

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CCMN - INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

**RETIFICAÇÃO DE CANAIS FLUVIAIS NO BAIXO CURSO DA BACIA DO RIO
MACAÉ (RJ) – UMA ABORDAGEM GEOMORFOLÓGICA**

ANDRÉ POLLY ASSUMPÇÃO

ORIENTADORA: MÔNICA DOS SANTOS MARÇAL

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE
JANEIRO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS (M. Sc.)

RIO DE JANEIRO
JUNHO 2009

FICHA CATALOGRÁFICA

ASSUMPÇÃO, ANDRÉ

Título / Assumpção André - Rio de Janeiro, UFRJ, 2009, 110 pp.

Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro / PPGG, 2009.

Bibliografia: 107-110.

Assunto: 1 – Retificação de canais fluviais; 2 - rio Macaé 3; - Geomorfologia fluvial; 4 – Hidrossedimentologia

I – UFRJ/PPGG. II – RETIFICAÇÃO DE CANAIS FLUVIAIS NO BAIXO CURSO DA BACIA DO RIO MACAÉ (RJ) – UMA ABORDAGEM GEOMORFOLÓGICA.

**RETIFICAÇÃO DE CANAIS FLUVIAIS NO BAIXO CURSO DA BACIA DO RIO
MACAÉ (RJ) – UMA ABORDAGEM GEOMORFOLÓGICA**

ANDRÉ POLLY ASSUMPÇÃO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM GEOGRAFIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M. Sc.)

APROVADA POR:

PROF. DR^a. MÔNICA DOS SANTOS MARÇAL _____
(ORIENTADORA)

PROF. DR^a. SANDRA BAPTISTA DA CUNHA _____

PROF. DR^a. TELMA MENDES DA SILVA _____

RIO DE JANEIRO
JUNHO – 2009

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha querida orientadora, Mônica Marçal, que desde o início dessa dissertação me deu todo o apoio e força para continuar, mesmo nos momentos mais difíceis. Seus conselhos, companheirismo, paciência e dedicação foram determinantes no caminhar deste trabalho. Assim, agradeço por ter chegado até aqui.

Agradeço às professoras integrantes da banca avaliadora, à professora Telma, por quem guardo um carinho especial, visto que contribuiu para o aumento do meu conhecimento em geomorfologia, quando fui seu monitor na disciplina de graduação de Geomorfologia Continental. E à professora Sandra que, já no exame de qualificação de mestrado, contribuiu com críticas, sugestões e conselhos de suma importância.

Agradeço ao professor Guerra por toda a atenção ao longo destes sete anos no departamento. E a todos os amigos do Lagesolos: Raphael, Guilherme, Fred, Renato, Pilar, Natália e Daniel, que tanto me ajudaram no desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço, também, aos amigos Andréa, Wilson, Barroso, Paulo, João Paulo e Lula que me acompanharam e deram força nesses anos de trabalho duro.

Agradeço aos meus pais, por toda uma vida de amor, dedicação, carinho e investimentos que me fez ser a pessoa que sou hoje. Com certeza, a educação que me deram se reflete em todos os momentos da minha vida, sobretudo os mais importantes, como este aqui.

Agradeço a minha esposa Léa, que dividiu comigo as dificuldades, alegrias e angústias provenientes deste trabalho, contribuindo também com ótimas observações e ajustes para a conclusão desta dissertação.

Agradeço, também, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida durante os dois anos de pesquisa dessa dissertação.

RESUMO

ASSUMPÇÃO, André. RETIFICAÇÃO DE CANAIS FLUVIAIS NO BAIXO CURSO DA BACIA DO RIO MACAÉ (RJ) – UMA ABORDAGEM GEOMORFOLÓGICA. Orientadora: Mônica dos Santos Marçal. Rio de Janeiro: UFRJ/PPGG, 2009.108p. Dissertação. (Mestrado em Geografia).

A bacia do rio Macaé, localizada no litoral norte do Estado do Rio de Janeiro, possui um histórico de problemas associados a inundações no seu baixo curso. Desde a década de 1940 até 1980, o extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS), realizou obras de retificação dos canais fluviais dessa bacia hidrográfica, visando evitar tais inundações às margens do rio. No presente trabalho, buscou-se mapear e analisar as alterações ocorridas na forma em planta dos referidos canais fluviais, e discutir as implicações que as modificações têm sobre a hidrossedimentologia da bacia hidrográfica no período atual. Para isso, foram utilizadas fotografias aéreas referentes a dois períodos – 1968 e 2000. Ademais, foi realizado um monitoramento de 17 meses do canal do rio Macaé. A análise dos dados foi feita com base em estudos de casos de diversos autores sobre os efeitos de tais obras em outros rios. Assim, verificou-se que as intervenções efetuadas sobre a forma em planta dos canais no baixo curso da bacia do rio Macaé acarretaram a perda das sinuosidades e dos meandros, a redução da extensão dos canais, o aumento do gradiente, a alteração no padrão dos canais e o alargamento da calha. As alterações morfológicas produziram modificações na velocidade dos fluxos, nas áreas de erosão e deposição, no regime das descargas, na granulometria dos sedimentos carreados, bem como aumento da carga de sedimentos, aumento das cheias à jusante da retificação e aumento da erosão nas margens. Esses resultados indicam que, antes da execução de obras de retificação, devem ser realizados estudos que abordem os problemas ambientais de forma holística, integrando disciplinas que compreendam as diversas variáveis ambientais, evitando ao máximo a ocorrência de efeitos adversos como os apresentados nessa pesquisa.

Palavras-chave: Retificação de canais fluviais; rio Macaé; Geomorfologia fluvial; Hidrossedimentologia.

ABSTRACT

The Macaé River basin, sited on the northern coast of Rio de Janeiro State, has a history of problems associated with flooding in its lower course. From the 1940s until 1980s, the defunct Departamento Nacional de Obras e Saneamento (National Department of Works and Sanitation - DNOS), performed the straightening of many channels on the basin, to prevent such flooding on the river. In this study, we aimed to map and analyze changes in channel morphology and discuss the effects of these changes over hydrology and sediment transport on the drainage basin. Aerial photographs from two periods - 1968 and 2000 - were used to conduct the mapping. In addition, monitoring of sedimentological and hydrological parameters was conducted through 17 months on the Macaé river channel. Data analysis was based on case studies of several authors on the effects of these interventions on other rivers. We found that interventions over these channels' morphology resulted in the loss of sinuosity and meanders, reduction of length of channels, increasing the gradient, changing the channel pattern and widening the channels. The morphological changes produced changes in velocity of flow, in erosion and deposition areas, in channel discharges, in bedload material, increasing sediment load. Furthermore, the interventions increased flooding downstream of the straightening and increased bank erosion. These results indicate that, before the implementation of river straightening, much more studies must be undertaken to deal with environmental problems in a holistic manner, integrating disciplines to understand the environmental variables in an interdisciplinary approach, avoiding the undesirable effects such as those presented in this study.

Keywords: River Straightening; Channelization; Macaé River; Fluvial Geomorphology; Hydro-sedimentology.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----|
| 1. INTRODUÇÃO | 01 |
| 2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 06 |
| 3. OBJETIVOS | 07 |
| 3.1 Objetivo Geral..... | 07 |
| 3.2 Objetivos Específicos..... | 07 |
| 4. METODOLOGIA | 09 |
| 4.1 Análise espacial e temporal da forma em planta dos canais..... | 10 |
| 4.2 Análise dos parâmetros hidrossedimentológicos atuais..... | 11 |
| 5. EMBASAMENTO TEÓRICO-CONCEITUAL | 16 |
| 5.1 O conceito de Sistema e a Geomorfologia..... | 16 |
| 5.2 Bacia Hidrográfica: O Sistema Fluvial..... | 18 |
| 5.3 A Questão Ambiental e os Impactos sobre os Sistemas Fluviais..... | 20 |
| 6. CONTEXTO AMBIENTAL | 29 |
| 6.1 Contexto Geológico | 29 |
| 6.2 Contexto Geomorfológico | 32 |
| 6.3 Contexto Climático..... | 35 |
| 6.4 Histórico de Ocupação..... | 36 |
| 7. ANÁLISE DA RETIFICAÇÃO DOS CANAIS FLUVIAIS | 38 |
| 7.1 Análise espacial e temporal da forma em planta dos canais fluviais..... | 46 |
| 7.1.1 Morfometria dos canais antes e após a retificação..... | 46 |
| 7.1.2 Mapeamento das feições fluviais antes e após a retificação dos canais..... | 55 |
| 7.2 Caracterização Hidrossedimentológica do rio Macaé..... | 76 |
| 7.2.1 Monitoramento da vazão do rio Macaé..... | 77 |
| 7.2.2 Monitoramento das Seções transversais ao rio Macaé..... | 82 |
| 7.3 A interferência das obras de retificação na dinâmica da bacia..... | 101 |
| 8. CONCLUSÃO | 104 |
| 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 107 |

LISTA DE TABELAS

Capítulo 04

| | |
|--|----|
| 4.1 Localização dos pontos de monitoramento..... | 12 |
|--|----|

Capítulo 05

| | |
|--|----|
| 5.1 Terminologias utilizadas para os métodos de canalização..... | 22 |
|--|----|

Capítulo 07

| | |
|---|----|
| 7.1 Morfometria dos canais retificados..... | 46 |
| 7.2 Vazão calculada nas estações de monitoramento por meio de flutuadores (m ³ /s)..... | 78 |

LISTA DE GRÁFICOS

Capítulo 07

| | |
|---|----|
| 7.1 Variação da vazão do rio Macaé nas estações de monitoramento..... | 78 |
|---|----|

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 01

| | |
|--|----|
| 1.1 Mapa de localização da bacia do rio Macaé..... | 04 |
|--|----|

Capítulo 02

| | |
|---|----|
| 2.1 Carta-Imagem de localização da área de estudo. Na área demarcada a leste pode verificar-se o ambiente fluvial retificado. | 07 |
|---|----|

Capítulo 04

| | |
|--|----|
| 4.1 Seção transversal ao rio Macaé - foto: 10/2007 e esquema ilustrativo da seção..... | 13 |
| 4.2 Esquema ilustrativo da Metodologia de trabalho..... | 15 |

Capítulo 06

| | |
|--|----|
| 6.1 Mapa geológico da bacia do rio Macaé..... | 30 |
| 6.2 Mapa de Compartimentação Geomorfológica da bacia do rio Macaé..... | 33 |
| 6.3 Mapa Geomorfológico da bacia do rio Macaé..... | 34 |
| 6.4 Mapa do total pluviométrico anual na região da bacia do rio Macaé..... | 36 |

Capítulo 07

| | |
|--|----|
| 7.1 Planta do Plano de execução das obras de retificação de canais pelo DNOS na bacia do rio Macaé..... | 39 |
| 7.2 Trechos retificados do canal do rio Macaé, antes de 1968..... | 40 |
| 7.3 Trechos retificados do rio São Pedro, antes de 1968..... | 41 |
| 7.4 Cortes artificiais de meandros no rio D'Antas - Fotografia aérea de 1968..... | 42 |
| 7.5 Retificação de trecho do rio D'Antas – Fotografia aérea de 2000..... | 42 |
| 7.6 Trecho retificado do rio D'Antas em 2007..... | 43 |
| 7.7 Assoreamento do canal Jurumirim..... | 44 |
| 7.8 Mapa das alterações na forma em planta dos canais principais no baixo curso da bacia do rio Macaé..... | 45 |
| 7.9 Perfis Longitudinais do rio Macaé, antes e após a retificação dos canais..... | 47 |
| 7.10 Trecho retificado do rio Macaé..... | 48 |
| 7.11 : Meandramento do talvegue do rio Macaé no trecho retificado..... | 49 |
| 7.12 Relação entre sinuosidade e gradiente da calha..... | 50 |
| 7.13 Trecho retificado do rio Macaé em 1968 e 2000..... | 52 |
| 7.14 Variação do nível d'água entre outubro de 2007..... | 53 |
| 7.15 : Mapa de feições deposicionais em trecho do rio Macaé, antes e após as obras de retificação..... | 56 |
| 7.16 Barra lateral formada em convexidade do rio Macaé, no trecho retificado..... | 57 |

