,6mm e 236,5mm) foram bem altas, de acordo com os dados da ANA, nesta parte do canal houve maior mobilização de sedimentos, em função do grande aporte de sedimentos vindo do rio São Pedro, considerada maior sub-bacia da bacia Macaé.

Com isso, pode-se observar pelas análises das seções transversais ao canal Macaé que as maiores alterações morfológicas no canal, referentes aos processos de erosão e sedimentação, estão localizadas na parte mais à jusante da bacia, na confluência com o rio São Pedro. Apesar de estas análises serem qualitativas, pode-se apontar que as modificações referem-se, provavelmente, a interferência do processo de retificação, aliado ao maior aporte de sedimentos ao canal Macaé, oriundos da maior sub-bacia que é a do São Pedro.



Figura 22: Seções transversais ao canal Macaé: A- à jusante do rio Bonito; B- à jusante do rio Sana; C- à jusante do rio D'antas; D- à jusante do rio São Pedro.

6.1.1.2. Elementos da organização da rede de drenagem e Aspectos do relevo:

A identificação dos Padrões de Drenagem na Bacia do rio Macaé, analisados sob escala de 1:50.000, foi um dos elementos da organização da rede de drenagem levados em conta para interpretação das condições ambientais.

Assim, foram identificados quatro tipos de arranjos de drenagem distribuídos da seguinte forma (Figura 23): na parte oeste e central da bacia predominam o padrão de drenagem do tipo Paralelo e Treliça, respectivamente, caracterizados por uma drenagem com maior controle estrutural e com predominância de um relevo bem escarpado relacionados a Serra Macaé de Cima. Na parte leste da bacia predominam os padrões de drenagem Retangular e Dendrítico, cujo controle estrutural é menor em relação às áreas anteriormente descritas.

Destaca-se que o rio Macaé teve seu baixo curso todo retificado pelo extinto DNOS, na década de 1980, impossibilitando com isso a análise de padrões de drenagem nas áreas afetadas pela interferência nos canais fluviais.

Ao analisarmos a relação entre os aspectos do relevo, o desnivelamento altimétrico e a declividade do relevo na área da Bacia do rio Macaé, observa-se que há características bem marcantes e que se relacionam com os padrões de drenagem observados anteriormente. As Figuras 24 e 25 apresentam o mapa hipsométrico e de declividade, respectivamente, e mostram que as regiões mais elevadas da bacia, onde predominam os padrões de drenagem do tipo Paralelo, não coincidem com as áreas mais íngremes da bacia.

Ou seja, nas partes mais à montante do rio Macaé, onde há o predomínio do padrão de drenagem Paralelo tem-se a predominância de áreas com elevada altmetria, porém, não correspondendo às áreas com maior declividade dentro da bacia. Já na área central da bacia tem-se o predomínio das maiores declividades das encostas, onde os padrões de drenagem são Treliça e Retangular e os valores altmétricos são inferiores as partes mais à montante, como descritas anteriormente.

Observa-se, com isso, a diferenciação de três sub-domínios na área drenada pelo rio Macaé: **o primeiro**, localizado na porção oeste da bacia englobando a nascente do rio Macaé e onde se concentram as cotas mais elevadas (1820m a 860 m), com predominância do padrão de drenagem do tipo Paralelo e declividades pouco acentuadas. O **segundo**, localizado na porção central da bacia (860m a 350m) com predomínio do padrão de drenagem do tipo Treliça e Retangular correspondendo às áreas do médio curso do rio Macaé, marcadas por escarpas serranas, cujo relevo é

montanhoso, extremamente acidentado, com as maiores taxas de declividade e bem confinado ao canal Macaé. E o **terceiro**, localizado na porção leste (350m a 20m) cujo padrão predominante é o Dendrítico (Figura 24 e 25).

Estes três sub-domínios são condicionados pela estrutura geológica da região, assim como pela ocorrência das diferenciações litológicas do domínio da Serra Macaé de Cima. Estes sub-domínios englobam, respectivamente, as formas de relevo Escarpas Serranas e os Domínios de Colinas e Morros que se desenvolvem em direção ao litoral.



Figura 23: Mapa hidrográfico da Bacia do rio Macaé, com identificação dos padrões de drenagens e dos três sub-domínios.





Figura 25: Mapa de Declividade da Bacia do rio Macaé e dos três sub-domínios.

6.1.1.3. Características Morfométricas:

Segundo Tonello (2005), parâmetros morfométricos de uma bacia hidrográfica servem como subsídio ao conhecimento da relação entre o relevo e a dinâmica hídrica de uma bacia hidrográfica (relações de infiltração, quantidade de água produzida como deflúvio, os escoamentos superficiais e subsuperficiais, dentre outros). Refletem a sua estrutura geológica, a evolução morfogenética regional, como também o clima e as intervenções antrópicas predominantes.

Dessa maneira, foram analisados, sob escala do canal, informações a respeito das rupturas do perfil longitudinal; parâmetros de sinuosidade, declividade média e rugosidade do canal Macaé

O perfil longitudinal do rio Macaé apresenta diferentes rupturas, sendo duas principais consideradas aqui em função da compartimentação da bacia em alto, médio, baixo curso. Esta compartimentação foi caracterizada em função das diferenças altmétricas e de declividade do relevo, por apresentarem três grandes zonas com características semelhantes. Outros parâmetros como densidade e padrão de drenagem também foram analisados sob esse ponto de vista, mas não apresentam características compatíveis com as três zonas estabelecidas.

Dessa forma, o alto curso do rio Macaé inicia-se na nascente do rio, indo até cerca de 10 km, depois da confluência com o rio Sana e é caracterizado por áreas com relevo variando de 1.980m a 870m; o médio curso do rio Macaé inicia-se cerca de 10km depois da confluência com o rio Sana, indo até 15 km após o encontro com o rio D'antas e é caracterizado por área que variam de 870m a 430m e o baixo curso do rio Macaé, inicia-se 15 km depois do encontro com o rio D'antas, indo até a sua foz próximo a cidade de Macaé, compreendendo grande parte das áreas de planície, com relevos que variam de 430m a 20m.

Conforme a Figura 26, a primeira ruptura no perfil longitudinal está localizada próxima à confluência do rio Sana, aproximadamente no km 51 e, a segunda ruptura no perfil longitudinal localiza-se do km 96 em direção a foz, com um desnível de aproximadamente 20m, permitindo a dissipação de energia e o desenvolvimento de uma extensa planície de inundação.

É importante ressaltar que existem ao longo do perfil longitudinais outras inúmeras rupturas predominantes, que propiciam a formação de áreas com cachoeiras e áreas com grande retenção de sedimentos em forma de alvéolo em vales abertos. Porém, a escala de elaboração do perfil de 1:50.000 não permite visualizar em detalhe várias dessas áreas de quebra de ruptura, sendo portanto, observadas apenas em campo.

Destaca-se que no perfil longitudinal estão localizados os pontos de monitoramento da pesquisa em relação à coleta de informações sobre a morfologia do canal e medições de velocidade do fluxo do rio para posterior calculo de vazão, são eles: após a confluência com o rio Bonito; após o encontro do rio Sana; após do rio D'antas e, por último, a entrada do rio São Pedro (Figura 26).

Através da Figura 26, observa-se ainda que o perfil longitudinal apresenta três diferentes tipos de leitos fluviais: o leito rochoso, predominante no alto curso, que vai desde a nascente do rio Macaé até antes do encontro com o rio Sana, com vales bem confinados e elevadas serras locais, representado pela linha de cor avermelhada. O leito fluvial misto, no qual se caracteriza pela presença do leito rochoso, mas com algum desenvolvimento aluvial, está presente no final do alto curso e início do médio curso, no qual engloba grande parte das serras locais com as maiores declividades, representado pela linha verde. E o leito fluvial composto por aluvião na parte baixa da bacia, englobando a confluência com o rio D'antas, a parte retificada do Macaé e a confluência com o rio São Pedro, caracterizado por textura bem arenosa, representado pela linha amarelada.

Os indicadores físicos de sinuosidade, gradiente e rugosidade para análise de escala do canal Macaé foram selecionados para analisar, quantitativamente, o rio Macaé, nas áreas dos alto, médio e baixo cursos. Os dados apresentados na Tabela 6 apontam algumas características do canal, na medida em que se conhece a sua configuração geológica e geomorfológica, ou seja, as características naturais que podem servir como impedimentos e embarreiramentos para a transferência de sedimentos à jusante.

Assim, a área do alto curso do rio Macaé é a parte da bacia que possui maior declividade média (gradiente); baixa sinuosidade; e alta rugosidade do leito, se comparado às demais partes da bacia. Tais características tendem a favorecer, respectivamente, a velocidade do escoamento d'água; baixo amortecimento do fluxo com menor deposição de feições arenosas; e maior turbulência do fluxo.

Na área do médio curso do rio Macaé, o gradiente do canal diminui, constituindo uma área com maior dissipação de energia do fluxo e redução da velocidade do mesmo; o grau de sinuosidade aumenta consideravelmente, sendo marcado por canais bem meandrantes, maior amortecimento do fluxo e formação de feições mais arenosas; e redução da rugosidade do leito quando comparado ao alto curso, na medida em que o rio deixa de ter características rochosas e passa também ser aluvial.

Já o baixo curso é caracterizado por declividade média muito baixa, baixo grau de sinuosidade e rugosidade do leito. A retificação da década de 30 foi responsável pela redução desses valores, somados ao fato desta área ser caracterizada por extensas planícies, sem níveis de base e leito predominantemente aluvial.

Tabela 6: Parâmetros morfométricos calculados para as diferentes partes do rio Macaé: alto, médio e baixo cursos.

	alto curso	médio curso	baixo curso
Declividade média (%)	2,468	1	0,085
Índice de Sinuosidade (km/km)	1,68	2,05	1,4
Rugosidade do leito	3,0652	0,07178	0,0582



Figura 26: Perfil Longitudinal do rio Macaé e com informações de tipologia da geologia, tipo de leitos e localização dos pontos de monitoramento da pesquisa.