| | |
|---|----|
| 7.17 Imagem de barra lateral em período seco..... | 58 |
| 7.18 Ilhas fluviais no canal do rio Macaé..... | 59 |
| 7.19 Ilhas fluviais no canal do rio Macaé próximas a foz..... | 59 |
| 7.20 Paleocanais e meandros abandonados na planície aluvial do rio Macaé..... | 62 |
| 7.21 Ilhas fluviais e point bars no antigo leito do rio Macaé..... | 63 |
| 7.22 Feições deposicionais no atual curso do rio São Pedro..... | 64 |
| 7.23 Feições deposicionais no atual curso do rio São Pedro..... | 65 |
| 7.24 Ilha e barras no canal do rio São Pedro..... | 66 |
| 7.25 Ilha e barras no canal do rio São Pedro..... | 66 |
| 7.26 Ilhas e barras fluviais no canal do rio São Pedro..... | 68 |
| 7.27 Barras arenosas no canal do rio São Pedro..... | 68 |
| 7.28 Point bars no canal do rio São Pedro, próximo a cidade de Córrego do Ouro..... | 69 |
| 7.29 Mapa das alterações decorrentes das obras de retificação no rio D'Antas..... | 71 |
| 7.30 Migração do canal do rio D'Antas à montante do trecho retificado..... | 72 |
| 7.31 Alterações dos rios Macaé e D'Antas entre 1968 e 2000..... | 73 |
| 7.32 Alterações dos rios Macaé e D'Antas entre 2000 e 2007..... | 74 |
| 7.33 Deposição de sedimentos na foz do rio D'Antas..... | 75 |
| 7.34 Mapa de localização das estações de monitoramento do rio Macaé..... | 77 |
| 7.35 Recorte da fotografia aérea (AMPLA) da área de localização das seções 2 e 3 (Antes e após a confluência com o rio São Pedro). | 80 |
| 7.36 Recorte da fotografia aérea (AMPLA) da área de localização das seções 5 e 6 (Antes e após a confluência com o rio Sana)..... | 81 |
| 7.37 Recorte da fotografia aérea (AMPLA) da área de localização das seções 7 e 8 (Antes e após a confluência com o rio D'Antas)..... | 81 |
| 7.38 Encontro dos rios Macaé e São Pedro..... | 83 |
| 7.39 Seção transversal n° 2 – 100 m antes da confluência com o Rio São Pedro..... | 84 |
| 7.40 Composição granulométrica da seção transversal n° 2 – 100 m antes da confluência com o Rio São Pedro..... | 85 |
| 7.41 Ausência de mata ciliar na seção 1, em outubro de 2007..... | 87 |
| 7.42 Seção transversal n° 3 – 800 m após a confluência com o Rio São Pedro..... | 88 |
| 7.43 Composição granulométrica da seção transversal n° 3 – 800 m após a confluência com o Rio São Pedro..... | 89 |
| 7.44 Seção transversal n° 7 – antes da confluência com o Rio D'Antas..... | 91 |
| 7.45 Composição granulométrica da seção transversal n° 7 – | |

| | |
|---|-----|
| antes da confluência com o Rio D'Antas..... | 91 |
| 7.46 Migração do canal do rio Macaé nas proximidades da estação 7..... | 92 |
| 7.47 Seção transversal n° 8 – após a confluência com o rio D'Antas..... | 94 |
| 7.48 Composição granulométrica da seção transversal n° 8 – após a confluência com o rio D'Antas..... | 94 |
| 7.49 Erosão da margem esquerda e deposição na margem direita do rio Macaé, à jusante da estação 8, antes do trecho retificado..... | 95 |
| 7.50 Foto da área da estação 5..... | 97 |
| 7.51 Seção transversal n° 5 – antes da confluência com o rio Sana..... | 98 |
| 7.52 Composição granulométrica da seção transversal n° 5 – antes da confluência com o Rio Sana..... | 98 |
| 7.53 Seção transversal n° 6 – após a confluência com o rio Sana..... | 99 |
| 7.54 Composição Granulométrica da seção transversal n° 6 – após a confluência com o rio Sana..... | 100 |

1. INTRODUÇÃO

Desde as primeiras civilizações, o homem tenta exercer controle sobre o fluxo das águas dos principais rios que abastecem as populações. Na Mesopotâmia, no auge do império babilônico, canais de irrigação foram construídos; na China, sistemas de controle de enchentes do rio Amarelo e de drenagem das águas foram implementados por volta de 3200 a.C.; no império romano, valas e canais foram construídos para carregar as águas limpas para dentro e o esgoto para fora das antigas cidades, além dos desvios de rios para a irrigação da agricultura. Nas ilhas britânicas, os romanos construíram diques para proteger áreas baixas pantanosas. Diversas técnicas foram empregadas na busca de melhorar as condições ambientais em planícies de inundação de rios para a manutenção das culturas agrícolas, das pastagens e das cidades, seja para abastecimento humano, para irrigação ou para impedir a ocorrência de catástrofes.

Todas essas intervenções humanas nos sistemas fluviais acarretaram mudanças nas características do fluxo d'água, do sedimento transportado e das formas dos canais dos rios, podendo gerar impactos positivos por um lado, às vezes por um curto prazo, e impactos negativos por outro. Na Mesopotâmia, por exemplo, a construção de canais de irrigação ligando o rio Tigres ao Eufrates provocou gradualmente a mudança de curso dos rios, pois as águas de irrigação espalhavam os sedimentos transportados pelos rios e, conseqüentemente, as terras foram ficando mais altas onde esses sedimentos eram depositados. Aumentaram, assim, os problemas de enchentes e de assoreamento e a dificuldade de irrigação, resultando no declínio da agricultura. Onde os canais de irrigação eram abandonados, os campos adjacentes transformavam-se em desertos, como ocorreu com o nordeste de Bagdá (Bertoni & Lombardi Neto, 2005).

Esses impactos ambientais causados pelas obras de engenharia em canais fluviais tornaram-se alvo de críticas somente após a década de 1950, após um período de proliferação

dos projetos de canalização que ocorreu a partir da segunda metade do século XIX, nos Estados Unidos e em alguns países da Europa, principalmente, na Inglaterra e na Dinamarca, onde o percentual de rios modificados por intervenção humana chega a 100% dos rios em seu território (Brookes, 1988).

Apesar de haver uma grande quantidade de trabalhos, artigos e livros publicados internacionalmente sobre os efeitos danosos das obras de modificação de canais fluviais, existem muito poucos trabalhos publicados no Brasil a respeito do tema. Além disso, até hoje ainda são usadas, não só no Brasil, como em diversos países, as mesmas técnicas que foram alvo de críticas durante a segunda metade do século XX, nos países centrais. O que se verifica, portanto, é que há uma grande defasagem entre as técnicas e pesquisas desenvolvidas nos países centrais e aquelas utilizadas nos países periféricos e semi-periféricos.

Durante muito tempo, as sociedades construíram barragens, canalizações, desvios e outras obras para “estabilizar” sistemas fluviais utilizando fórmulas da engenharia. De certo que grandes e eficazes obras foram realizadas, salvando vidas, muitas vezes. Entretanto, essas intervenções sempre se basearam em uma leitura objetiva e pragmática dos problemas ambientais enfrentados. Comparando a ciência ambiental com a medicina, Newson (1992) diz que usou-se por muito tempo os equivalentes aos analgésicos para sanar os problemas imediatos, embora alguns digam que o talento humano esteja no holismo e no longo prazo. Segundo este autor, engenheiros civis têm talento para resolver problemas pontualmente. Sua escala temporal usual não é maior que 100 anos, enquanto a escala temporal de trabalho do geomorfólogo varia de 100 a 100.000 anos.

Hoje, em diversos países da Europa, já se busca o estudo ambiental interdisciplinar, incorporando a biologia, a engenharia, a ecologia e o paisagismo para a recuperação de bacias hidrográficas degradadas a partir da renaturalização dos rios (Binder, 1998). Nesse sentido, a geomorfologia fluvial é fundamental, uma vez que durante todo o século XX houve um desenvolvimento intenso deste ramo da geomorfologia que fornece, hoje, as bases para o

entendimento da dinâmica fluvial. Enquanto a engenharia aplicou leis físicas precisas para os problemas imediatos das bacias por séculos, a visão geomorfológica coloca essas leis no contexto de diversas condições ambientais presentes no globo, em uma variedade de escalas espaciais, e em uma variedade de escalas temporais, o principal aspecto para um planejamento adequado (Newson, 1992).

No Brasil, apesar de já existirem propostas de renaturalização de rios (como a do rio São João – RJ) com equipes interdisciplinares, tais estudos são pouco divulgados e conhecidos. Poucos são os estudos que avaliaram os impactos das intervenções humanas diretas na morfologia de canais fluviais. De acordo com Vieira e Cunha (2005), são limitados os estudos de casos que retratam mudanças fluviais induzidas pela urbanização nos países tropicais.

A exemplo de diversas regiões no Norte Fluminense, o rio Macaé, que deságua no Oceano Atlântico após banhar a cidade de Macaé, esteve sempre sujeito a freqüentes enchentes em sua vasta planície de inundação, o que causava preocupação às autoridades locais devido à incidência de malária e outras doenças no local. Desde a década de 1940 até 1980, visando evitar tais inundações às margens do rio, o extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) realizou várias obras de retificação dos canais fluviais no baixo curso da respectiva bacia hidrográfica, compreendendo cerca de 60 km do canal principal, além de trechos de afluentes como o rio São Pedro, o rio D’Antas e o canal Jurumirim, como pode ser visto na Figura 1.1. No entanto, as enchentes se seguiram e, além delas, o assoreamento do canal do rio Macaé vem preocupando a comunidade local, uma vez que dificulta a captação de águas para a cidade. Além disso, atividades de extração de areia foram realizadas em diversos pontos para a execução de aterros rodoviários. Não há, porém, notícia de monitoramentos do desempenho dos rios após tais intervenções (Muehe & Valentini, 1998).

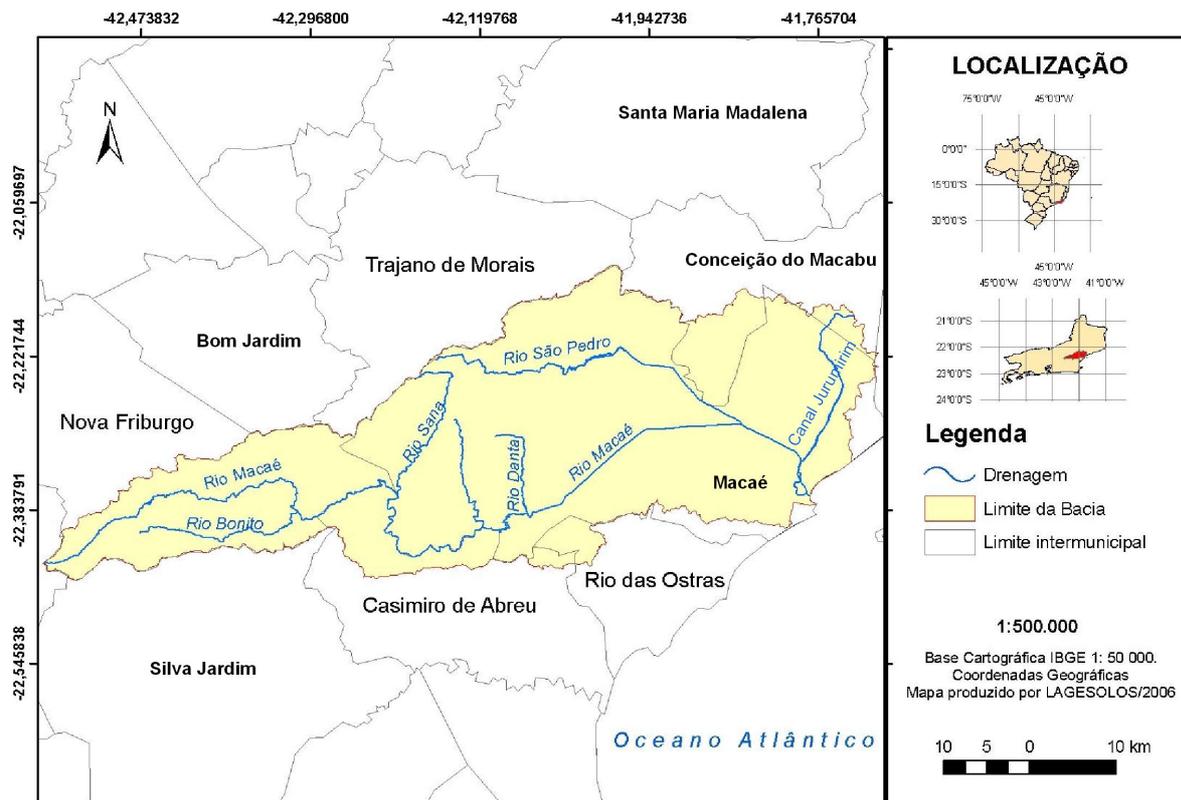


Figura 1.1: Mapa de localização da bacia do rio Macaé.

A modificação de canais fluviais traz inúmeras conseqüências para a dinâmica dos rios e para suas bacias hidrográficas como um todo. As obras de canalização são realizadas com o intuito de facilitar a navegação fluvial, evitar enchentes e focos de doenças. Entretanto, estas mesmas intervenções causam inúmeros impactos negativos sobre os sistemas fluviais em que são realizadas. Nas obras de canalização e retificação ocorre perda de sinuosidade do canal, modificações no padrão de drenagem, alterações no regime das descargas, no padrão de escoamento, na velocidade dos fluxos, elevação dos picos de descargas nos tributários, bem como aumento da carga de sedimentos, diminuição da rugosidade do leito, aumento da erosão nos afluentes, ocasionado pelo abaixamento do nível de base, além da perda ou destruição de habitats naturais, da mata ciliar e de mangues, entre outros impactos (Keller, 1978; Brookes, 1988; Cunha, 1995; Tucci & Bertoni, 2003).

Muitos destes impactos sobre a dinâmica fluvial trazem perdas econômicas e sociais para as regiões modificadas, como a perda de solo nas áreas onde há aumento de erosão, aumento na ocorrência de enchentes, redução da atividade pesqueira, perda de qualidade da água etc, interferindo na qualidade de vida da população local e, dependendo das dimensões do rio e de sua relevância, na economia local, regional ou nacional.