6.1.2. Caracterização Hidrossedimentológica:

Os ajustes de um canal fluvial estão ligados aos padrões de regime de fluxos e da carga transportada, seja vista por sua granulometria, pelo grau de arredondamento e seleção, como também pela expressividade da carga sedimentar em suspensão. Essas variáveis podem contribuir para a identificação das áreas-fontes, a distância de transporte dos clastos, auxiliando a compreender questões como as causas de assoreamentos e erosão dos canais (Hooke, 2003).

Nesse sentido, serão apresentadas a seguir informações relativas às características hidrológicas e sedimentológicas do rio Macaé.

6.1.2.1 Características e comportamento Hidrológico:

A utilização dos dados hidrológicos teve o intuito de entender a dinâmica de comportamento e o tempo de resposta do fluxo de vazão em relação à pluviosidade, através da identificação dos picos máximos e mínimos.

- Dados hidrológicos nas áreas do alto e médio curso:

A distribuição temporal da pluviosidade média anual e das vazões médias anuais no alto e médio curso do rio Macaé é representada na Figura 27 e é referente à Estação Galdinópolis, localizada no alto curso da bacia, com série histórica de 59 anos (1951 a 2010). Observou-se que a precipitação anual vem tendo um comportamento semelhante em todos os anos de análise, com poucos picos de chuva com valores acima de 180 mm, variando com valores entre 252 mm a 90mm.

Com comportamentos semelhantes, as vazões médias anuais vêm tendo poucos picos, variando com valores entre 2 m³/s a 7 m³/s, porém em certos anos (1962, 1968, 1982, 1983, 1985 e 1986), obteve resposta diferente no que diz respeito a quantidade de chuva, se comparada aos anos antecedente. Em 1962, por exemplo, choveu relativamente mais que o ano anterior e a vazão média anual foi maior, já em 1963, 1982 e nos demais anos indicados, choveu em menor quantidade, obtendo vazão média anual bem semelhante dos anos antecedentes que choveram em maior quantidade ou quase a mesmo valor.


Figura 27: Gráfico da distribuição temporal da pluviosidade média anual com a vazão média anual da Estação Galdinópolis. Fonte: ANA (Agência Nacional de Águas).

Em relação ao comportamento mensal, o padrão de precipitações e vazões fluviais foi analisado sob uma perspectiva mais detalhada, através de dados hidrológicos que datam entre os anos de 2000 a 2010 (Figura 28). Percebe-se que não há muitas mudanças no padrão das precipitações e a vazão máxima mensal, na qual tende a acompanhar os aumentos e diminuições de chuvas. Além disso, o rio Macaé apresenta picos de descarga definidos, com descargas máximas tendendo aos meses de dezembro, janeiro, março, nos quais variam durante a estação chuvosa, podendo chegar a 80m³/s nas vazões máximas. E nos períodos de estação mais seca, meses de julho a julho, apresentando vazões máximas mais baixas, atingindo cerca de 2,5 m³/s.

Embora ocorram meses com alta pluviosidade como dezembro e janeiro, não são estes os meses com as maiores variações de vazões e sim os meses de março. Os meses de junho e julho choveram em média 28,68mm e 54,68mm, respectivamente. Porém, tanto o ano de 2004 foi anômalo para o mês de julho, pois choveu bem mais do que o normal (161,5mm), como o ano de 2005 para o mês de junho (87,6mm). É interessante ressaltar, que embora tenha ocorrido o aumento de chuva nesses anos, a vazão máxima não obteve muito acréscimo de valores, permanecendo baixas.

No que diz respeito à variabilidade de vazões mensais, o mês de outubro foi um dos poucos meses que obteve valores baixos e constantes de vazões, com pluviosidade atingindo em média 135,08mm, exceto os anos de 2006 e 2009. Esse último ano foi

considerado destoante para o seu padrão de comportamento, pois choveu cerca de 300mm com correspondência da vazão máxima.



Figura 28: Gráficos de distribuição temporal das chuvas e das vazões mensais durante o período de 2000 a 2010 da Estação Galdinópolis. Fonte: ANA (Agência Nacional de Águas).

- Dados hidrológicos nas áreas do baixo curso:

Em função de não haver dados hidrológicos de vazão fornecidos pelo site da ANA na área do baixo curso da Bacia Macaé, foram utilizados os dados de vazão calculados pelas velocidades do fluxo de água, medidas em trabalho de campo nos pontos de monitoramento em seção transversal ao canal Macaé, após as desembocaduras dos rios D'antas e São Pedro, localizados no médio/baixo curso da bacia (Tabela 7). Tais dados foram relacionados com gráficos de pluviosidade de dados da série histórica de 42 anos, retirados da Estação pluviométrica Fazenda Oratório, localizada também no baixo curso da bacia (Figura 29) e de dados de variação mensal dos últimos 10 anos da série histórica dessa mesma Estação (Figura 30).

Dessa forma, observa-se que a pluviosidade média anual permanece relativamente baixa, variando em torno de 160mm, porém, vem aumentando ao longo dos anos. Em relação aos meses, destaca-se que os meses de dezembro, janeiro, março e outubro, tiveram os maiores picos pluviométricos, porém, o mês de março foi mais instável (Figura 29).

Observa-se que as vazões nesses pontos de monitoramentos refletem bem a discrepância de pluviosidade entre os meses de outubro e de março, já que os primeiros são caracterizados por valores bem inferiores, com dados variando de 6,7 m³/s a 21 m³/s, enquanto que o mês de março atinge valores acima de 50m³/s (Tabela 7).

Tabela /:	l abela de dados	de vazao coletado	os em trabalho	de campo (c	out. 2007 a ma	r. 2010).

Seção	Out. 2007	Mar. 2008	Out. 2008	Mar. 2009	Out. 2009	Mar. 2010
Após o Rio Dantas	12,11	59,4	6,77	62,4	15,86	
Após rio São Pedro	19,56	39,7	21,48	36,7	8,64	62,32

2007

0010



Figura 29: Gráfico da distribuição temporal da pluviosidade média anual da Estação Fazenda Oratório para a série de 42 anos. Fonte: ANA (Agência Nacional de Águas).



Figura 30: Gráfico da distribuição temporal das chuvas mensais da Estação Fazenda Oratório para os 10 últimos anos de análise. Fonte: ANA (Agência Nacional de Águas).

Nessa mesma questão de falta de dados, não foi possível relacionar a variabilidade da descarga entre o alto e baixo curso, mas observa-se que o alto curso não possui alta discrepância dos valores entre vazão máxima e mínima, não tendendo a acarretar muitas modificações no canal, sejam elas morfológicas e sedimentológicas (Tabela 8).

Tabela 8: Dados hidrológicos com coeficientes médios de variabilidade de vazões para o rio Macaé dentro do período de 1951 a 2010. Fonte: ANA (Agência Nacional de Águas).

Estação	Vazão média	Vazão	Vazão Mínima	Coeficiente
Hidrológica	anual	Máxima		média de
				Variabilidade
	Qm (m³/s)	Qmax (m³/s)	Qmín (m³/s)	(Qmax/Qmin)
Estação	4,33	6,94	1,78	3,89
Galdinópolis				

Em síntese, observou-se que tanto os valores anuais e mensais de pluviosidade e de vazão do alto/médio curso, apresentados pelo site da ANA, possuem comportamento semelhante, com poucos picos de chuva e com descargas fluviais respondendo de forma imediata aos aumentos e reduções pluviométricas, na maioria das vezes. Além disso, os meses mais chuvosos variaram entre dezembro, janeiro e março, sendo este último o

que mais varia, e os meses que são caracterizados por baixa pluviosidade são os de junho e julho.

Vale ressaltar, que mesmo em épocas onde há aumento da pluviosidade nos meses do meio do ano (junho e julho) a vazão não responde com os respectivos aumentos. Como também, o mês de outubro, embora apresente vazões baixas, se comparado aos meses do início do ano, são valores quase sempre constantes, sem muita variação de fluxo (a razão entre as vazões máximas e as mínimas se mantem praticamente constante).

Já no baixo curso, a pluviosidade anual é baixa (em torno de 160mm), com os meses de dezembro, janeiro e março em destaque para os maiores picos de chuva, apresentando, também, esse último mês, grandes variações de chuva e descargas fluviais. Destaca-se que nesta parte baixa da bacia, a vazão tende a ser mais alta se comparada as áreas do alto curso, em função, principalmente, da sua posição de escoamentos de fluxos vindos à montante, como também pela artificialização do canal Macaé, na qual propiciou a ampliação das descargas nas desembocaduras.

6.1.2.2 Características e comportamento Sedimentológico:

As análises dos sedimentos fluviais foram realizadas em sedimentos de fundo coletados no leito do rio Macaé e em suspensão. São apresentados a seguir informações dos sedimentos coletados nas mesmas áreas de monitoramento da morfologia do canal Macaé, próximos às confluências com os rios Bonito, Sana, D'antas e São Pedro.

- Sedimentos coletados na confluência com o rio Bonito:

A área localizada após a confluência com o rio Bonito é caracterizada pela presença de inúmeros aglomerados de blocos rochosos, matacões, seixos concentrados lateralmente e, também, no centro do canal. De acordo com as coletas de sedimentos de fundo, identifica-se uma área com descarga sólida de fundo caracterizada por alta expressividade de areia muito grossa, grãos angulosos a sub-angulosos e mal selecionamento, sendo que os meses de outubro apresentam, em geral, um padrão de areia muito grosseira a média e nos períodos de março, maior expressividade de grânulos e areia muito grossa (Figura 31).

O curso do rio, nesse trecho, possui elevada declividade, irregularidade e rugosidade, com presença de fluxo turbulento, caracterizando uma zona de alta energia,

além de atravessar ambientes de escarpas serranas apresentando seqüência de soleiras prolongadas (*riffle*) e de umbrais (*pool*).

Considera-se que os sedimentos que são retrabalhados nesse ponto, podem ser de origem fluvial (vindos como descarga sólida do rio Bonito e da nascente, principal área produtora de sedimentos) como também de origem coluvial, pois é uma área que possui quase que direta conexão com as encostas.