Nesta perspectiva, a região da bacia do rio Macaé adquire uma relevância particular, uma vez que vem sendo intensamente ocupada desde a década de 1970, com a instalação da Petrobras na Bacia de Campos, na cidade de Macaé. Desde então, a demanda pela água cresce intensamente, para que haja o abastecimento da agricultura, da usina termelétrica ali instalada (UTE Norte Fluminense), da Petrobras e de todos os usuários da cidade de Macaé, que tem importância econômica inquestionável para o país. Apesar disso, diversos problemas ambientais são encontrados na região: a população mais pobre da cidade sofre com a ocorrência de enchentes que atingem principalmente suas comunidades; o assoreamento de canais dificulta a captação de águas para abastecimento da população; a erosão marginal dos rios, a extinção de mangues e a poluição dos rios ainda agravam a situação do ecossistema local. (Costa, 1999; Marçal & Luz, 2003).

Para intermediar os conflitos a respeito do uso e os problemas de manejo dos recursos hídricos da bacia, o Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Macaé, implantado desde 2003, necessita de pesquisas básicas que busquem entender o funcionamento e comportamento da rede de drenagem, bem como sua evolução.

Buscou-se com a pesquisa aqui proposta, analisar as alterações ocorridas na morfologia dos canais fluviais do baixo curso da bacia do rio Macaé, decorrentes das obras de retificação dos mesmos, e seus impactos sobre a hidrodinâmica dos canais da região. Entende-se que o sistema de drenagem da bacia vem gradualmente se ajustando às novas condições impostas pela retificação do canal, que interferiu na dinâmica hidrossedimentológica da bacia,

alterando, através da mudança na forma, a vazão do canal, as zonas de erosão e deposição de sedimentos ao longo do leito, a quantidade de sedimentos em suspensão e por arraste transportados pelo fluxo, e até mesmo a produção de sedimentos nas cabeceiras de drenagem e nas margens dos rios.

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O rio Macaé tem sua nascente no município de Nova Friburgo, Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, em meio às escarpas da Serra dos Órgãos, nome regional da Serra do Mar, e corre no sentido W-E para o Oceano Atlântico, tendo sua foz no município de Macaé, na região norte-fluminense. Sua bacia de drenagem, de 1765 km², abrange ainda porções dos municípios de Trajano de Moraes, Casimiro de Abreu, Conceição de Macabú, Rio das Ostras e Carapebus. É limitada ao norte pela bacia do rio Macabu, afluente da lagoa Feia, ao sul pela bacia do rio São João, a oeste pela bacia do rio Macacu (integrante da bacia da baía de Guanabara) e a leste pelo Oceano Atlântico.

A área de estudo corresponde ao ambiente fluvial retificado no baixo curso da bacia do rio Macaé, como aponta a Figura. 2.1. Sabe-se que não é aconselhável desvincular e analisar apenas um trecho da bacia separadamente, uma vez que esta corresponde a um sistema. Portanto, outros aspectos que não correspondem somente à área de canais retificados, e sim à bacia hidrográfica como um todo, também foram analisados neste trabalho, para complementar a compreensão da dinâmica fluvial da área.

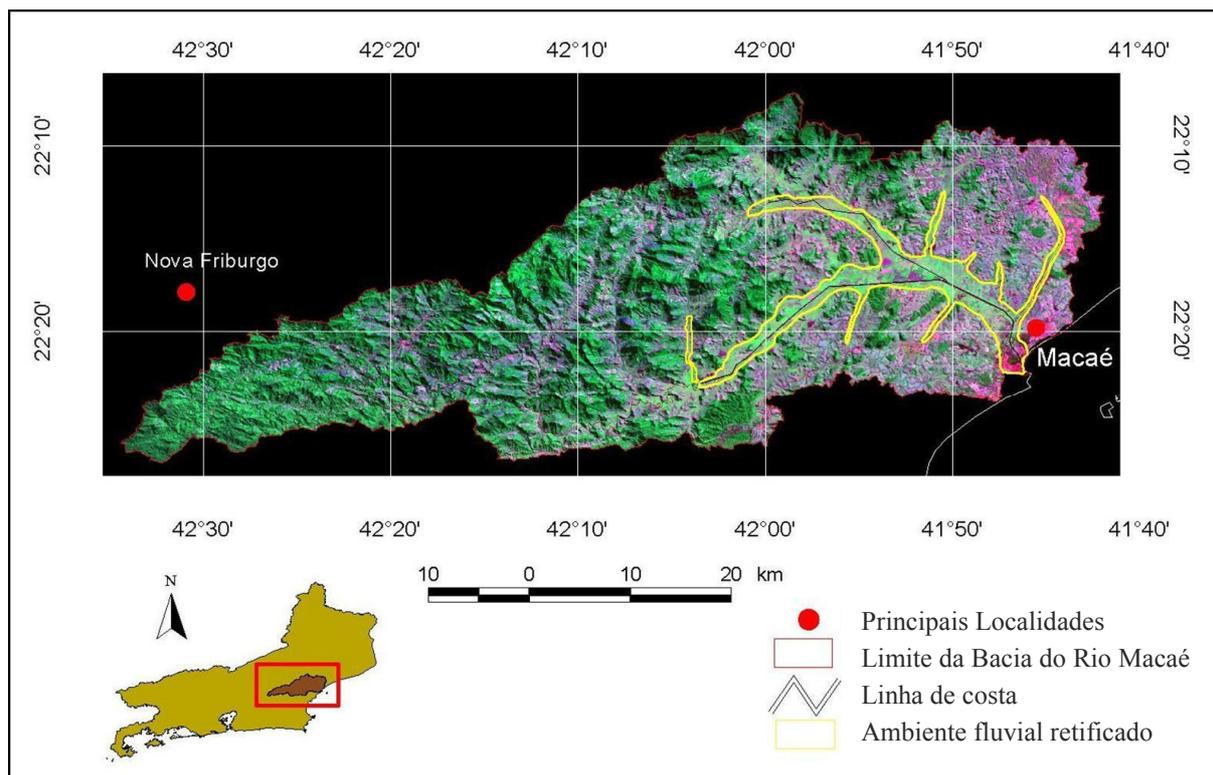


Figura 2.1 : Carta-Imagem de localização da área de estudo. Na área demarcada a leste pode verificar-se o ambiente fluvial retificado. (Fonte: Assumpção, 2009 – Imagem LandSat 7)

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do presente trabalho consiste em analisar o processo de retificação dos canais fluviais do baixo curso da bacia do rio Macaé através das modificações morfológicas e hidrossedimentológicas resultantes.

3.2 Objetivos Específicos

1. Análise espacial e temporal da forma em planta dos canais fluviais através da elaboração de mapas e fotografias aéreas anteriores e posteriores às intervenções;
2. Análise dos parâmetros hidrossedimentológicos atuais para interpretação da dinâmica fluvial do rio Macaé;

3. Avaliação da interferência das obras de retificação dos rios na morfologia e, conseqüentemente, nos processos hidrossedimentológicos presentes no sistema fluvial da bacia do rio Macaé, além de seus impactos nas áreas adjacentes;

4. METODOLOGIA:

Para atingir os objetivos propostos no trabalho, alguns temas foram prioritariamente pesquisados. Desta forma, foi realizado um **levantamento bibliográfico** teórico que serviu de suporte epistemológico para a análise proposta neste trabalho. Com isso, buscou-se um maior aprofundamento sobre:

- a) A Teoria dos Sistemas e sua utilização na Geografia Física, com base nos trabalhos de Bertalanffy (1968), Chorley e Kennedy (1971), Christofolletti (1979, 1999); com o intuito de entender a lógica sistêmica - da relação entre os elementos (objetos) e os fluxos de matéria e energia que compõem o sistema fluvial - e aplicá-la à compreensão dos fenômenos estudados na bacia do rio Macaé;
- b) A Geomorfologia Fluvial, suas principais teorias e conceitos acerca dos processos e formas dos canais fluviais e, principalmente, daqueles que sofreram processos de retificação e canalização, a partir dos trabalhos de Leopold *et al.* (1964), Schumm (1977), Christofolletti (1981), Brookes (1988, 1994, 1996), Canter (1985), Summerfield (1991), Cunha (1995)
- c) Os impactos ambientais das modificações de canais fluviais (canalizações e retificações) realizadas em diversos países a partir de uma abordagem geomorfológica, o que nos permitiu entender melhor os resultados obtidos através da pesquisa na bacia do rio Macaé.

4.1 Análise espacial e temporal da forma em planta dos canais

Para a análise pretendida, foi feito **levantamento e interpretação de produtos cartográficos e de sensoriamento remoto** (fotografias aéreas e imagens de satélite) da área de estudo, buscando compreender a evolução temporal da forma em planta dos canais fluviais do baixo curso da bacia do rio Macaé, com a elaboração de mapas das formas encontradas ao longo do tempo, para posterior análise das transformações ocorridas.

Com esse intuito, foram utilizadas fotografias aéreas na escala de 1:20.000 do projeto SA-383 de 1968 do Departamento de Recursos Minerais do Rio de Janeiro (DRM-RJ) além da base cartográfica do mapeamento sistemático do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para a região, o que nos fornece o dado da forma do canal na escala de 1:50.000 entre os anos de 1968 a 1974, período em que foram elaboradas as cartas topográficas do ambiente retificado e que antecede a maior parte das modificações morfológicas realizadas pelas obras de retificação dos canais estudados. Tais bases nos mostram a forma do canal antes das intervenções do extinto DNOS, tanto na forma de arquivos vetoriais como em arquivos matriciais (imagens). O georreferenciamento de todas as fotografias aéreas fornecidas foi realizado através do software ArcGIS 9.3, para posterior mapeamento das feições de interesse para a pesquisa, utilizando o mesmo software. Foram mapeadas feições deposicionais do tipo “point bars” (praias fluviais); barras arenosas e ilhas fluviais, além de paleocanais e meandros abandonados.

As cartas topográficas do IBGE que compõem a bacia hidrográfica do rio Macaé são: Nova Friburgo (SF-23-Z-B-II-4) 1974; Quartéis (SF-23-Z-B-III-3) 1985; Trajano de Morais (SF-23-Z-B-III-2) 1974; Casimiro de Abreu (SF-23-Z-B-III-4) 1973; Conceição de Macabú (SF-24-M-I-1) 1969; Macaé (SF-24-M-I-3) 1969; Carapebus (SF-24-M-I-2) 1969; Cabiúnas (SF-24-M-I-4) 1968.

Com o intuito de analisar as modificações ocorridas na forma em planta dos canais após a retificação, foram utilizadas fotografias aéreas ortorretificadas produzidas pela Ampla Energia e Serviços S.A. na escala de 1:10:000 do ano de 2000 cedidas pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA) para esta pesquisa, ainda com o suporte das imagens de satélite colocadas à disposição na internet através do Software GoogleEarth. Foram produzidos mapas da forma em planta anterior às obras do extinto DNOS além da forma atual dos canais em questão, através do software ArcGIS 9.3. Tal mapeamento nos permitiu elaborar uma análise das transformações ocorridas e dos possíveis efeitos gerados sobre os parâmetros hidrossedimentológicos na bacia do rio Macaé, com base nos conceitos da geomorfologia fluvial e nos estudos de casos pesquisados. Vale ressaltar que o limite temporal da pesquisa (ano 1968) decorre da falta de fotografias aéreas, imagens, mapas, ou, até mesmo, de desenhos anteriores a essa data.

Para complementar análise da forma em planta dos canais, foram elaborados perfis longitudinais do rio Macaé, antes e após sua retificação. Foram utilizadas as curvas de nível do mapeamento sistemático do IBGE na escala 1:50.000 e a hidrografia obtida por meio da interpretação das fotografias aéreas, tanto no período anterior como posterior à intervenção. Utilizaram-se os softwares ArcGIS 9.3 para interpretação das fotografias aéreas e Excel 2003 para elaboração dos gráficos.

4.2 Análise dos parâmetros hidrossedimentológicos atuais

Para a **análise dos parâmetros hidrossedimentológicos**, foi realizado monitoramento de um ano e cinco meses, com intervalos de 3 a 5 meses entre cada medição, em função dos períodos secos e úmidos na região, pela equipe do Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos (LAGESOLOS - UFRJ). Foram monitorados dados de **vazão, forma**

da calha fluvial e granulometria dos sedimentos de fundo do canal do rio Macaé, em seis locais estabelecidos de acordo com a geomorfologia da bacia e com a posição dos principais afluentes. Como mostra a Figura 7.34, as estações de monitoramento foram estabelecidas à montante e à jusante de três confluências de canais com o rio Macaé, sendo estas as desembocaduras do rio São Pedro (principal afluente), do rio D’Antas e do rio Sana, totalizando seis estações. Estas estações são nomeadas por números, com a seguinte configuração: as **estações 2 e 3** estão situadas respectivamente à montante e à jusante da desembocadura do **rio São Pedro**; as **estações 5 e 6** estão situadas respectivamente à montante e à jusante da desembocadura do **rio Sana**; e as **estações 7 e 8** estão situadas respectivamente à montante e à jusante da desembocadura do **rio D’Antas**. A estação 1 foi perdida por erosão durante o monitoramento. E a estação 4 apresentou poucos resultados. A Tabela 4.1 mostra as características das estações de monitoramento.

Tabela 4.1: Localização dos pontos de monitoramento.

| Estação | Localização | Largura da seção (m) | Situação dos dados |
|----------------|--|-----------------------------|---------------------------|
| 2 | à montante do Rio São Pedro (100m) | 39 | parcial |
| 3 | à jusante do Rio São Pedro (800m) | 53 | completa |
| 5 | à montante do Rio Sana | 38,6 | parcial |
| 6 | à jusante do Rio Sana | 53,2 | parcial |
| 7 | à montante do Rio Dantas | 33,3 | parcial |
| 8 | à jusante do Rio Dantas, logo antes da retificação | 47,3 | parcial |

O monitoramento da forma da calha fluvial foi realizado por meio de **seções transversais** ao canal. Foram colocados tubos de aço galvanizado fincados nas margens do rio, nivelados com nível de bolha e cimentados. A partir das extremidades dos tubos de aço foram tencionados cabos de aço, de onde foram tomadas as medidas até a lâmina d’água e até o solo (nas margens), em intervalos de 50 cm (Figura 4.1). As medidas da profundidade do canal foram tomadas com trena comum (quando com poucas profundidades) ou trena de aço, apropriada para este fim, igualmente em intervalos de 50 cm, a bordo de um bote (quando profundas). Os dados obtidos foram tratados em laboratório, por meio do software Excel

2003, para elaboração de gráficos que nos permitiram visualizar e analisar as áreas onde ocorrem erosão e deposição de sedimentos, e avaliar a situação atual do canal do rio Macaé, inferindo tendências na evolução das formas do mesmo e de seus afluentes. (Sugiuo e Bigarella, 1990; Brookes, 1996).

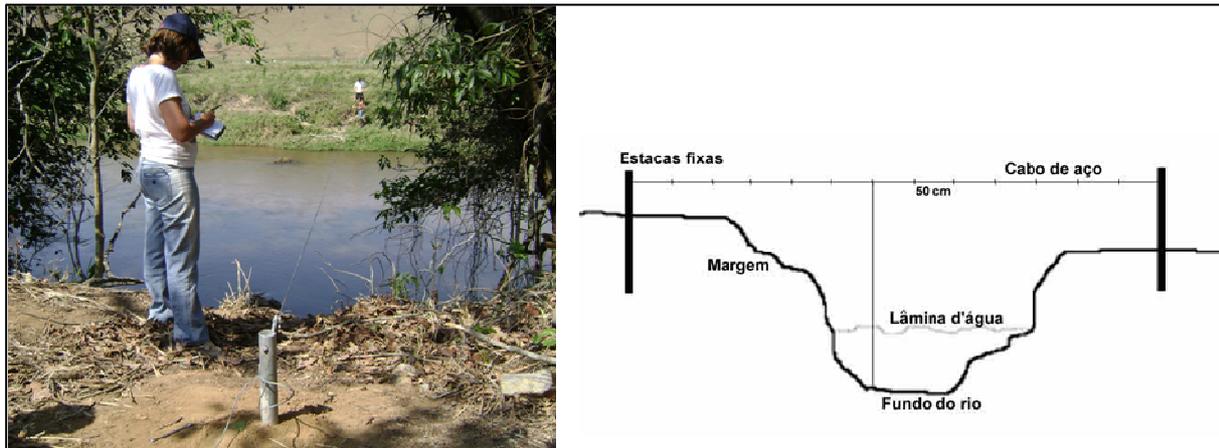


Figura 4.1 – Seção transversal ao rio Macaé - foto: 10/2007 e esquema ilustrativo da seção.

A medição da **vazão** do canal nos trechos das seções foi realizada por meio de flutuadores. Após a medição da velocidade dos flutuadores, foi feito, no software Excel 2003, o cálculo da área da seção molhada por meio dos gráficos das seções transversais. A multiplicação da velocidade dos flutuadores pela área da seção molhada resultou no valor da vazão do canal naqueles trechos.

Simultaneamente à realização das seções transversais, foram feitas coletas de amostras de sedimento do fundo do canal para análise em laboratório. A **análise granulométrica** foi realizada no Laboratório de Geografia Física do Departamento de Geografia da UFRJ, através do peneiramento de 100 gramas de amostra seca, por cerca de 15 minutos, com uso de agitador e peneiras de malhas: -1,00; 0,00; 1,00; 2,00; 3,00 e; 4,00 phi. As amostras peneiradas foram pesadas e, posteriormente, foram realizados os gráficos dos percentuais obtidos para cada tipo de sedimento, no software Excel 2003. Tais estudos auxiliaram na

caracterização do depósito sedimentar e no diagnóstico da inter-relação entre a granulometria, as variações da energia do fluxo fluvial e os processos atuantes no canal (Leopold *et al.*, 1964; Carvalho, 1994).

A partir do conjunto de dados obtidos para cada estação de monitoramento foi possível um maior entendimento das relações entre o fluxo d'água e os sedimentos carregados e depositados ao longo do canal do rio Macaé, uma vez que as mudanças ocorridas nesses elementos interferem nos processos de erosão, transporte e sedimentação fluvial, gerando, dessa forma, alterações na forma do canal. (Leopold *et al.*, 1964; Christofolletti, 1981; Cunha, 2003). A Figura 4.2 ilustra a metodologia utilizada para a pesquisa, desde as etapas iniciais até a avaliação da interferência das obras de retificação sobre a bacia do rio Macaé.

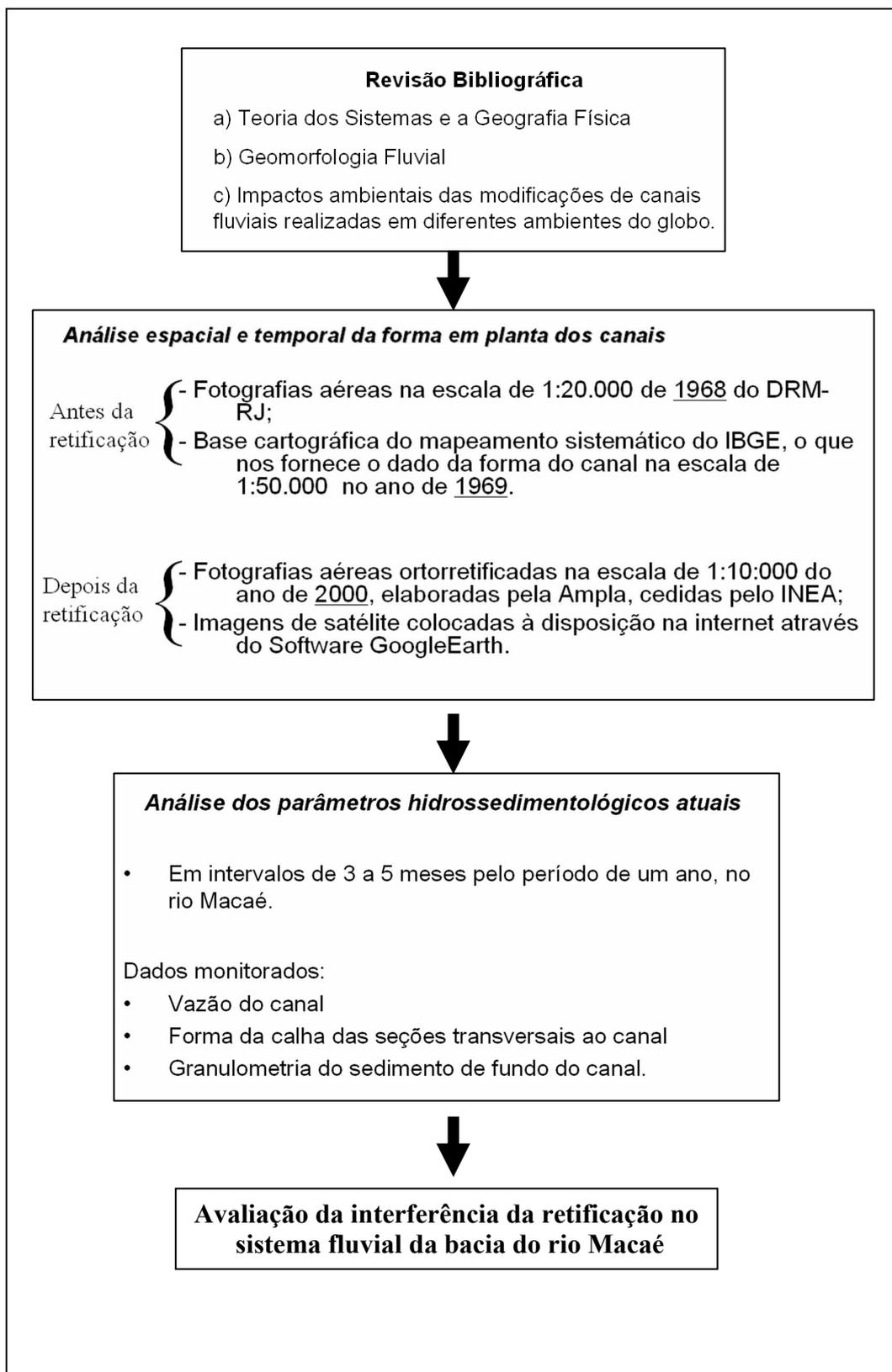


Figura 4.2: Esquema ilustrativo da Metodologia de trabalho

5. EMBASAMENTO TEÓRICO-CONCEITUAL

5.1 O conceito de Sistema e a Geomorfologia

A partir da segunda metade do século XX, alguns autores introduziram o conceito de sistema em seus trabalhos na geomorfologia e na geografia física em geral. A idéia de sistema, como conjunto estruturado de elementos e suas interações, é antiga e difusa no conhecimento científico. No entanto, a preocupação em se realizar uma abordagem sistêmica conceitual e analítica rigorosa surgiu na Biologia Teorética na década de 1930, com os estudos de R. Defay e de Ludwig von Bertalanffy (Christofoletti, 1979; 1999). Bertalanffy (1968), responsável pelas primeiras aplicações da Teoria Geral dos Sistemas e autor da obra “*General System Theory: Foundations, Development, Applications*”, responsabiliza a teoria por uma revolução: a mudança de uma abordagem reducionista a um pensamento holístico na ciência moderna em todos os seus campos, desde a física até as ciências sociais e a filosofia.

Nos estudos geomorfológicos, o conceito de sistema foi introduzido por Strahler, em 1952, quando mencionou os trabalhos de Bertalanffy para discutir sobre sistemas de drenagem e estabelecer as bases dinâmicas da geomorfologia, buscando diferenciar sistemas abertos de sistemas fechados (Christofoletti, 1999). Entretanto, foi Richard Chorley, na obra “*Geomorphology and General Systems Theory*” de 1962, que sistematizou e esclareceu a importância da abordagem sistêmica em geomorfologia. Mais tarde, em 1971, Chorley e Kennedy definiram sistema como:

“um conjunto estruturado de objetos e/ou atributos. Esses objetos e atributos consistem de componentes ou variáveis (isto é, fenômenos que são passíveis de assumir magnitudes variáveis) que exibem relações discerníveis um com os outros e operam conjuntamente como um todo complexo, de acordo com determinado padrão”.

Estes autores fornecem uma importante contribuição à aplicação da teoria dos sistemas na geomorfologia e propõem uma classificação estrutural para os sistemas, distinguindo onze tipos. Dentre estes, quatro são os principais tipos utilizados na Geografia Física: sistemas morfológicos; sistemas em seqüência ou encadeantes; sistemas de processos-respostas; e sistemas controlados.

Os sistemas morfológicos são compostos somente pela associação das propriedades físicas do fenômeno (geometria, composição etc.). Correspondem às formas sobre as quais se podem escolher as variáveis a serem medidas: comprimento, largura, altura, profundidade, densidade, entre outras. Os sistemas em seqüência são compostos por cadeias de subsistemas, possuindo tanto extensão quanto localização geográfica, que são dinamicamente relacionados por um fluxo de matéria e energia. A saída de um subsistema é a entrada para o subsistema adjacente (Christofolletti, 1979; 1999).

Os sistemas de processos-respostas são formados pela combinação de sistemas morfológicos com sistemas em seqüência. Os sistemas morfológicos representam a forma, enquanto o de processos-respostas indica o processo. A dificuldade maior está em identificar as relações entre os processos e as formas que deles resultam, de modo que qualquer alteração no processo se reflete em reajuste das formas e este conduz a uma nova modificação na maneira como o processo se realiza. Esta característica “cíclica” apresentada pelos sistemas é chamada de retroalimentação (feed-back), que pode ser negativa, quando a relação entre subsistemas é inversa, ou positiva, quando os subsistemas são diretamente proporcionais.

Os sistemas controlados são sistemas de processos-respostas que apresentam a atuação humana intervindo em algumas variáveis e, portanto, modificando a distribuição de matéria e energia dentro dos sistemas encadeantes (Christofolletti, 1979; 1999). Os efeitos das intervenções humanas nos sistemas fluviais podem ser melhor compreendidos a partir desta perspectiva.

Outra definição, mais recente, do conceito de sistema é dada por Haigh (1985 apud Christofolletti, 1999), segundo o qual um sistema é:

“uma totalidade que é criada pela integração de um conjunto estruturado de partes componentes, cujas inter-relações estruturais e funcionais criam uma inteireza que não se encontra implicada por aquelas partes componentes quando desagregadas”.

Entende-se, portanto, que há o surgimento de propriedades emergentes, ou propriedades não redutíveis, quando se estuda um conjunto de objetos e as relações (fluxos) mantidas entre eles, ou que o “todo” formado por este conjunto não deve ser entendido como a soma de suas partes (Odum, 1988).