- Sedimentos coletados na confluência com o rio Sana:

A área do ponto de monitoramento localizado após a confluência com o rio Sana caracteriza-se pelo estabelecimento de ilhas fluviais compostas por grande variedade granulométrica. Essas áreas costumam ser ativas durante as cheias, permitindo retrabalhar inclusive os sedimentos fixados às margens das ilhas.

De acordo com as análises sedimentológicas, há forte expressividade de seixos, grãos angulosos e mal selecionamento para os sedimentos de fundo. Normalmente, os meses de outubro são caracterizados por areia muito grossa a grossa, porém no ano de 2009, houve maior expressividade de seixos e grânulos do que nos meses de março, o que pode ter relação com a alta pluviosidade e vazão no mês de outubro (296mm/18,96m³/s). Já os sedimentos em suspensão continuam com baixa expressividade, onde se percebe um pequeno aumento, característicos de áreas onde há influencias de tributários (no caso, o Sana) (Figura 31).

- Sedimentos coletados na confluência com o rio D'Antas:

O ponto de monitoramento localizado depois da confluência com o rio D'antas está a alguns metros à montante do último meandro que o rio Macaé desenvolve, antes da retificação do canal. De acordo com as análises sedimentológicas realizadas em laboratório, esta área é caracterizada por sedimentos de fundo com alta expressividade de areia grossa a média, grãos sub-angulosos a sub-arredondados e moderado selecionamento. Os sedimentos em suspensão se tornam, nesse ponto, mais expressivos, principalmente no mês de outubro de 2008 (Figura 31).

- Sedimentos coletados na confluência com o rio São Pedro:

O ponto de monitoramento localizado depois da confluência com o rio São Pedro possui forte expressividade de areia média e grossa, além de pequena percentagem de seixos. Tais partículas de maior granulometria podem ser de origem da erosão de margens do próprio canal em função do aumento da velocidade do fluxo e conseqüentemente aumento da capacidade de carreamento de partículas grosseiras. Os sedimentos em suspensão voltam a se tornar mais expressivos variando entre 0,03g a 0,06g (Figura 31).

Em síntese, observa-se que houve pouca variação granulométrica ao longo do curso do rio Macaé, já que, na maior parte foram encontrados sedimentos fluviais de fundo do tipo areia (grossa a média). As partículas mais grosseiras foram mais encontradas no ponto de monitoramento da confluência com o rio Sana e, também, com maior arredondamento, no baixo curso. Acredita-se que esse aumento anômalo ocorra em função da retificação realizada no baixo rio Macaé, que além de acelerar o fluxo e carrear partículas maiores, pode gerar maior arredondamento dos grãos.

Já os sedimentos em suspensão não foram muito expressivos, na maioria dos pontos de monitoramento. A área após a confluência com o rio São Pedro foi a que apresentou os maiores valores e de forma mais constante, indicando a possível influencia pluviométrica dos meses de março e de outubro, já que nos primeiros a expressividade foi maior do que nos meses de outubro.









Rio Macaé à jusante do rio Bonito

Rio Macaé à jusante do rio Sana

Sedimento em Su	ispensão (g)	
OUT. 2007	0,022	
MAR. 2008	0,017	
OUT. 2008	0,043	

Sedimento em Suspensão (g)

Sedimento em Suspensão (g)

0,028

0,047

0,025

0.034

0,053

0,035

0.031

0,061

Rio Macaé à jusante do rio D'antas

OUT. 2007

OUT. 2008

MAR. 2010

Rio Macaé à jusante do rio São Pedro

OUT, 2007

MAR. 2008

OUT. 2008

MAR. 2010

MAR. 2011









Figura 31: Análises em Granulometria; Grau de Arredondamento para os sedimentos de fundo; e expressividade dos sedimentos em suspensão de todos os pontos de monitoramentos da pesquisa.

6.2. Mapeamento da distribuição espaço-temporal das feições deposicionais:

A identificação e caracterização das formas deposicionais no canal Macaé foi realizada através da interpretação e mapeamento de imagens de satélites do *Google Earth*, em três períodos distintos (2003, 2006, 2010) e em diferentes partes do canal. A descrição das feições fluviais reflete o comportamento dos processos atuantes dentro do rio, dos seus padrões de transporte, sua carga sedimentar, na medida em que se constituem variáveis interligadas e qualquer mudança em uma delas acarreta novos ajustes e novas condições ao canal (Leopold *et al.*, 1964; Schumm, 1977; Christofolletti, 1990; Summerfield, 1991).

Nas tabelas 9 e 10 são apresentadas as diferentes feições deposicionais mapeadas dentro e na margem do rio Macaé, com suas respectivas descrições e comparadas à descrição apresentadas por Brierley & Fryirs (2005). São elas: *Matacão ou Bloco Rochoso; Barra Lateral; Ilhas Fluviais; Barras Longitudinais, Barras Submersas, Delta Fluviai; Barra de Pontal.* Apesar de algumas feições ocorrerem em mais de um tipo de parte dentro do canal Macaé, a maneira com que elas se configuram permitiu identificar diferentes sequências e padrões de comportamento, podendo inferir sobre os processos atuantes, em cada trecho descrito.

Feição	Traduzido e adaptado de Brierley	Localização no rio Macaé	Descrição das feições
Morfológica-	& Frirys (2005)		identificadas
Deposicional			
	Conjunto de matações denositados em		
Blocos rochosos diversificados	condições de grande magnitude, quando a competência do fluxo diminui, gerando obstáculos. Sua organização inicia-se primeiro com a deposição de matacões, e vai diminuindo seu diâmetro em direção à jusante, com a deposição de blocos, calhais e seixos.	São encontradas tanto no alto como no médio curso.	Apresentam-se em diferentes tamanhos, de forma aglomerada e/ou próximas a ilhas fluviais no alto curso do rio Macaé. São estáveis em função dos grandes calibres.
Ilhas fluviais	Depósitos de centro de canal com presença de vegetação. São formadas por redução de competência do canal, onde primeiramente se estabiliza a vegetação no início da barra, o que favorece a sedimentação, induzindo seu crescimento. Possuem certa estabilidade e são formadas por materiais mais grosseiros que as barras.	São encontradas tanto no alto, médio como no baixo curso.	Apresentam-se em diferentes tamanhos e são, muitas vezes, vegetadas, com blocos rochosos as margeando.
Barras longitudinais	Depósitos de centro de canal, alongados, diminuindo seu tamanho em direção à jusante. São compostos por sedimentos finos, sendo os mais grosseiros localizados no início da barra. Diferenciam-se das ilhas pela ausência de vegetação e alta instabilidade.	São encontradas nas áreas de médio e baixo curso.	Apresentam-se em diferentes tamanhos.
Barras		São encontradas no médio e baixo	Apresentam-se em diferentes
Submersas		curso.	tamanhos e épocas de vazão.
Delta fluvial	São feições formadas em locais de confluência de rios, onde a carga detrítica depositada é maior que a carreada pela erosão.	É encontrada no médio curso do rio Macaé.	Apresenta-se somente na confluência com o rio D'antas com variações de tamanho ao longo do tempo.

Tabela 9: Feições Deposicionais dentro do canal Macaé.

Feição	Traduzido e adaptado de	Localização no rio Macaé	Descrição das feições
Morfológica-	Brierley & Frirys (2005)		identificadas
Deposicional			0
Barra Lateral	Barra composta por areia e cascalho, desenvolvida junto à margem do canal em trechos estreitos. Ocorrem geralmente sobre lados alternados do canal, induzindo no aumento da sinuosidade do fluxo. São formados em períodos intermediários de	São encontradas nas áreas de médio e baixo curso do rio Macaé.	Apresentam-se, geralmente, em forma alongada.
	recessão do fluxo, por processos de acresção lateral ou oblíqua.		
Barra de Pontal	Porção arenosa localizada na margem convexa dos rios ou em algumas ilhas fluviais que ficam descobertas durante a vazante do rio. São resultantes da alteração lateral na forma do canal, com deposição na margem convexa e erosão na margem côncava. A carga de fundo (areia e cascalho) é movida por tração em direção à margem convexa por fluxo helicoidal.	São encontradas predominantemente nas áreas do médio curso do rio Macaé.	Possuem tamanhos variados e apresentam-se na margem convexa dos meandros.

Tabela 10: Feições Deposicionais na margem do canal Macaé

A seguir são apresentados, para diferentes trechos do canal Macaé, o comportamento temporal das feições geomorfológicas identificadas:

Blocos rochosos diversificados: Os blocos rochosos e matacões apresentam-se em diferentes tamanhos e são encontrados, principalmente, de forma aglomerada no alto curso, na margem e no centro do canal Macaé. No final do alto curso, aparecem, também, junto de ilhas fluviais, cuja dinâmica de aumento e redução de tamanho podem estar relacionado em função da presença desses blocos rochosos, nos quais contribuem para acumulação de sedimentos mais finos à sua jusante.

No trecho do canal fluvial localizado à montante do rio Macaé (Figura 32) podese observar, diante dos três anos de análise (2003, 2006 e 2010) pouca mudança na morfologia do canal como também das feições rochosas. Estas aparentam ser mais estáveis, devido a sua difícil locomoção em função do peso e calibre, permanecendo sem muita movimentação, sendo retrabalhados pelo fluxo turbulento que segue à jusante.

Ilhas Fluviais: São encontradas nas áreas localizadas no final do alto curso e início do médio curso do rio Macaé e possuem tamanhos variados, sendo em grande parte das vezes vegetadas, alongadas na direção do fluxo e com blocos rochosos margeando, tanto à montante como à jusante da feição. Ressalta-se que estes blocos são acumulados muito em função da transferência de fluxos à jusante. Observa-se que estes tendem a condicionar a formação e estabilização dessas feições vegetadas por dificultarem a passagem do fluxo e aumentarem, assim, a retenção de sedimentos vindos da nascente e das vertentes confinadas diretamente ao canal (Figura 33).