5.2 Bacia Hidrográfica: O Sistema Fluvial

Apesar de o conceito de bacia hidrográfica ser anterior ao de sistema – já era usado no século XVII pelo hidrólogo Pierre Perrault em seus estudos – foi a partir do trabalho de Strahler (1952) que a pesquisa geomorfológica passou a entender a bacia hidrográfica como um sistema. Para Strahler (*op. cit*) a bacia hidrográfica se define melhor como um “sistema aberto em estado constante, que difere de um sistema fechado em equilíbrio, pois o sistema aberto possui importação e exportação de componentes”. Desde então, a bacia hidrográfica tornou-se o principal recorte espacial utilizado nos trabalhos de geomorfologia e geografia física.

A bacia hidrográfica pode ser definida como uma área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial, funcionando como um sistema aberto dentro do qual atuam de forma interativa, mecanismos de entrada e saída de fluxos (Chorley, 1962; Leopold et al., 1964; Christofolletti, 1981). Caracteriza-se como um sistema na medida em que qualquer alteração em um de seus elementos integrantes acarreta modificações nos outros elementos

constituintes. Logo, aquilo que ocorre no alto curso de uma bacia certamente terá efeitos no baixo curso (e vice-versa) e qualquer mudança na forma do canal terá impactos sobre os parâmetros hidrológicos, sedimentológicos etc. (Chorley, 1962; Schumm, 1977; Christofolletti, 1981; Summerfield, 1991).

Devido a estas características, o conceito de bacia hidrográfica é considerado adequado para os estudos dos recursos hídricos. Com a percepção da necessidade de preservação dos recursos naturais, no pós-guerra, devido aos problemas ambientais provocados pela aceleração dos processos de industrialização, urbanização e desenvolvimento econômico baseados na super-exploração dos recursos naturais, o conceito de bacia hidrográfica adquiriu ainda mais importância, sendo tratada como unidade ideal para o planejamento e a gestão ambiental. Segundo Botelho e Silva (2004, p.153):

“Entendida como célula básica de análise ambiental, a bacia hidrográfica permite conhecer e avaliar seus diversos componentes e os processos e interações que nela ocorrem. A visão sistêmica e integrada do ambiente está implícita na adoção desta unidade fundamental.”

Seu conceito a constitui em uma célula de análise ambiental, principalmente ao tratarmos de recursos hídricos. O conceito de sistema controlado é base para o entendimento dos problemas relativos à qualidade e quantidade de água associados à ocupação do território, seja em meio urbano ou rural. O gerenciamento e a gestão dos recursos hídricos, principalmente no que tange às águas superficiais, incorporam necessariamente a bacia hidrográfica como unidade de análise e controle.

5.3 A Questão Ambiental e os impactos sobre os sistemas fluviais

Atualmente, uma das temáticas mais preocupantes no âmbito da questão ambiental envolve o uso sustentável dos recursos hídricos. A água é base do equilíbrio ambiental do planeta e um bem de consumo de fundamental importância para o ser humano. O aumento de sua demanda tem levado à percepção da necessidade de um maior controle, que regule seu uso de forma a assegurar sua disponibilidade futura (Tucci & Bertoni, 2003).

Neste sentido, foram criadas em diversos países legislações para regular o consumo e a manutenção dos recursos hídricos, adotando a bacia como célula de análise. No Brasil, não foi diferente e, em 1997, foi criado Sistema Nacional de Recursos Hídricos e a Política Nacional de Recursos Hídricos, através da Lei nº 9433, fornecendo as diretrizes básicas da gestão destes recursos. Dentre estas diretrizes coloca-se a bacia hidrográfica como a unidade territorial para atuação do Sistema, além de um modelo participativo de gestão, fomentando a criação de Comitês de Bacias Hidrográficas, que são os órgãos legitimados a tomar as decisões relativas à gestão das águas da respectiva unidade, visando à diminuição dos impactos ambientais sobre os rios.

Dentre os impactos derivados da atividade humana sobre os sistemas fluviais, um dos mais expressivos é a obra de retificação, que envolve a modificação direta da calha dos rios. Quando a questão ambiental surgiu, na década de 1970, percebeu-se a necessidade de diminuir o processo de super-exploração dos recursos naturais e de conservá-los para a manutenção da qualidade de vida das gerações futuras. Já nessa época, muitos planejadores e órgãos de conservação começaram a buscar estudar os efeitos das obras de canalização de rios, mas o progresso destas pesquisas foi retardado devido à falta de um sumário das publicações científicas (Brookes, 1988).

A palavra *channelization*, em inglês, é o termo utilizado para se referir a todos os processos de engenharia em rios com o objetivo de controle de enchentes, melhoria da

drenagem, manutenção da navegabilidade, redução da erosão das margens ou realocação para a construção de rodovias (Brookes, 1988; Cunha, 1995).

No Brasil, o que se verifica é que o termo canalização é usado para referir-se a projetos que envolvam a modificação do canal fluvial com posterior concretização da calha do mesmo. Já o termo retificação é utilizado para obras que envolvam principalmente a retirada de meandros e curvas do canal em questão, buscando torná-lo retilíneo e mais íngreme para que haja aumento da velocidade do fluxo d'água, concentrando-o e permitindo a rápida transferência das cheias para jusante. Normalmente é utilizada para evitar ou diminuir a ocorrência de enchentes em uma área de planície de inundação, bem como para facilitar a navegação. É possível também encontrar, na literatura brasileira, o termo canalização em sentido amplo, como ocorre com o termo em inglês, abarcando todos os processos que envolvem modificação da calha do rio, e o termo retilização, usado como sinônimo de retificação.

Geralmente os canais modificados, ou criados, são mais largos e profundos que os canais naturais que “substituem” para suportar a vazão máxima estabelecida. Tal aprofundamento provoca a diminuição do nível freático nas planícies de inundação, o que pode aumentar a produtividade da agricultura praticada nas mesmas, havida como objetivo da obra, muitas vezes. Os canais modificados apresentam normalmente três formas em perfil transversal: trapezoidal, quando construída com sedimentos não coesos, o que possibilita a estabilização da calha; retangular, quando construída com material mais durável, como concreto; e triangular, usada para pequenos córregos com pouca vazão (Brookes, 1988).

Em tese, um canal projetado deve ter uma seção transversal que forneça o máximo de eficiência da descarga com o mínimo de escavação. No entanto, isso não é sempre possível devido à instabilidade das margens, à porosidade do leito e à proximidade de construções que restringem a largura ou profundidade necessárias (Brookes, 1988).

A Tabela 5.1 lista alguns dos principais métodos de canalização de rios e termos utilizados nos EUA e na Inglaterra. A canalização, em sentido amplo, pode ser executada para alargar, retificar, margear ou proteger um canal existente ou pode ainda envolver a criação de novos canais.

Tabela 5.1: Terminologias utilizadas para os métodos de canalização (baseado nos termos usados em Nunnally and Keller, 1979* e Thorn, 1966+ apud Brookes, 1988)¹

| Termo americano* | Equivalente Britânico+ | Procedimento | Tradução |
|-----------------------|--|---|--|
| Widening Deepening | Resectioning Resectioning | Manipulação da largura e/ou profundidade do canal para aumentar sua capacidade. | Alargamento /aprofundamento |
| Straightening | Realigning | Aumento do gradiente para aumento da velocidade. | Retificação |
| Levee construction | Embanking | Confinamento das águas de cheias pelo aumento da altura das margens do canal. | Construção de Diques |
| Bank stabilization | Bank protection | Uso de estruturas como gabiões de aço para controle da erosão marginal. | Estabilização das Margens |
| Clearing and snagging | Pionner tree clearance Weed control Dredging of silt Clearing trash from urban áreas. | Diminuição da resistência hidráulica e aumento da velocidade do fluxo através da remoção de obstruções. | Remoção de obstáculos (Desobstrução do canal por troncos, controle de capinzais, dragagem e limpeza do lixo em áreas urbanas). |

Adaptado de Brookes (1988)

Muitos destes processos de modificação de rios se utilizam de fórmulas elaboradas através da “teoria do regime” (*regime theory*), baseada em medições feitas em canais de irrigação na Índia e no Paquistão, que foram considerados estáveis ou em “equilíbrio”. De acordo com Brookes (1988), Lindley, em 1919, apresentou diversas equações estabelecendo as relações entre as características geométricas e hidráulicas dos canais. Lindley mostrou que a largura, a profundidade e declividade dos canais estavam relacionadas à vazão, ao tipo e

¹ Para saber mais a respeito das técnicas de canalização utilizadas, vale consultar o livro “Channelized Rivers” de Brookes (1988) em seu capítulo sobre engenharia fluvial convencional.

quantidade de sedimento transportado pelo rio. Desde então, muitos trabalhos na Índia relacionaram tais variáveis e as equações geradas serviriam para projetar canais estáveis em condições físicas semelhantes. Entretanto, aplicá-las a rios com características de leito e carga sedimentar diferentes podem produzir resultados desastrosos (Brookes, 1988; Wizga, 2001).

Após 1919, diversas outras equações foram desenvolvidas mais recentemente com base em maior quantidade de dados e informações disponíveis a respeito dos fatores controladores da morfologia dos canais. A pesquisa científica refinou as equações da teoria do regime utilizando-se de outros estudos acerca da mecânica dos fluidos e do transporte de sedimentos. Ainda assim, segundo Brookes (1988), a teoria do regime não obteve muito sucesso já que não foram produzidas equações gerais que tivessem aplicação mais abrangente sobre rios naturais.

Outra teoria muito utilizada nos projetos de canalização fluvial na América do Norte foi a teoria da força de atrito (*tractive force theory*), cujo conceito inicial foi introduzido por duBoys em 1879 (Brookes, 1988, Wizga, 2001). No entanto, só a partir da década de 1950 os critérios para elaboração de projetos de canais estáveis foram propostos. Para garantir a estabilidade do canal, procura-se descobrir a menor força de atrito necessária (valor crítico) para iniciar o movimento das partículas no fundo do leito e nas laterais. Algumas equações são geradas utilizando variáveis como ângulo entre a superfície da água e a lateral do leito, peso específico da água, raio hidráulico etc. (Brookes, 1988).

Para Brookes (1988), tanto a teoria do regime como a da força de atrito possuem grandes limitações na utilização em obras de canalização e sofreram críticas por várias razões. Segundo o autor, não há consenso na escolha dos parâmetros de profundidade e largura utilizados nas várias equações elaboradas com base na teoria do regime. Estas mesmas equações não incorporam a carga de sedimento como variável independente e não dão a

devida importância à taxa de transporte de sedimentos. Além disso, as constantes das equações são desconhecidas para uma ampla variedade de condições ambientais.

Enquanto as fórmulas da teoria do regime são válidas somente para uma vazão (a predominante), as fórmulas da teoria da força de atrito são mais gerais e aplicáveis a distintas vazões do canal. No entanto, devido à falta de conhecimento mais profundo sobre mecânica dos fluidos e do transporte de sedimentos, os resultados não possuem acurácia, resultando em projetos ineficazes. Esse método se aplica bem para águas claras, com poucos sedimentos em suspensão, porém o mesmo não é válido para rios com aporte sedimentar maior. (Brookes, 1988)

De acordo Völmers (apud Wizga, 2001), um dos problemas das fórmulas utilizadas para a realização de obras de canalização está na escala temporal de análise de um rio que se pretende modificar. Os valores obtidos para taxa de transporte de sedimentos são valores momentâneos e, portanto, inválidos para a incorporação em equações. Como dados de longo prazo são muito raramente obtidos, principalmente em países periféricos, a adequação das equações para um determinado canal é verificada somente após a execução da obra, não antes. Em geral, as fórmulas só se provam corretas para aqueles rios sobre os quais foram desenvolvidas (Wizga, 2001).

Howard (1980 apud Wizga, 2001) fez uma comparação entre os resultados obtidos com diferentes equações formuladas para cálculo de transporte de sedimentos. Em sua pesquisa, o objetivo era descobrir o gradiente necessário para transportar uma dada quantidade de sedimentos de granulometria conhecida. Para a maior parte das classes granulométricas, o gradiente obtido através das diferentes fórmulas variou por ao menos duas ordens de grandeza, o que evidencia a falta de precisão das fórmulas utilizadas para estes cálculos.

Ainda para Wizga (2001), algumas equações de transporte de sedimentos podem funcionar para rios com material sedimentar bem selecionado, especialmente arenosos, em condições de fluxo uniforme. Porém, pesquisas recentes mostram que elas não são válidas para rios com carga sedimentar mal selecionada, como para rios de cascalho. Uma das razões para isso é a camada de sedimentos mais grosseiros que se sobrepõe a sedimentos finos e que impedem a remoção destes, o que leva à equivalência da velocidade crítica de remoção de sedimentos que possuem granulometria diferente.

Diversas metodologias são utilizadas para a identificação das mudanças fluviais: mensurações empíricas através de pesquisas de campo; dados históricos; analogia entre bacias adjacentes com geologia e uso da terra similares; técnicas de datação; e interpolação espacial dentro da bacia hidrográfica (Brookes, 1984 apud Brookes, 1994). O uso de fotografias aéreas e mapas é um dos métodos mais utilizados e, segundo Brookes (*op. Cit*), requer a suposição de que a mudança é uniforme no tempo e depende de fatores como projeção dos mapas, estado de preservação etc.

Algumas obras de canalização (sentido amplo) são propositalmente projetadas para induzir ajustes na morfologia fluvial. Porém, a maioria dos ajustes que se processam nos canais modificados são indesejados, o que requer constante e onerosa manutenção. Talvez o efeito mais drástico em trechos retificados ocorra em resposta a mudanças no gradiente do canal devidas à redução do comprimento do mesmo (Brookes, 1988; Cunha 1995).

O caso do rio Mississipi, um dos maiores sistemas fluviais no mundo, representa um emblemático exemplo das conseqüências da retificação de canais. Já em 1719, a construção de diques provocou o aumento da velocidade do fluxo e o transporte de sedimentos para jusante. Além disso, no século XIX, com o desenvolvimento da agricultura na região e do transporte fluvial, houve a remoção de grande parte da mata ciliar, levando à instabilidade das margens que, erodidas, aumentaram a carga sedimentar dos rios da bacia. Devido ao

assoreamento dos canais, a comissão do rio Mississippi, montada para a sua manutenção, passou a realizar dragagem dos canais para permitir a navegação necessária à região, o que gerou aumento do fornecimento de sedimentos para jusante. Nos anos 1930 iniciaram-se obras de retificação do canal para facilitar o transporte de sedimentos e eliminar a erosão, o que resultou em 243 km de redução do comprimento do rio, exigindo constante dragagem por um período de mais de 10 anos (Brookes, 1988; Collins & Knox, 2003).

Em seu estudo acerca do rio Raba, nos Cárpatos Poloneses, Wizga (2001) verificou, através de comparação de fotografias aéreas e estudos hidrossedimentológicos, que os processos de retificação sucessivos que o rio sofreu levaram ao aumento drástico do entalhamento (*incision*) do canal em duas fases, sendo a última mais intensa devido à mudança no uso da terra da bacia de drenagem, o que levou à redução na produção de sedimentos. No entanto, segundo o autor, poderia ter sido evitada a canalização imprópria caso a tendência na redução da carga sedimentar tivesse sido diagnosticada por estudos geomorfológicos e hidrossedimentológicos levando em consideração não só o tamanho, mas a forma, angularidade, agregação, orientação e microestrutura dos sedimentos carreados.

De acordo com Schumm (1969 apud Wizga, 2001), mudanças no fornecimento de sedimentos são diretamente refletidas na tendência de erosão ou agração do leito de um canal, enquanto que mudanças no tamanho dos grãos carreados resultam na alteração da proporção entre sedimentos em suspensão e sedimentos de fundo, o que afeta diretamente a forma em planta e da seção transversal do canal. Diante disso se nota a importância da conexão entre os estudos geomorfológicos e hidrossedimentológicos, considerando-se a noção sistêmica da bacia, verificada através da variável uso da terra incorporada no estudo supracitado.

Nakamura *et al* (1997) observaram outros impactos das obras de canalização de rios no norte do Japão. Através da elaboração de perfis longitudinais - anterior e imediatamente

após as modificações, e atual - os autores concluíram que a retificação do canal fluvial do rio Kuchoro encurtou o canal em dez quilômetros de distância e, conseqüentemente, mudou o gradiente do leito em cerca de 0,1% de declividade. Tal alteração levou ao deslocamento do local no rio onde ocorre a mudança do material de fundo do leito de cascalho para areia e silte. Antes, essa mudança do fundo ocorria a sete quilômetros de onde ocorre atualmente, o que representa uma alteração muito drástica para um breve período de tempo – de 1965 até 1997.

De acordo com Keller (1978), outro efeito da retificação de canais decorre da escavação da calha fluvial, uma vez que elimina as rugosidades do leito e a seqüência natural de depressões (*pools*) e soleiras (*riffles*) do fundo do canal, que têm importância inquestionável para o hábitat natural da limnofauna. Assim sendo, muitos projetos de canalização de rios nos Estados Unidos, Alemanha e Inglaterra, aumentaram a produtividade biológica pela adição de soleiras e depressões ao canal anteriormente modificado (Brookes, 1988; Cunha, 1995).

Por fim, grande parte dos efeitos adversos da canalização deriva da falta de entendimento do equilíbrio dinâmico inerente aos sistemas fluviais. Para Wizga (*op. Cit*), a falha em reconhecer um regime não-estático do rio pode levar a uma canalização sem sucesso e à instabilidade do canal. Para ele, falta reconhecer que os canais a serem modificados não estão ajustados às condições ambientais e em equilíbrio, mas podem ainda estar se ajustando a elas, já que o processo de ajuste do rio a mudanças ambientais é de longa duração. Portanto, antes de iniciar qualquer procedimento de modificação da calha de um rio, é necessário que se façam estudos das tendências no fornecimento de sedimentos da bacia e nos registros hidrográficos das enchentes.

No entanto, até a conscientização da natureza sistêmica das redes hidrográficas, os planejadores e engenheiros incumbidos de realizar as obras de modificação de canais com o

intuito de melhorar as condições de vida das populações ribeirinhas não consideraram os impactos ambientais gerados. Segundo o Comitê de Operações Governamentais americano (1973 apud Brookes, 1988), a justificativa para a realização de projetos de canalização em muitos países tem raízes na relação custo-benefício que incorpora valores tangíveis e mensuráveis, mas não considera os possíveis efeitos ambientais adversos como parte dos custos antecipadamente.

6. CONTEXTO AMBIENTAL

6.1 Contexto geológico

A bacia do rio Macaé encontra-se situada no contexto geológico da Serra do Mar que, de acordo com diversos autores (Almeida, 1967; Asmus & Ferrari, 1978; Heilbron et al., 1995; Saadi, 1990) apresenta sua evolução vinculada à última configuração tectônica associada à separação dos continentes sul-americano e africano.

De acordo com Almeida (1967), após um longo período de estabilidade tectônica no Paleozóico e início do Mesozóico, as rochas no período Jurássico sofreram uma tectônica extensional associada à reativação Wealdeniana. Essa tectônica prolongou-se pelo Terciário, gerando uma série de falhamentos normais, que produziram os maciços costeiros e as escarpas serranas, como as serras do Mar e da Mantiqueira (Asmus & Ferrari, 1978).

Para estes autores, esse tectonismo Cenozóico na região sudeste brasileira atingiu uma estreita faixa entre a borda leste da Bacia Sedimentar do Paraná e o Oceano Atlântico e resultou em falhamentos normais ao longo de linhas de fraqueza do Pré-Cambriano que, entre o Paleoceno e o Plioceno deram lugar ao basculamento gravitacional de blocos, expressos atualmente por escarpas de linha de falha: a Serra do Mar, a Serra da Mantiqueira e o Maciço Carioca; e, entre estas, por semigrábens: o vale do Rio Paraíba do Sul e a baixada fluminense. (Asmus & Ferrari, 1978)

Segundo Saadi (1993), a região da Serra do Mar trata-se “de um rift continental gerado a partir do Oligoceno, por reativação de falhas da zona de cisalhamento Paraíba do Sul em transcorrências, gerando uma série de meio-grábens isolados por falhas oblíquas às primeiras”.

De acordo com Almeida & Carneiro (1998), a Serra do Mar teve sua origem no Paleoceno e desenvolveu-se bem mais a leste do que sua atual posição geográfica. A mudança de posição de suas escarpas seria devida ao recuo erosivo diferencial condicionado pelas estruturas e unidades litológicas pré-cambrianas.

Na região da bacia do Rio Macaé, ocorrem rochas ígneas e metamórficas do Pré-Cambriano representadas pela Unidade São Fidélis, pelo Complexo Região dos Lagos, pela Suíte Desengano e pelo Granito Sana. Além destas, ocorrem sedimentos recentes referentes ao período Terciário, do Grupo Barreiras (não representado no mapa da Figura 6.1 devido à incompatibilidade da escala do mapa com as dimensões da unidade, muito pequenas), e sedimentos quaternários presentes nas amplas áreas de baixada do Rio Macaé (Silva & Cunha, 2001).

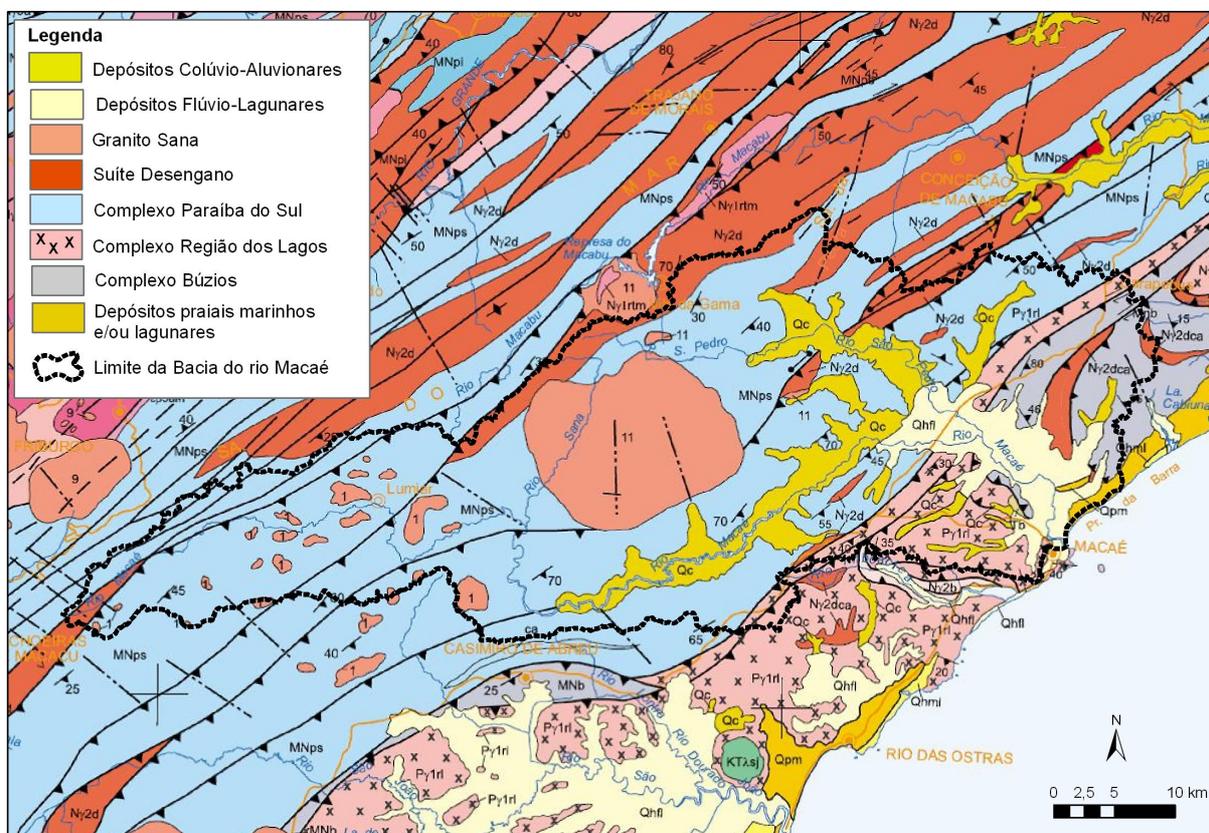


Figura 6.1: Mapa geológico da bacia do rio Macaé (Elaboração: Assumpção, 2009 / Fonte: Silva & Cunha, 2001)

O Complexo Paraíba do Sul corresponde à mais extensa unidade geológica presente na bacia, sendo constituída por uma seqüência metassedimentar, com a presença de rochas ígneas e metamórficas do Pré-Cambriano. Verifica-se sua presença nas áreas de alto, médio curso da bacia. O Complexo Búzios é formado por paragneisses identificados por três associações litológicas: metapelítica, calcissilicática e anfibolítica. A Suíte Desengano,

Localizada principalmente na porção noroeste da bacia do rio Sana e na Bacia do rio São Pedro pertence ao episódio orogênico Brasileiro III e é composta por lentes estreitas (1-4 km) e alongadas (até 100 km) inseridas nos paragneisses pelíticos e grauvaqueanos do Complexo Paraíba do Sul.

O Complexo Região dos Lagos constitui-se de gnaisses leucocráticos de coloração cinza-clara amarelada, granulação média, estrutura em geral bandada, textura granoblástica de composição petrográfica granítica, compondo uma estrutura migmática estromática com leucognaisses e leptinitos (Mello, 1996). Esta unidade é encontrada principalmente no baixo curso da bacia, ao sul do rio Macaé.

Grande parte do médio curso da bacia e algumas áreas no alto curso estão sobre a unidade Granito Sana, 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. Faz parte de um conjunto de granitóides no Estado do Rio de Janeiro, na maioria, representados por hornblenda biotita-granitos.

A bacia apresenta uma extensa área coberta por depósitos colúvio-aluvionares, coberturas quaternárias planas, constituídas por camadas de areia fina a média de coloração esbranquiçada.