Estas feições oscilam em períodos diferentes, como visto na Figura 33. Do ano de 2003 (Figura 33A) para o ano de 2006 (Figura 33B) ocorre pequena redução de tamanho das ilhas fluviais e aumento considerável da aglomeração de seixos e blocos rochosos à montante. O mesmo acontece durante o intervalo analisado para o ano de 2006 (Figura 33B) para o ano de 2010 (Figura 33C).

Pode-se considerar que a erosão regular dessas ilhas fluviais e a grande concentração de grãos de granulometria de alto calibre podem estar associadas aos momentos com vazões mais altas em função da alta pluviosidade do alto curso, geralmente em meses que variam de dezembro a março.



Figura 32: Blocos rochosos dispostos em diferentes posições no canal Macaé em diferentes períodos de observação. Fonte Google Earth dos anos de 2006 e 2010.



Figura 33: Ilhas fluviais vegetadas de diferentes tamanhos presentes no canal Macaé. Fonte: Google Earth dos anos de 2003, 2006 e 2010.

Barra arenosas (Lateral, Longitudinal, Submersa, de Pontal, Delta Fluvial): Estão presentes tanto no médio como no baixo curso do rio Macaé. São caracteristicamente arenosas e possuem grande migração à jusante, na medida em que ocorrem sucessivas passagens de fluxos, propiciando o retrabalhamento e deposições destas em vários tamanhos e posições no canal.

No médio curso apresentam-se com seqüências alternadas entre si. No início do seu curso, observou-se que em 2003 (Figura 34) ocorreu o predomínio de barras laterais, com algumas barras longitudinais e barras de pontal; em 2006 (Figura 34B) as barras laterais e longitudinais desaparecem, com redução das barras de pontal e aparecimento das barras submersas; e em 2010 (Figura 34C), as barras de pontal oscilam e as barras submersas tendem a aumentar em todo o trecho mapeado.

No final do médio curso observou-se que em todos os três anos de análise (2003, 2006 e 2010 – Figuras 35 D,E,F) predominaram as feições de barra de pontal e o delta fluvial na confluência com o rio D'antas. Porém, em 2003 as barras longitudinais e laterais eram muito mais expressivas se comparadas aos anos seguintes (desaparecem); em 2006 o delta fluvial aumenta, aparentemente, de tamanho; e em 2010, barras submersas aparecem em quase todo o trecho, além de ressaltar a forte modificação na margem do canal Macaé.

Já no baixo curso, as barras arenosas apresentam-se de forma diferenciada tanto no início como no final da parte retificada do canal Macaé, com diferentes sequências de barras submersas e de ilhas vegetadas. Assim, no início da retificação (Figura 36) observou-se que no ano de 2003 o canal não aparentava ter feições arenosas, enquanto que nos anos seguintes (2006 e 2010) barras submersas alternadas nas margens do canal aumentaram em freqüência. Já no final da retificação (Figura 37), após a confluência com o rio São Pedro, o canal não apresenta muitas feições, sendo somente observado em um trecho a oscilação de pequenas ilhas fluviais vegetadas. Na seqüência temporal de 2003 para 2006 e 2010, observou-se redução de tamanho progressivo desaparecimento destas.



Image e 2010DigitalSide

Figura 34: Seqüências de Barras arenosas no inicio do médio curso do rio Macaé. Fonte: Imagens do Google Earth nos anos de 2003, 2006 e 2010.





Figura 35: Sequências de Barras arenosas no final do médio curso do rio Macaé. Fonte: Imagens do Google Earth nos anos de 2003, 2006 e 2010.



Figura 36: Oscilação de barras arenosas no início do baixo curso do canal Macaé. Fonte: Imagens do Google Earth nos anos de 2003, 2006 e 2010.





Figura 37: Oscilação de barras arenosas no final do baixo curso do canal Macaé. Fonte: Imagens do Google Earth nos anos de 2003, 2006 e 2010.

6.3. Setorização e Padrões de Conectividade Longitudinal do rio Macaé:

6.3.1 – Setorização do Rio Macaé:

A integração das diversas análises realizadas ao longo da pesquisa, referentes aos parâmetros geomorfológicos e hidrossedimentológicos do canal Macaé e das ocorrências das feições fluviais resultaram na identificação e diferenciação de quatro principais trechos fluviais distintos, com características e comportamentos diferentes, em relação à transferência longitudinal de sedimentos fluviais (Figura 38).

A setorização desses quatro trechos fluviais indica comportamentos geomorfológicos e hidrossedimentológicos semelhantes e observados durante o período de monitoramento apresentados pela pesquisa.

Destaca-se que a compartimentação apresentada para o alto, médio e baixo curso da Bacia do rio Macaé (ver Figura 26) assemelha-se com a compartimentação dos trechos, aqui invidualizados em termos de transferência de sedimentos no canal Macaé.

A seguir, tem-se a descrição das características e comportamentos geomorfológicos e hidrossedimentológicos dos quatro trechos fluviais identificados no rio Macaé.

TRECHO FLUVIAL I - localizado no alto curso do rio Macaé, correspondendo a áreas com elevada energia e potencial de erosão; tem cerca de 51km de extensão (Figuras 38 e 39). O canal fluvial nesse trecho possui baixa sinuosidade (1,54km/km), declividade média a alta (2,5%) e alta rugosidade do leito (2,540), esta última variável pode ser associada ao leito predominante rochoso. Essas características em conjunto induzem a este trecho um fluxo bem turbulento, com grande velocidade de escoamento e alta energia de transferência de sedimentos à jusante.

Há forte presença de *matacões* e *blocos rochosos* na margem e no centro do canal dispostos em diferentes posições. Através da análise temporal apresentada no item anterior, considera-se que tais feições são altamente estáveis, de difícil locomoção em função dos seus tamanhos, sendo constantemente retrabalhados pelo regime de cheias (Figura 40).



Figura 38: Mapa de setorização dos trechos fluviais identificados no rio Macaé.

Pode-se dizer que de acordo com o regime hidrológico atuante neste trecho há maior influencia de transporte de sedimentos finos à jusante do que de sedimentos de fundo variando de matacão a blocos rochosos. Isso porque, mesmo em épocas onde há aumento de chuva e correspondência da vazão máxima (variam em torno de 10 a 20m³/s nos meses de dezembro a março), estas ainda não são suficientes para mobilizar os sedimentos fluviais de alto calibre presente na maior parte do alto curso (Figura 40).

Trata-se, portanto, de um trecho marcado por forte produção de sedimentos, com alta transferência destes, à jusante. Exemplo disto pode ser observado na Figura 41 na mostra a seqüência de três mapeamentos de imagens do *Google Earth*, onde em 2003 ocorreu um grande movimento de massa em uma encosta conectada diretamente ao canal e no qual foi comprovado em trabalho de campo. Segundo as imagens seqüenciais de 2006 e 2010, não foi observada retenção desses sedimentos coluviais próximo a área de deslizamento, indicando uma rápida transferência de fluxos e sedimentos à jusante.



Figura 39: (A) Canal bem confinado com blocos rochosos dispostos em diferentes posições; (B) Matacões e Blocos rochosos dentro do canal Macaé. Foto: LAGESOLOS/UFRJ.





Figura 40: TRECHO FLUVIAL I - (A) Imagem do *Google Earth* de 2003, 2006 e 2010, com destaque para os blocos rochosos; (B) Localização do Trecho Fluvial I no perfil longitudinal do rio Macaé; (C) Gráfico com série histórica da relação entre pluviosidade e vazão referente à Estação Galdinópolis.





Figura 41: Deslizamento de terra em uma encosta conectada direamente ao canal Macaé, em três tempos: 2003, 2006 e 2010. Fonte: Imagem do Google Earth.

TRECHO FLUVIAL II – Localizado em áreas bem confinadas do alto curso e início do médio curso (Figura 35); possui 24km de extensão (Figuras 38, 42 e 43). O canal Macaé, neste trecho, é caracterizado com elevada sinuosidade (2,18km/km), declividade média relativamente baixa (1,6%) e diminuição da rugosidade do leito (0,776). É marcado pela forte presença de *ilhas vegetadas* com blocos rochosos dispostos em diferentes posições. Os que se localizam à montante das ilhas fluviais ficam mais concentrados após períodos de vazões altas (março e abril), nas quais propiciam, também, a modificação de tais feições em períodos sucessivos de erosão e sedimentação.

Já os blocos encontrados à jusante, tendem a condicionar a formação e estabilização dessas feições vegetadas por dificultarem a passagem do fluxo e aumentarem, assim, a retenção de sedimentos vindos da nascente e das vertentes confinadas diretamente ao canal (Figura 42 A e C).

As oscilações dessas ilhas são claramente vistas nas imagens temporais dos anos de 2003, 2006 e 2010 da Figura 42. As três imagens correspondem aos meses de junho e julho, meses caracterizados por baixas pluviosidades e vazões máximas correspondentes. Mesmo em épocas de aumento progressivo de chuva (2004 pra junho e 2005 para julho), as vazões máximas continuam baixas (em torno de 10m³/s), não caracterizando vazões capazes de mobilizar sedimentos bem grosseiros e provocar modificações em feições fluviais.

Percebe-se que com o passar do tempo, as ilhas vão diminuindo de tamanho à montante e os blocos vão se acumulando. Essa aglomeração se deve aos momentos de vazões mais altas nos meses referentes a março e outubro, sendo que este embora apresente baixas vazões, contribui de forma muito mais significante na mobilização de sedimentos do que os meses do meio do ano (julho e julho).

Logo, pode-se dizer que, nessa parte do canal, prevalece certa dissipação de energia em decorrência da diminuição da declividade e do confinamento do vale, propiciando transferências de sedimentos mais lentas. Este comportamento propicia deposições em forma de barras arenosas estáveis, na maioria com presença de vegetação. Além disso, a própria configuração do canal, ao longo do tempo, retrata que não há muitas modificações em sua largura, salientando que a dinâmica sedimentológica nesse trecho é baixa e sem muitas alterações, pelo menos na escala de tempo analisada.



Figura 42: Parte do canal após o encontro o rio Sana: (A) Ilhas vegetadas; (B) blocos rochosos margeando as ilhas fluviais vegetadas. Foto:LAGESOLOS/UFRJ.







Figura 43: TRECHO FLUVIAL II- (A) Imagem do *Google Earth* de 2003, 2006 e 2010, com destaque para as ilhas vegetadas; (B) Localização do Trecho Fluvial II no perfil longitudinal do rio Macaé; (C) Gráfico com série histórica da relação entre pluviosidade e vazão referente à Estação Galdinópolis.

TRECHO FLUVIAL III – Localizado no médio curso e correspondem a áreas que apresentam processos mais lentos de transporte de sedimentos, marcados com maior quantidade de feições deposicionais fluviais e refletem a alta produção sedimentar no alto curso; possui 23 km de extensão (Figura 38). A sinuosidade é relativamente alta (1,66km/km), possui declividade média e índice de rugosidade muito baixo (0,13%) e 0,0582 respectivamente). É marcado por inúmeras seqüências alternadas de *barras submersas, barras laterais, barras longitudinais* e *barras de pontais*, em todo o trecho (Figuras 44).

Tais feições são caracteristicamente arenosas e possuem alta migração à jusante, à medida que ocorrem sucessivas passagens de fluxo, propiciando o retrabalhamento tanto lateral como vertical em função do caráter sazonal do regime hidrológico operado pelo rio Macaé. Isto é, quando a competência de transporte de sedimentos do canal diminui, tende a ocorrer a acumulação dos sedimentos no fundo do canal (barras submersas) em função do grande aporte de sedimentar e do padrão de sinuosidade do canal. Porém, nos fluxos de cheias, há mobilização de sedimentos do leito para as barras laterais e longitudinais e vice- versa, dinamizando as transferências do canal.

Devido às diferentes disposições de seqüências de feições deposicionais encontradas, esse trecho foi subdividido em subsetores. O primeiro, possui cerca de 13km (Figura 45), é fortemente marcado por curvas de meandros bem abertas com sinuosidade de 1,44km/km e declividade media de 0,11% rugosidade de 0,0291; possui além disso, seqüências alternadas de *barras de pontal, longitudinais, laterais* e *barras submersas*, evidenciando os reflexos das vazão do alto curso. E o segundo, com cerca de 10km, marcado pela presença de curvas meandricas mais fechadas com sinuosidade de 2km/km, declividade média de 0,15% e rugosidade de 0,0291; possui além disso maiores oscilações com as barras de pontal e barras submersas (Figura 46).



Figura 44: (A) Médio curso, vales abertos e canal Macaé sinuoso; (B) confluência com o rio D'antas e o delta fluvial. Foto:Autor: LAGESOLOS/UFRJ.





Figura 45: TRECHO FLUVIAL III- (A) Imagem do *Google Earth* de 2003, 2006 e 2010, com destaque para as barras arenosas; (B) Localização do Trecho Fluvial III no perfil longitudinal do rio Macaé; (C) Gráfico com série histórica da relação entre pluviosidade e vazão referente à Estação Galdinópolis.





Figura 46: TRECHO FLUVIAL III- (A) Imagem do *Google Earth* de 2003, 2006 e 2010, com destaque para as barras arenosas; (B) Localização do Trecho Fluvial III no perfil longitudinal do rio Macaé; (C) Gráfico com série histórica da relação entre pluviosidade e vazão referente à Estação Galdinópolis.

TRECHO FLUVIAL IV – Localizado no baixo curso do rio Macaé e corresponde a áreas com feições fluviais menos freqüentes; possui cerca de 38km de extensão (Figura 38). Em função da retificação presente em todo o baixo curso, não possui sinuosidade natural, com valores chegando a 1,31km/km e, pelo mesmo motivo, possui declividade média e rugosidade muito baixa (0,05% e 0,0388 respectivamente) (Figuras 47).

Este trecho também foi subsetorizado em função de apresentar partes com disposições de feições geomorfológicas próprias em seus percursos. O primeiro subsetor, com 23 km de extensão vai do início do trecho à montante, até próximo ao encontro com o rio São Pedro, possui sinuosidade de 1,09 km/km; declividade média de 0,0869 %; e rugosidade de 0,0388; com grandes oscilções de *barras submersas* nas margens do canal (Figura 48).

O segundo subsetor, vai do encontro com o rio São Pedro até o final do canal Macaé, com cerca de 15km de extensão; possui sinuosidade de1,15km/km; declividade média de 0,133%; e rugosidade de 0,0388.É caracterizado por presença escassa de *barras submersas* (tendem a aparecer somente em certos períodos de vazão baixa e nas partes próxima à foz) e uma maior oscilação de pequenas ilhas fluviais vegetadas (Figura 49).



Figura 47: Baixo curso do rio Macaé, marcado pela retificação e por amplas planícies aluviais. Foto: LAGESOLOS/UFRJ.





Figura 48: TRECHO FLUVIAL IVI- (A) Imagem do Google Earth de 2003, 2006 e 2010, com destaque para as barras submersas; (B) Localização do Trecho Fluvial IV no perfil longitudinal do rio Macaé; (C) Gráfico com série histórica da relação entre pluviosidade e vazão referente à Estação Fazenda Oratório.





Figura 49: TRECHO FLUVIAL IV- (A) Imagem do Google Earth de 2003, 2006 e de 2010, com destaque para as feições fluviais. (B) Localização do Trecho Fluvial IV no perfil longitudinal. (C) Gráfico com série histórica da relação entre pluviosidade e vazão referente à Estação Fazenda Oratório.

6.3.2 - Padrões de Conectividade Longitudinal do rio Macaé:

Os quatros trechos fluviais individualizados e descritos no item anterior foram analisados com base na relação da transferência de sedimentos, intra e inter os trechos fluviais, de acordo com a proposta apresentada por Fryirs *et al.* (2007) e Hooke (2003).

De acordo com estes autores, a identificação de diferentes tipos de conectividades estabelecidos intra e inter ambientes fluviais contribuem para a avaliação de respostas e novos ajustes em diferentes partes do canal fluvial, frente à intensificação de distúrbios. Ou seja, dependendo do grau de conectividade entre os ambientes fluviais, a propagação dos efeitos dos impactos pode ser maior ou menor, gerando ajustes à jusante, com diferentes intervalos de tempo.

Conforme a classificação apresentada por Hooke (2003), na Bacia do rio Macaé foram identificados três principais tipos de conectividade na transferência longitudinal de sedimentos inter trechos e dois para intra trechos entre os quatro trechos fluviais identificados: **conectados**, **potencialmente conectados**, **para intra trechos** e alta e média transferência para os segundos.

Nesse sentido, os trechos fluviais foram avaliados e individualizados com base na análise das características e comportamento das feições geomorfológicas e hidrossedimentologicas dentro do canal Macaé. A Tabela 11 apresenta as características físicas como também o tipo de conectividade existente nos quatro trechos fluviais individualizados (*TRECHOS FLUVIAIS I, II, III e IV*) e a Figura 50 mostra a espacialização e padrões de conectividades identificados.

Destaca-se que as mudanças bruscas entre as sequências de feições geomorfológicas podem ser compreendidas em função do grau de sinuosidade, do grau de rugosidade do rio, do gradiente do perfil longitudinal e das características sedimentológica dos sedimentos fluviais, respondendo de forma diferenciada às mudanças hidrológicas e as conectividades estabelecidas.

Também sob o mesmo grau de importância, a sinuosidade dos meandros influencia no comportamento dos sedimentos por propiciarem o amortecimento do fluxo ao percorrer as suas curvaturas, inferindo na redução da velocidade e no desenvolvimento de feições arenosas deposicionais.

A seguir, tem-se a avaliação da conectividade longitudinal referente à transferência de sedimentos, intra e inter trechos fluviais (Figura 50):

Trecho Fluvial I - possui boa capacidade de transporte de sedimentos finos entre seus sub-trechos, não sendo observado, no período analisado, o desenvolvimento de

feições fluviais capazes de reter a carga sedimentar que chega ao canal. Caracteriza-se, com isso, como um trecho fluvial onde o elevado gradiente do canal confere energia suficiente para transferir, de forma constante, os sedimentos que chegam ao trecho fluvial. A transferência de sedimentos para o Trecho Fluvial II também se dá de forma continua, sem o desenvolvimento de barreiras ao longo do canal. A classificação do padrão de conectividade longitudinal proposta para este trecho fluvial é de um trecho *CONECTADO*.

Trecho Fluvial II – corresponde a um trecho onde há pequena redução do gradiente do canal, além de possuir níveis de base locais bem expressivos localizados após a confluência com o rio Sana, permitindo uma maior retenção de sedimentos em determinados pontos dentro do trecho fluvial, a exemplo das ilhas vegetadas de grande porte com blocos rochosos margeando-as. Foi observado boa transferência à jusante, predominantemente, de sedimentos de fundo de granulometria mais fina (areia grossa a fina) como também os de suspensão. Já os sedimentos de maior granulometria (seixos e matacões) tendem a ficar retidos em várias partes deste trecho fluvial, em função dos seus calibres e dos inúmeros níveis de base presentes ao longo do trecho e são periodicamente transportados em eventos de cheia. Assim, a transferência de sedimentos fluviais para o trecho fluvial subsequente ocorre de forma contínua, porém, mais lenta, devido às pequenas barreiras de impedimentos, sejam os blocos rochosos que impedem e favorecem a formação, evolução e estabilização das ilhas vegetadas, como também, as próprias ilhas, mas que não comprometem o fluxo e transferência dos sedimentos fluviais para as partes mais à jusante do canal Macaé. A classificação do padrão de conectividade longitudinal proposta para este trecho fluvial é de um trecho POTENCIALMENTE CONECTADO.