A porção mais baixa da bacia do rio Macaé apresenta depósitos flúvio-lagunares, que correspondem a depósitos geneticamente relacionados a episódios distintos de progradação fluvial sobre um ambiente transicional/marinho raso, possivelmente em função de variações climáticas e/ou glácio-eustáticas. Os depósitos praias marinhos, morfologicamente, são praias quaternárias pleistocênicas, referentes aos depósitos mais internos e extensos, e praias atuais holocênicas, que correspondem aos depósitos externos e estreitos (Silva & Cunha, 2001) Encontram-se, na bacia, depósitos da Formação Barreiras. Tais depósitos são terciários e de origem continental, expressivos na faixa litorânea, estendendo-se desde o Amapá até o Rio de

Janeiro. Sua ocorrência na área de estudo limita-se a algumas paleo-falésias encontradas na periferia da cidade de Macaé.

6.2 Contexto Geomorfológico

De acordo com Dantas (2001) e Silva (2002), a geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro está compartimentada em duas unidades morfoestruturais: o Cinturão Orogênico do Atlântico e as Bacias Sedimentares Cenozóicas. Estas unidades destacam-se por relevos com grandes variações altimétricas, pelo paralelismo de serras e de vales, e por intrusões ígneas. A morfologia destas áreas guarda características geológicas da sua formação, apesar das longas fases erosivas a qual estiveram expostas. As bacias sedimentares, devido a influências geotectônicas e aos processos erosivos relacionados a fases climáticas mais secas ou mais úmidas, apresentam diversos níveis altimétricos em diferentes estados de desgaste.

De acordo com Silva (2002), que elaborou a compartimentação geomorfológica do Estado do Rio de Janeiro, a bacia do rio Macaé apresenta-se em grande parte constituída por serras escarpadas ou morfologias de transição. Porém, é possível perceber no mapa da Figura 6.2 que as planícies fluviais e flúvio-marinha são também muito extensas na área de estudo.

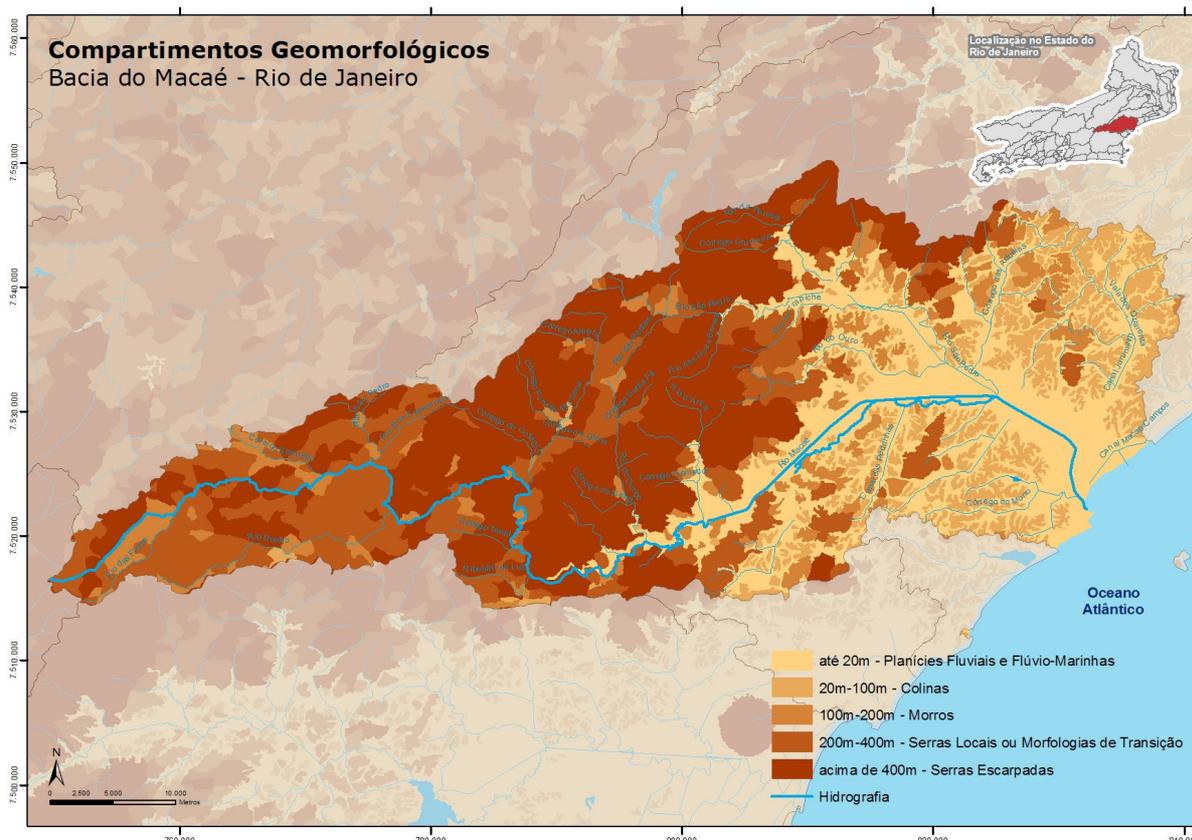


Figura 6.2: Mapa de Compartimentação Geomorfológica da bacia do rio Macaé (Fonte: Silva, 2002)

Esta planície flúvio-marinha, também verificada no mapeamento elaborado por Dantas (2001), compreende os fundos de vales dos rios Macaé e São Pedro, preenchidos por sedimentos de origem fluvial e flúvio-lagunar. Esses fundos de vales são cercados pelas colinas da superfície aplainada do litoral leste fluminense ou por colinas isoladas, além das vertentes situadas no sopé da escarpa da serra de Macaé, como mostra o mapa da Figura 6.3. Segundo Dantas (2001, p.55),

“essa baixada foi originada a partir do empilhamento de uma seqüência de cristas de cordões arenosos da planície costeira de Jurubatiba, de idade pleistocênica, e de cordões litorâneos situados entre o promontório de Rio das Ostras e a foz do rio Macaé, originados a partir do último máximo transgressivo. Essa sedimentação marinha isolou uma antiga laguna que ocupou o baixo vale do rio Macaé e formou, inclusive, a atual laguna de Imboacica. Posteriormente, essas lagoas foram

ressecadas e parcialmente recobertas por sedimentos aluviais até os dias atuais, caracterizando as planícies fluviolagunares.”

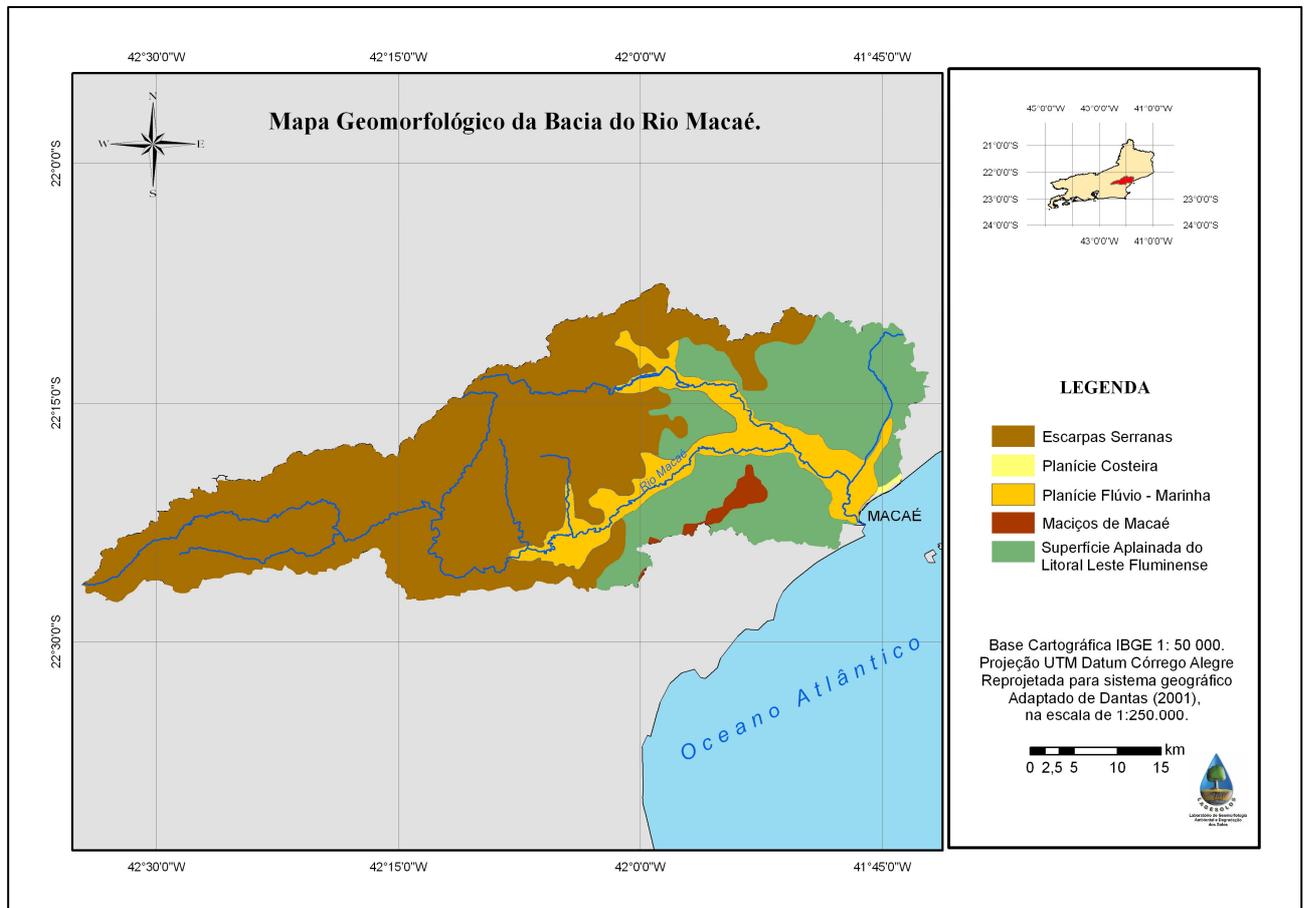


Figura 6.3: Mapa Geomorfológico da bacia do rio Macaé (Elaboração: Lagesolos / Fonte dos dados: Dantas, 2001)

A bacia do rio Macaé apresenta, portanto, uma geomorfologia bastante variada, abrangendo desde as serras escarpadas da vertente sul da Serra do Mar, com altitudes de até 1800 metros, entre as cidades de Nova Friburgo e Sana, às vastas planícies de inundação dos rios Macaé e São Pedro, formadas por sedimentos colúvio-aluvionares e também flúvio-lagunares, e intensamente ocupadas por agricultura e pastagem. Além disso, a bacia possui ainda grandes extensões de colinas que variam de 20 a 100 m de altitude, ocupadas principalmente pela atividade pecuária, e maciços costeiros (ou morros) de até 200 metros de altitude, que ainda apresentam remanescentes florestais primários de Mata Atlântica (Dantas, 2001; Silva, 2002; Marçal e Luz, 2003).

Destaca-se na área de estudo a grande extensão das planícies fluvio-lagunares e colúvio-aluvionares apresentadas nos mapas de geologia e geomorfologia. Observando-se estes mapas e o mapa da Figura 2.1, nota-se que a área onde ocorreram as retificações está sobre aquela mapeada como planície flúvio-marinha e que, portanto, apresenta alguns sedimentos de origem marinha e uma morfologia extremamente plana e ampla. Tal amplitude da planície do rio Macaé pode ser vista no modelo 3D da bacia apresentado na Figura 7.8.

6.3 Contexto climático

A posição do Estado do Rio de Janeiro lhe confere uma característica bastante marcante no quesito pluviosidade: as elevadas amplitudes entre os índices pluviométricos de diferentes regiões. O fato de estar em uma zona tropical e bordejado pelo Oceano Atlântico assegura ao estado boa frequência de chuvas ao longo do ano. No entanto, sua distribuição é muito influenciada pela orografia. O paralelismo da Serra do Mar e da Mantiqueira, que se opõe frontalmente à direção dos ventos ocasionados pelas perturbações das descontinuidades polares, exerce uma sensível influência sobre a ocorrência de chuvas, que aumenta na proporção direta da altitude (Davis & Naghettini, 2000).

As Serras do Mar e da Mantiqueira são bem mais pluviosas que o litoral e que o vale do Paraíba do Sul. Segundo Davis & Naghettini, (2000, p.7), “(...) nenhuma outra serra do território nacional exerce tanta influência no sentido do acréscimo de precipitações quanto elas.” Além disso, a ocorrência de chuvas é maior nas encostas meridionais (à barlavento) que nas encostas situadas à sotavento.

A Serra do Mar ainda recebe mais chuvas que a Serra da Mantiqueira, por ser a primeira a ser atingida pelos ventos úmidos. Enquanto que os níveis mais elevados da Mantiqueira recebem em média entre 2.000 a 2.500mm de chuva durante o ano, a Serra do Mar recebe de 2.000 a 4.500mm.

A bacia do rio Macaé está situada em uma posição que lhe confere amplitude muito elevada entre as diferentes áreas da bacia, como podemos ver na Figura 6.4. Apesar de ter suas nascentes situadas na vertente meridional da Serra do Mar, o que proporciona altos índices pluviométricos (média de 2600 mm anuais), sua foz está localizada em uma área que, segundo Davis & Naghettini (2000) apresenta as mais baixas alturas de precipitação. Esta área se estende da Lagoa de Araruama ao Espírito Santo e, à medida que se aproxima do norte do Estado, menores são os índices pluviométricos.