Trecho Fluvial III - possui baixa declividade no perfil longitudinal, limitando muito a energia do fluxo e, consequentemente, a sua capacidade de transporte. Nesse trecho a transferência de sedimentos de fundo tende a ocorrer de acordo com a variabilidade das descargas, ou seja, se a vazão for baixa, a transferência pode vir a ocorrer no próprio leito do canal (barras submersas entre si). A medida em que a vazão for aumentando sua capacidade, as trocas de sedimentos podem vir a ocorrer de leito para barras arenosas emersas (e vice-versa); de barras emersas para barras emersas (barras laterais para longitudinais ou vice-versa). Além disso, considerou-se que a transferência entre os seus subtrechos (dinâmica intra-trechos) foi classificada como uma alta, na medida em que há passagem contínua de sedimentos fluviais de barras laterais e longitudinais (1º sub-trecho) para as barras de pontais (2º sub-trecho), que aumentam de freqüência e tamanho; e
progressiva mudança na largura do canal em 2010. Este último indício pode estar associado, também, à intensa erosão das margens do canal nesse Trecho Fluvial III (praticamente não possui cobertura ciliar). Porém, a transferência de sedimentos fluviais de fundo inter-trecho (entre o Trecho Fluvial III e o Trecho Fluvial IV) foi considerada baixa, em decorrência da forte retenção de sedimentos em feições deposicionais arenosas (barras laterais, submersas, barras de pontal, longitudinais, dentre outras). Dessa maneira, a classificação do padrão de conectividade longitudinal proposta para este trecho fluvial é de um trecho *PARCIALMENTE CONECTADO*.

Trecho Fluvial IV - caracterizado pela mudança artificial do leito do canal Macaé através do processo de retificação. As obras induziram ao aumento da velocidade do canal, alterando a capacidade erosiva neste ambiente fluvial e influenciando na transferência de sedimentos de fundo, cuja dinâmica é moderada entre os seus subsetores (intra-trechos). Ou seja, o primeiro subsetor apresentou freqüências e seqüências alternadas de barras submersas que oscilam diante das mudanças de vazões do baixo curso, enquanto que o segundo subsetor apresentou redução das barras submersas e na maior parte do seu percurso não aparenta conter feições deposicionais. Somente em uma parte do canal, neste segundo sub-trecho que foi observado o aparecimento de pequenas ilhas fluviais vegetadas. A redução progressiva de feições arenosas entre os subtrechos induz médio transporte de sedimentos tanto de fundo como em suspensão. No que diz respeito à classificação do padrão de conectividade longitudinal proposta para este trecho fluvial é de um trecho *PARCIALMENTE CONECTADO*.

	1º Trecho 2º Trecho		3° Trecho	4º Trecho
Grau de Sinuosidade (Km/km)		(m)	~~~~~	
	Baixa (1,54)	Elevada (2,18)	Relativamente Elevada (1,64)	Sem sinuosidade natural (1,31)
Posição	Alto curso	Alto/Médio curso	Médio/ Baixo curso	Baixo curso
Distância (km)	51	24	23	38
Declividade média (%)	2,5	1,6 0,13		0,05
Rugosidade do Leito	2,54	0,776	0,0582	0,0388
Unidades Geológicas	São Fidélis; Granito Sana	São Fidélis; Granito Sana; Depósito Colúvio-Aluvionar	São Fidéllis; Búzios	São Fidélis Búzios; Região dos Lagos; Depósitos Litoraneos
Característica do Leito Fluvial	Rochoso	Misto	Aluvial com pouca presença de blocos rochosos	Aluvial do tipo arenoso
Compartimentos Geomorfológicos	Morros (100m a 200m) a Serras Escarpadas (> 400m)	Serras Locais (200m a 400m) e Serras Escarpadas (> 400m)	Planícies Flúvio Marinhas (0 a 20m) e Serras Locais (200m a 400m)	Morros (100m a 200m); Colinas e Planícies Flúvio Marinhas (0 a 20m)
Configuração do Vale	Encaixado	Encaixado	Semi Encaixado	Aberto
Processo predominante	Sem muita alteração	Constante modificação do leito com pequena tendência ao assoreamento.	Pouca modificação do leito com pequena tendência ao assoreamento	Alta modificação do leito com pequena tendência ao assoreamento
Comportamento Hidrológico	Alta pluviosidade e alta variabilidade de descargas fluviais	Alta pluviosidade e alta variabilidade de descargas fluviais	Alta Pluviosidade e Média a Alta vazão	Baixa pluviosidade e altas descargas fluviais
Depósitos Fluviais	Aglomeração de blocos rochosos	Ilhas vegetadas e alguns Blocos rochosos	Barras de pontais, longitudinais; laterais e submersas; Delta fluvial	Barras submersas e pequenas ilhas fluviais
Descarga Sólida de fundo	Areia muito grossa a grossa; Grãos angulosos a sub- angulosos; Mal selecionamento	Seixos e grânulos; Grãos sub- angulosos; Mal selecionamento	Grânulos, Areia média ; Grãos sub-arredondados; Moderado Selecionamento	Seixos; areia média, silte e argila; Grãos sub-arredondados a arredondados; Moderado Selecionamento
Descarga Sólida em Suspensão (g)		Baixa (0, 0185)	Média (0,022)	Relativamente Média (0,034)
Conectividade do Fluxo de Sedimentos Inter- Trechos	CONECTADO	POTENCIALMENTE CONECTADO	PARCIALMENTE CONECTADO	PARCIALMENTE CONECTADO
Conectividade do Fluxo de Sedimentos Intra- Trechos			Alta Transferência	Média Transferência

Tabela 11: Principais características físicas, morfométricas e padrões de conectividade longitudinal para os quatro trechos fluviais identificados no canal Macaé.



Figura 50: Mapa da Bacia do rio Macaé apresentando a individualização de Trechos Fluviais e seus padrões de conectividades longitudinais.

6.4. Estabelecimento dos padrões de conectividade como subsídio ao planejamento ambiental da Bacia do rio Macaé:

O conhecimento geomorfológico de uma dada área ambiental, aliado a outras informações de caráter socioeconômico, cultural, biológico, pedológico, dentre outras, integram estudos acerca das suas caracterizações, funcionalidades e potencialidades. É através do aprofundamento destes conhecimentos que avaliações são realizadas para compreender as condições dos sistemas ambientais (Marçal & Luz, 2003).

Para isso, gestores ambientais vêm elaborando estudos técnicos em bacias hidrográficas, como os planos de bacia e estudos em gestão ambiental. Estes planejamentos utilizam tais conhecimentos integrativos, a fim de fazer diagnósticos detalhados para auxiliar na tomada de decisões de usos, recomendar melhores atividades a serem desenvolvidas, em prol da manutenção e recuperação de áreas degradadas e/ou que já tiveram algum tipo de interferência antrópica.

A identificação de padrões de conectividade longitudinal em uma bacia hidrográfica com base na setorização de trechos fluviais, a partir da transferência de sedimentos fluviais, pode vir a ser um tipo de metodologia. Esta permite avaliar de que maneira os eventos hidrossedimentológicos, como inundações, se propagam ao longo da bacia, auxiliando não só na compreensão do funcionamento entre seus compartimentos, como também como subsídio ao seu planejamento ambiental.

Assim, os tipos de transferências de sedimentos fluviais identificados entre e dentre os trechos fluviais do rio Macaé, refletem o seu comportamento frente aos ajustes naturais e/ou antrópicos. Podendo, além disso, prever os melhores investimentos, em termos de atividade e aproveitamento desses recursos hídricos.

Observou-se, desse modo, os trechos fluviais mais propícios a retenção de sedimentos foram os Trechos Fluviais II e III, no médio curso, e em menor proporção o Trecho Fluvial IV, no baixo curso da bacia Macaé, dadas as configurações físicas do canal Macaé (como redução do gradiente e presença de níveis de bases locais); como também pela interação com tributários (rio Sana, rio D'antas e rio São Pedro). Tanto a bacia do rio Sana como a do rio D'antas possuem alta densidade de drenagem e declividade média do canal, favorecendo grande fornecimento de água e material dentrítico, com relativa velocidade do fluxo ao canal principal, e a bacia do rio São Pedro, contribui muito em função do seu tamanho.

Em função da maior estocagem de sedimentos, estes trechos fluviais (II, III, IV) passam a ser caracterizados como áreas cuja transferência de sedimentos fluviais é mais lenta e, portanto, são áreas mais suscetíveis a mudanças. Ou seja, o aporte de sedimentos é estocado por um período de tempo maior que nos demais trechos do rio Macaé, permitindo que interferências externas ao canal (próximas dos trechos e/ou até dentro das sub-bacias relacionadas) propiciaram um período de resposta mais rápido, podendo contribuir, além disso, para maior retenção desses sedimentos à jusante.

O fato do Trecho Fluvial IV ser caracterizado pela retificação, desde a década de 40, faz com que isto seja um agravante, no que diz respeito à indução do aumento da velocidade e conseqüentemente, do transporte de sedimentos mais grosseiros à desembocadura do canal. Porém, este trecho possui, também, grande contribuição de sedimentos vindos do rio São Pedro, caracterizando-se como um trecho com grande aporte de sedimentos.

Já nos trechos fluviais que possuem uma conectividade boa (Trecho Fluvial I – no alto curso da bacia Macaé) tendem a apresentar ajustes mais rápidos quando houver algum tipo de interferência próxima, que desequilibre o material transportado, a transferência e o funcionamento do trecho fluvial.

De acordo com as questões levantadas, foi elaborado uma tabela esquemática (Tabela 12) cujo conteúdo refere-se ao tipo de conectividade inter e intra trecho fluvial, as condições físico-ambientais da área e as possíveis medidas preventivas. Esse tipo de estudo pode ser aplicado para o melhor planejamento da Bacia do rio Macaé como também à áreas que possuam características hidrogeomorfológicas, funcionamento similar e, portanto, padrões de conectividades semelhantes.

Tabela 12: Tabela esquemática de estudo para um possível planejamento ambiental da Bacia do rio Macaé.

	Conectividade		Condições físico-	Medidas Preventivas
Trechos	Inter-Trecho	Intra-Trecho	ambientais	
			Canal fluctul managed a same	Manutan azar da mata
Trecho Fluvial I	Conectado		Canal fluvial margeado com mata ciliar densa; poucos blocos rochosos de grande porte que interferem na passagem de fluxo à jusante; constantes deslizamentos encosta- canal; aumento considerável de casas de veraneio e conseqüente erosão em encostas.	Manutenção da mata ciliar; recomendável monitoramento das erosões e deslizamentos em encostas próximas ao canal, que possam contribuir com grande quantidade de sedimentos.
Trecho Fluvial II	Potencialmente Conetado		Canal fluvial, na maior parte, com vegetação ciliar; redução dos blocos rochosos que dificultam a passagem de fluxo de sedimento; poucos deslizamentos, próximo ao canal, vistos durante o período monitorado.	Recomendável monitoramento da mata ciliar próxima ao canal fluvial evitando maiores contribuições de sedimentos ao canal, como também nas encostas.
Trecho Fluvial III	Parcialmente Conectado	Alta Transferência	Canal fluvial, na maior parte, com pouca vegetação ciliar; aumento progressivo da largura do canal (no final do trecho); variação da vazão fluvial em função da alta pluviosidade do alto curso e acumulo de descargas em direção ao baixo.	Contenção de possíveis desmatamentos próximos a área, como também na margem do canal, que possam contribuir com sedimentos finos e em suspensão, alimentando as inúmeras feições arenosas deposicionais já existentes; evitar interferências diretas que diminuam ainda mais transferência física de sedimentos à jusante e contribua para assoreamento do canal e aumento de inundações.
Trecho Fluvial IV	Parcialmente Conectado	Média Transferência	Canal fluvial com pouca mata ciliar; constante dragagem para manutenção da retificação; grande descarga de sedimentos vindo do rio São Pedro; altas descargas fluviais em função da retificação e do forte acumulo de fluxos no baixo curso; grande irregularidade de feições arenosas deposicionais.	Recomendável monitoramento nas épocas mais secas em função do grande assoreamento que vem progredindo nessa parte do canal fluvial Macaé; evitar interferências diretas adicionais a retificação em função da menor transferência de sedimentos à jusante.

7. CONCLUSÕES:

A pesquisa em questão procurou avaliar as possíveis ocorrências de eficiência na transferência de sedimentos de forma longitudinal no canal Macaé. Para isso, análises quantitativas e qualitativas se complementaram na busca de compreender como se dão as variações geomorfológicas e hidrossedimentológicas intra e inter trechos fluviais individualizados, que foram setorizados a partir de características e comportamentos semelhantes. A seguir, estão apresentadas as principais conclusões oriundas da pesquisa:

- A análise integrada das informações levantadas resultou em uma setorização do rio Macaé em quatro trechos fluviais distintos, que revelaram uma diversificação nas características geomorfológicas e hidrossedimentologicas, no âmbito longitudinal do sistema fluvial. O que confirma os ambientes diferenciados de tipologias e estilos de rios, já verificados por Lima (2010) para a Bacia do rio Macaé. Ressalta-se que a setorização apresenta semelhança com a diferenciação entre os alto, médio e baixo cursos da bacia.
- 2. Considerou-se que embora a pluviosidade relativa ao alto curso do rio Macaé seja alta em meses de dezembro a março, a variabilidade das vazões máximas e das mínimas é relativamente baixa e, também, irregular ocasionando em maiores oscilações de fluxo e baixa retenção de sedimentos de fundo. É a partir do médio/baixo curso, que as vazões passam a oscilar em menor proporção e são maiores, em função da posição do baixo curso em receber os escoamentos que vem à montante, possibilitando, juntamente com as características físicas do canal Macaé, uma maior retenção de sedimentos;
- 3. O monitoramento das seções transversais ao canal Macaé, nos pontos e nos períodos analisados mostram que o padrão morfológico não obteve variações significativas, principalmente no alto curso, em função da composição rochosa do leito. No entanto, as variações mais acentuadas ocorrem nas áreas à jusante das confluências. Além disso, observou-se que na maior parte das vezes, após os períodos de cheia o leito do canal é erodido e nos períodos secos ocorre predominância de sedimentos no leito do canal.

- 4. Considera-se que a retificação do canal Macaé tem reflexo direto na dinâmica dos processos fluviais, sobretudo nas áreas do baixo curso, onde a distribuição do fluxo de sedimentos se dá de forma variável em função do aumento de energia e eficiência do transporte neste trecho fluvial, influenciando na relação de capacidade de carreamento de maiores cargas de sedimentos de fundo.
- 5. Ainda que o rio Macaé apresente ao longo do seu percurso diferentes comportamentos em relação às características geomorfológicas e hidrossedimentológicas levando a setorização em quatro trechos fluviais, pode-se considerar como um rio que apresenta boa conectividade entre seus trechos. Não observou-se prolongadas e grandes retenções de sedimentos que comprometessem o fluxo de sedimentos ao longo do canal, este sendo distribuído de uma forma contínua, mesmo que ocasional, entre os trechos fluviais identificados.
- 6. Considera-se que os parâmetros levantados na pesquisa em relação aos aspectos geomorfológicos e hidrossedimentológicos para o canal Macaé devem ser considerados nos estudos voltados a manejo de rios e em planejamento de bacias hidrográficas. Os impactos ambientais relacionados a enchentes e/ou assoreamentos devem e podem ser prognosticados a partir de informações mais coerentes e, no caso da Bacia do rio Macaé, em estudos relacionados às intervenções no canal os parâmetros da geomorfologia fluvial são indispensáveis para uma avaliação coerente que subsidie decisões mais acertadas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ASMUS, H.E. & FERRARI, A.L. (1978). Hipótese sobre a causa do tectonismo cenozóico na região Sudeste do Brasil. In: Aspectos Estruturais da Margem Continental Leste e Sudeste do Brasil. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 41p.

ASSUMPCAO, A. P. ; MARÇAL, M. S. (2012) . Retificação dos Canais Fluviais e Mudanças Geomorfológicas na Planície do Rio Macaé (RJ). Revista de Geografia (Recife), v. 29, 19-36 p.

BARROS, A.C.M.; SOUZA, J.O.P.; CORRÊA, A.C.B. (2010). Sensitividade da paisagem na bacia do riacho do Mulungu, Belém de São Francisco, Pernambuco.

Revista de Geografia. "Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial VIII SINAGEO, n. 2.

BEVENGER, G.S.; KING, R.M. (1995). A pebble count procedure of assessing watershed cumulative effects, USDA Forest Service Reaserch Paper RM-RP-319, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Stations, Fort Collins, Colorado. **BIGARELLA, J.J., SUGUIO, K., BECKER, R.D.** (1979). Ambiente Fluvial: Ambientes de Sedimentação, sua interpretação e importância. Editora da Universidade Federal do Pará. Associação de Defesa e Educação Ambiental, 183 p.

BOGÁRDI, J.L (1972). Advances in Hydrosciense. University ofIllinois, Urbana, Illinois, V.8.

BORDAS, M. P.; SEMMELMANN, F. R. (2000). Elementos de Engenharia de Sedimentos. In: TUCCI, Carlos E. M. Hidrologia. Ciência e aplicação. 3ª edição. Porto Alegre. Editora da UFRGS/ABRH.

BRAUD, I.; **VICH, A.I.J.**; **ZULUAGA, J.**; **FOMERO, L.**; **PEDRANI, A.** (2001). Vegetation influence on runoff and sediment yield in the Andes Region: observation and modeling. *Journal of Hydrology* 254, 124–144 p.

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

BRIERLEY, G.J. & FRYIRS, K.A. (2005). Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework. Blackwell Publishing, Oxford, UK. 398 p.

BRIERLEY, G.J., FRYIRS, K.A., JAIN, V. (2006). Landscape connectivity: The geographic basis of geomorphic applications. *Area* 38.2, 165–174 p.

BRUNSDEN, D., THORNES, J.B. (1979). Landscape sensitivity and change. Transactions of the Institute of British Geographers, New Series 4, 463–484 p. **BRUNSDEN, D.** (2001). A critical assessment of the sensitivity concept in geomorphology. Catena 42, 101–125 p.

BUFON, A.G.M.; TORNISIELO, S.M.T.; PIÃO, A.C.S. (2009). Tempo de vida útil da represa velha da microbacia do córrego da barrinha, pirassununga, SP, Brasil. Universidade Estadual Paulista, Centro de Estudos Ambientais.

CAL (2006). Estudo de Impacto Ambiental do Porto do Açu, RJ. CAL, 2006.

CARVALHO, N.O. (1994). *Hidrossedimentologia Prática*. CPRM, ELETROBRÁS. Rio de Janeiro, RJ.

CHEREM, L. F. S. (2008). Análise Morfométrica da Bacia do Alto Rio das Velhas, MG. 2008. 110 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais.

CHRISTOFOLETTI, A. (1969). Análise morfométrica das bacias hidrográficas. Notícias Geomorfológicas. Campinas, 25 p.

CHRISTOFOLETTI, A. (1980). Geomorfologia. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188p

CHRISTOFOLETTI, A. (1981). Geomorfologia fluvial. São Paulo: Editora Edgard Blucher. 1981.

CHRISTOFOLETTI, A. (2002). Modelagem de sistemas ambientais. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 236 p.

CHORLEY, R.J. & KENNEDY, B.A. (1971). Physical Geography: A Systems Aproach, London: Prentice Hall. 370 p.

CHURCH, M., JONES, D. (1982). Channel bars in gravel-bed rivers. In: Hey, R.D., Bathurst, J.C., Thorne, C.R. (Eds.), Gravel-Bed Rivers. Wiley, Chichester, 291–338 p.

COSTA, L.A.M.; GOMES, B.S.;MOREIRA, C.R.D. (1982). A Geologia das Folhas de Macaé e Cabiúnas. Projeto Carta Geológica do Rio de Janeiro. DRM/TRISERVICE. Escala 1:50.000

DUNNE, T. (1991). Stochastic aspects of the relations between climate, hydrology and landform evolution. Trans. Jpn. Geomorphol. Union 12, 1–24 p.

FEBA, L.G.T.; MOLINA, P.M.; HERNANDEZ, F.B.T. (2006). Diagnóstico Hidrossedimentológico da microbacia do córrego água da bomba no município de Regente Feijó – SP- CONIRD 2006 – XVI Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem – Goiânia.

FERRARI, A. L., MELO, E.F.; VAZ, M.A.A.; DALCOMO, M.T.; BRENNER, T.L.; SILVA, V.P.; NASSAR, W.M. (1981). Projeto Carta Geológica do Rio de

Janeiro- Bloco Campos-*In*: Relatórios técnicos, volume 1-DRM-Geomitec; Geologia e Mineração. Trabalhos técnicos Ltda, 172 p.

FERREIRA, C.E.O. (1999). Mapeamento e qualificação das coberturas inconsolidadas aplicados ao planejamento territorial na escala 1:250 000 folha Macaé, Estado do Rio de Janeiro /Carlos Eduardo Osório Ferreira. -- Rio de Janeiro : UFRJ.

FILHO, A.C.; LUMBRERAS, J.F.; LEMOS, A.L.; SANTOS, R.D.; FILHO, B.C.; WITTERN, K.P. (2000). Mapeamento de Solos do Estado do Rio de Janeiro. CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais).

FRYIRS, K., BRIERLEY, G. J. (1999). Slope-channel decoupling in Wolumla catchment, New South Wales, Australia: the changing nature of sediment sources following European settlement *Catena* 35. 41–63 p.

FRYIRS, K., BRIERLEY, G. (2000). A geomorphic approach to the identification of river recovery potential. *Physical Geography* 21. 244–277 p.

FRYIRS, K.A., BRIERLEY, G.J, PRESTON , N.J., KASAI, M. (2007). Buffers, barriers and blankets: The (dis)connectivity of catchment-scale sediment cascades. *Catena* 70. 49–67 p.

FRYIRS, K.A.; BRIERLEY, G.J.; PRESTON, N.J.; SPENCER, J. (2007). Catchment-scale (dis)connectivity in sediment flux in the upper Hunter catchment, New South Wales, Austrália. *Geomorphology* 84. 297–316 p.

GRAY, J.R., GARTNER, J.W. (2009). Technological advances in suspendedsediment surrogate monitoring: Invited Paper, Water Resources Research, 45. W00D29, doi:10.1029/2008WR007063, 20 p.

GUERRA, A.J.T., MENDONÇA, J.K.S. (2004). Erosão dos Solos e a QuestãoAmbiental. *In:* Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. GUERRA, A. J. T. e VITTE, Carlos Antônio (orgs.). Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 225-251 p.

HACK, J. T. (1960). Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. American Journal of Science, v. 258 A, 80-97p.

HARVEY, A.M. (1996). Holocene hillslope gully systems in the Howgill Fells, Cumbria. In: Anderson, M.G., Brooks, S.M. (Eds.), Advances in Hillslope Processes, vol. 2, Wiley, Chicheste, 247–270 p.

HARVEY, A.M. (2001). Coupling between hillslopes and channels in upland fluvial systems: implications for landscape sensitivity, illustrated from the Howgill Fells, northwest England. *Catena* 42. 225–250 p.

HARVEY, A.M. (2002). Effective timescales of coupling within fluvial systems. *Geomorphology*. 44, 175–201p.

HASUI, Y. (1990). Neotectônica e Aspectos Fundamentais da Tectônica Ressurgente no Brasil. SBG/MG. Workshop sobre Neotectônica e Sedimentação Cenozóica Continental no Sudeste Brasileiro, Belo Horizonte, 1: 1-31 p.

HILU, A. (2003). Erosão Hídrica na bacia hidrográfica do rio Marumbi no Estado do Paraná. Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, 119p.

HOOKE, J.M. (2003). Coarse sediment connectivity in river channel systems: a conceptual framework and methodology. *Geomorphology* 56. 79–94 p.

HORTON, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological Society of America Bulletin, v.56, n.3, 275-370 p.

HOWARD, A. D. (1998). Long profile development of bedrock channels: interaction of weathering, mass wasting, bed erosion, and sediment transport. In: TINKLER, K. J.; WOHL, E.E., (eds.), Rivers over rock: fluvial processes in bedrock channels. American Geophysical Union: Washington, DC, 297-319p. (Geophysical monograph 107).

IBGE (2010 e 2000) - Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Censos demográficos de 2010 e de 2000. Disponível em:

http://downloads.ibge.gov.br/downloads_estatisticas.htm.

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

LEOPOLD, L.B.; WOLMAN, M.G. & MILLER, J.P. (1964). Fluvial Process in Geomorfology. W.F. Freeman & Co. San Francisco, 552p.

MARÇAL, M.S. & LUZ, L.M. (2003). Planejamento e gestão da Bacia do Rio Macaé – Litoral Norte Fluminense, com base em estudos integrados de Geomorfologia e uso do solo. In: IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Recife, PE, CD-ROM.

MORRIS, G. L.; FAN, J. (1997). Reservoir sedimentation on handbook: design and management of dams, reservoirs, and watercheds for sustainable use. New York: McGraw-Hill. 5.1-12.55 p.

NASCIMENTO, F.J.B. (2010). Caracterização Espaço-Temporal Das Chuvas Associada às Vazões Na Bacia do Rio Macaé – RJ, 63p. Trabalho de conclusão de curso – Departamento de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

OLIVEIRA, F.L. e MELLO, E.F. (2007). A mineração de areia e os impactos ambientais na bacia do rio São João, RJ. Revista Brasileira de Geociências. Brasil, 2(37): 374-389 p.

OLSON-RUTZ, K. L. e MARLOW, C. B. (1992). Analysis and interpretation of stream channel cross-sectional data. North American Journal of Fisheries Management, United States, v.1, n. 12, 55-61 p.

OWCZAREK, P. (2008). Hillslope deposits in gravel-bed rivers and their effects on the evolution of alluvial channel forms: A case study from the Sudetes and Carpathian Mountains. *Geomorphology* 98. 111–125 p.

PEÇANHA, R.M. & NETO, R.S. (2004). Economia e desenvolvimento no norte fluminense: da cana de açúcar aos royalties do petróleo. Ed. WTC, Rio de Janeiro.

PIEGAY, H. & SCHUMM, S.A. (2003). System Approaches in Fluvial Geomorphology. In: KONDOLF, G.M. & PIEGÁY, H. Tools in Fluvial Geomorphology. 105-134 p.

REY, F. (2003). The influence of vegetation distribution on sediment yield in forested marly gullies. *Catena* 50. 549–562 p.

ROSGEN, D. (1996). Applied river morphology. Wildlife Hydrology, Pagosa Springs, SANTOS, I., FILL, H. D. (2001). Hidrometria Aplicada. Curitiba, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento.

SCHMITT, R.S. (2001). A Orogenia Búzios – um evento tectono-metamórfico cambroordoviciano caracterizado no Domínio Tectônico de Cabo Frio, Faixa Ribeira, sudeste do Brasil. Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 273 p. Tese de Doutorado.

SCHUMM, S. A. (1963). Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. Geological Society of America Bulletin, v.74, n.9, 1089-1100 p.

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

SCHUMM, S.A. (1981). Evolution and response of the fluvial system, sedimentologic implications. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Pub No. 1, 19-29 p.

SILVA, T.M. (2002). A Estruturação Geomorfológica do Planalto Atlântico no Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 265 p. (Tese de Doutorado, Depto. Geografia/IGEO-UFRJ).

SUGUIO, K. & BIGARELLA, J. J. (1990). Ambientes Fluviais. Florianópolis; Editora da UFSC: Editora da Universidade Federal do Paraná.

SUMMERFIELD, M.A. (1991). Global Geomorphology: An introduction to the study of landforms. New York, Longman Scientific & Technical, 537 p.

STRAHLER, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosion al topography. Geological Society of America Bulletin, v.63, n.10, 1117-1142 p.

STRAHLER, A. N. (1957). Quantitave analysis of watershed geomorphology. Transaction of the American Geophysical Union, v. 36, n. 6, p. 913-920 p.

THOMAS, M.F. (2001). Landscape sensitivity in time and space — an introduction. *Catena* 42. 83–98 p.

TONELLO, K.C. (2005). Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das pombas, Guanhães, *MG*. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa - Programa de Pós-Graduação em Ciência Floresta, Viçosa, MG.

VALERIANO, C. M.; *ET AL.* (2012) Mapa Geológico, escala 1:100.000. Organizador Luiz Carlos da Silva. – Belo Horizonte : CPRM. Trabalho desenvolvido em Sistema de Informação Geofráfica – SIG utilizando o GEOBANK – banco de dados geoespacial da CPRM na Internet.

VESTENA, L.R. (2008) Análise da relação entre a dinâmica de áreas saturadas e o transporte de sedimentos em uma bacia hidrográfica por meio de monitoramento e modelagem. – Florianópolis, 268p.

VESTENA, L.R.; LUCINI, H.; KOBIYAMA, M. (2008). Monitoramento automático da concentração de sedimentos em suspensão na bacia hidrográfica do Caeté, Alfredo Wagner/SC.

VILLAS BOAS, G. H.; MIRANDA, T.G.X.; MARÇAL, M.S.; OLIVEIRA, A.F. (2010). Caracterização Morfométrica da Bacia do Rio Macaé (RJ), 12p. In: XIII Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO).

VILLELA, S. M. (1936). Hidrologia Aplicada. São Paulo.

WAINWRIGHT, J.; TURNBULL, L.; IBRAHIM, T.G.; ARTZA, I.L., THORNTON.; S. F., BRAZIER; R.E. (2011). Linking environmental régimes, space and time: Interpretations of structural and functional connectivity. *Geomorphology* 126. 387–404 p.

Websites Consultados

Dados Hidrológicos, Agência Nacional de Águas – ANA. http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/informacoeshidrologicas/informacoeshid ro.aspx

Imagens de Satélite do software GoogleEarthTM www.googleearth.com

Mapa Geológico - 1:100.000 (2012) -CPRM- Serviço Geológico do Brasil http://geobank.sa.cprm.gov.br/

Base Cartográfica Vetorial (1:50.000) – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE

http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default.shtm