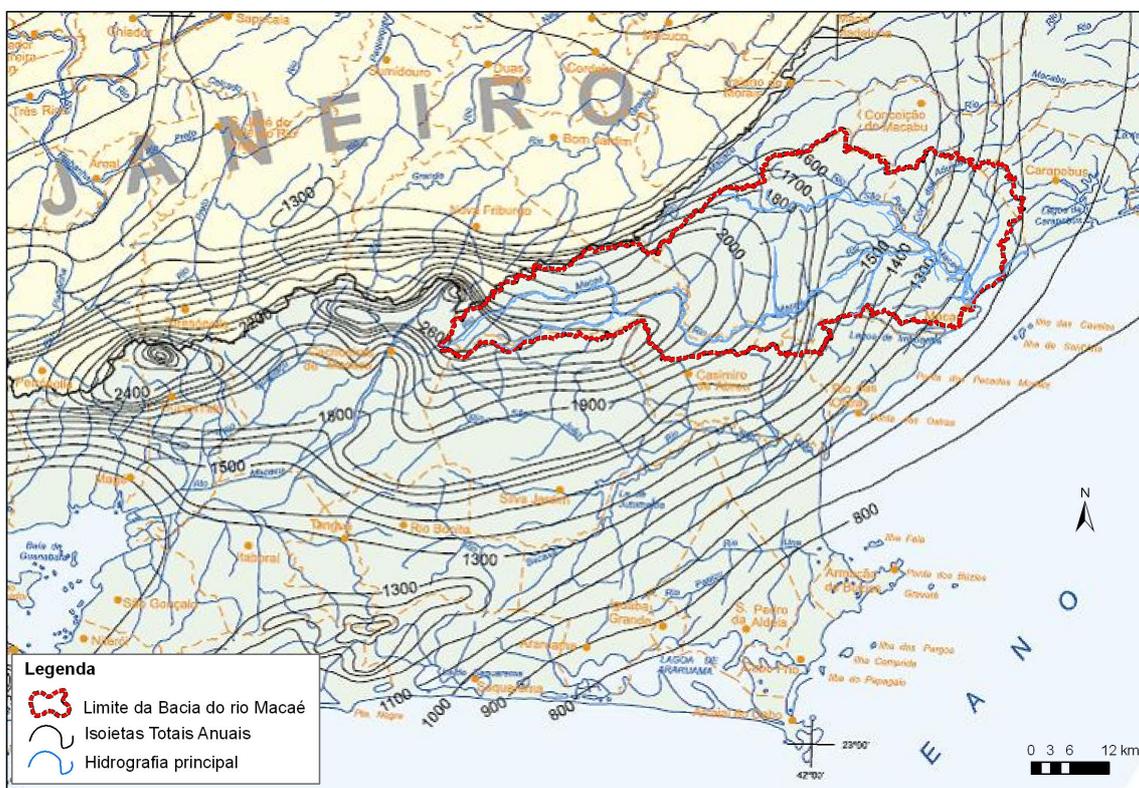


Figura 6.4: Mapa do total pluviométrico anual na região da bacia do rio Macaé. (Elaboração: Assumpção, 2009 / Adaptado de Davis & Naghettini, 2000)

6.4 Histórico de Ocupação

A área de estudo apresenta um histórico de ocupação muito antigo, remontando ao cultivo da cana-de-açúcar no período colonial e às fazendas de café do período imperial brasileiro, com o posterior avanço da pecuária sobre a região. Devido ao intenso uso e antiga

ocupação, grande parte da bacia do rio Macaé, principalmente seu baixo curso, apresenta problemas relacionados à potencialização dos processos de degradação ambiental (Marçal e Luz, 2003).

O desmatamento das planícies e das encostas vem suprimindo as matas ciliares e as florestas de terras baixas, intensificando a erosão das encostas e assoreamento dos canais fluviais. Do início do século XX até a década de 1970, houve um significativo avanço da pecuária bovina na região, principalmente ao sul do rio Macaé, levando ao pisoteio excessivo do solo e formação de terracetes nas encostas. A substituição da floresta por pastagens em áreas de colinas e nas áreas próximas aos maciços subserranos fez o solo perder seu potencial de regeneração, com o conseqüente empobrecimento em nutrientes, acarretando também processos de erosão acelerada (Costa, 1999; Marçal e Luz, 2003).

Esse estado de degradação do ambiente se agravou com a implantação da Petrobras, na década de 1970, na Bacia de Campos, o que acelerou o crescimento econômico da região, aumentando a demanda sobre os recursos hídricos da bacia do rio Macaé. Toda essa dinâmica sócio-econômica vem contribuindo para a modificação dos variados tipos de ambientes da bacia, tais como praias, restingas, estuário, manguezais, lagoas, colinas costeiras e serras que vêm sendo ocupadas por atividades agropecuárias, industriais e turísticas.

7. Análise da retificação dos canais fluviais

As obras de retificação no baixo curso da bacia do rio Macaé, realizadas pelo extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS), iniciaram-se na década de 1940, com o intuito de evitar a proliferação da malária e outras doenças transmitidas por mosquitos, para evitar a ocorrência de enchentes, além de permitir a manutenção da agricultura e da pecuária na região, por meio da “regularização” de canais de drenagem (Muehe & Valentini, 1998; Luz, 2003). No entanto, não foi possível levantar através de bibliografia quanto tempo levaram e que canais realmente haviam sido retificados na planície aluvial do rio Macaé. A Figura 7.1 apresenta a planta do plano de execução do DNOS na escala 1:50.000. Nota-se que além dos canais do rio Macaé, São Pedro e Jurumirim, diversos outros pequenos canais tiveram a retificação planejada e quase todos tiveram-na executada pelo órgão, já extinto. No entanto, na presente pesquisa, serão apresentados dados referentes aos rios principais da bacia, sendo estes o rio Macaé e o rio São Pedro (principal afluente), além do rio D’Antas, afluente também modificado, cuja desembocadura se encontra pouco acima do trecho retificado do rio Macaé.

Após a junção das fotografias aéreas de 1968, do DRM, das ortofotos produzidas pela AMPLA em 2000 e do mapeamento sistemático do IBGE (cujas cartas de interesse foram elaboradas por volta de 1970), puderam ser constatadas algumas observações importantes. Observou-se que o canal do rio Macaé teve a maior parte das obras de retificação realizada após o ano de 1968, uma vez que, a partir da interpretação das fotografias aéreas (Figura 7.2) vê-se que apenas um pequeno trecho do canal havia sido retificado, já àquela época. No entanto, grande parte dos canais que compõem o baixo curso da bacia já havia sofrido modificações até aquela data.

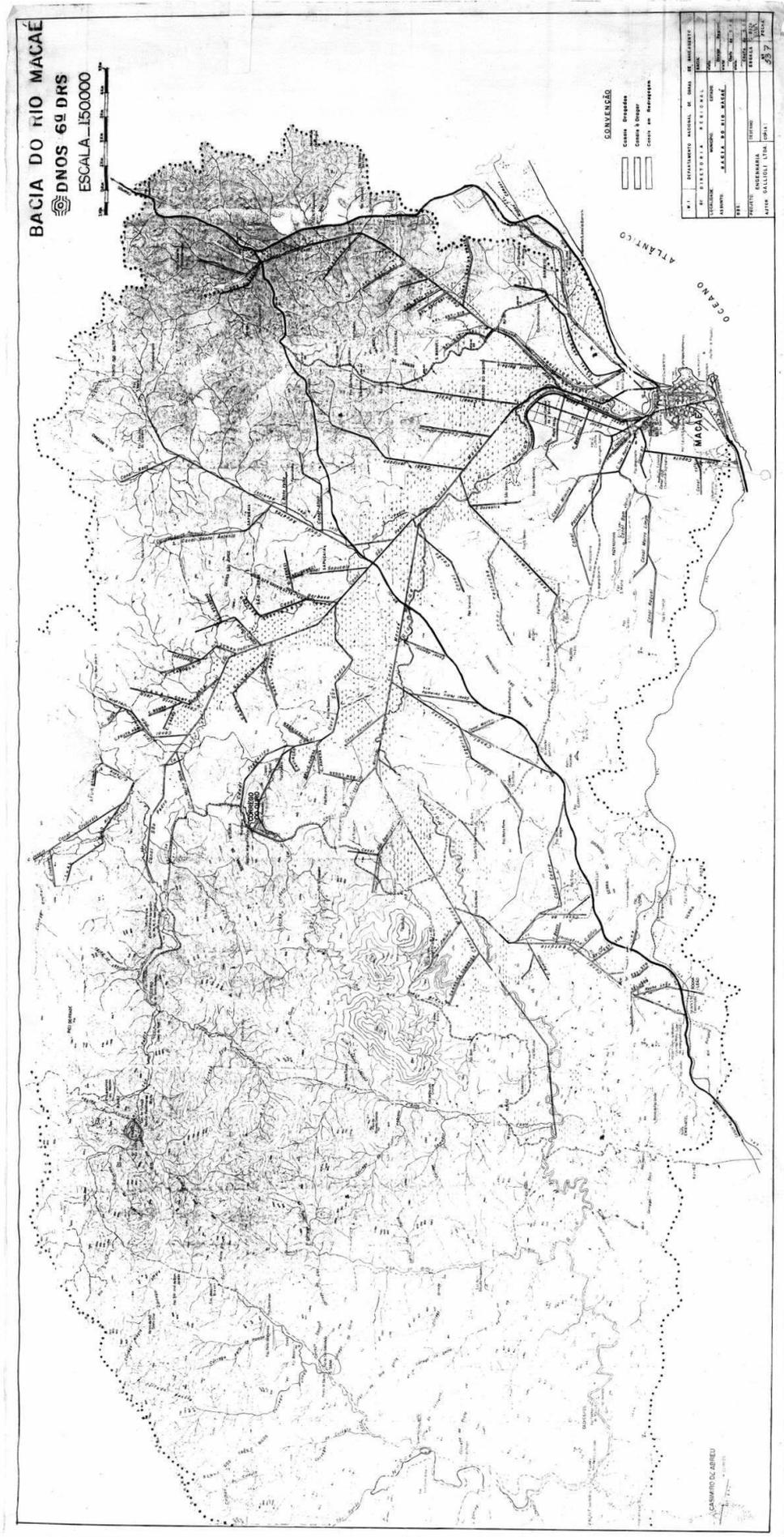


Figura 7.1: Planta do Plano de execução das obras de retificação de canais pelo DNOS na bacia do rio Macaé (Fonte: Secretaria de Obras e Urbanismo do município de Macaé).

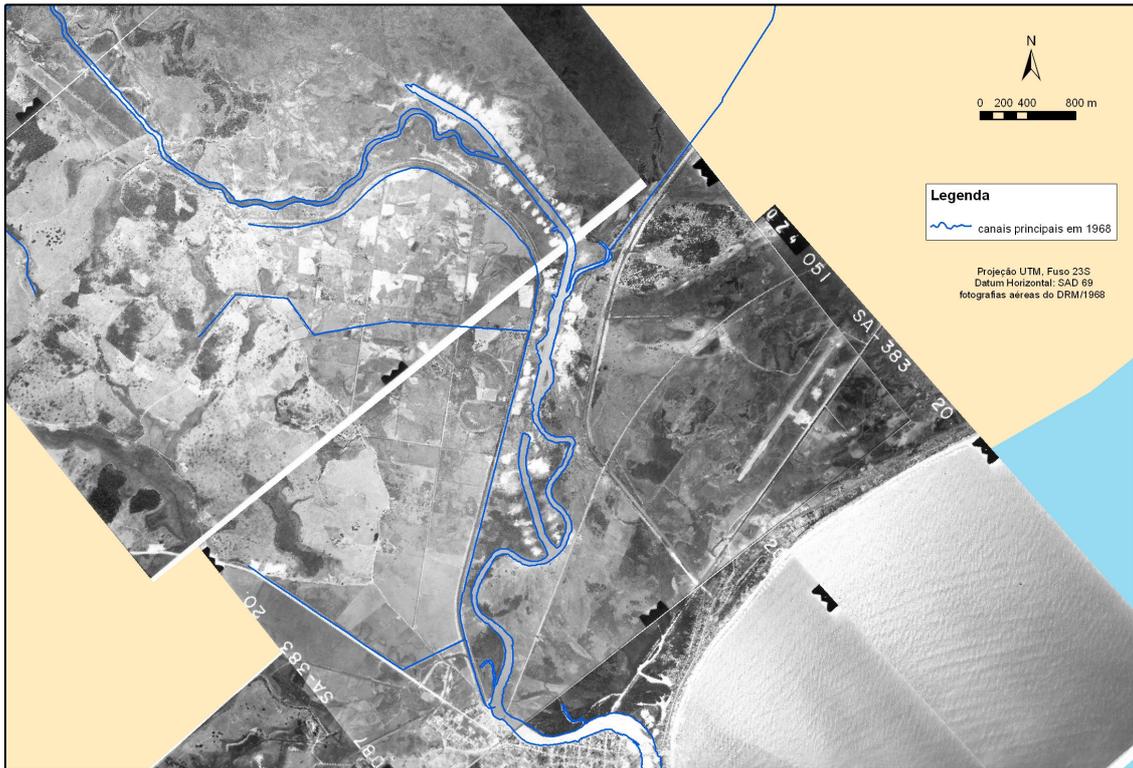


Figura 7.2: Trechos retificados do canal do rio Macaé, antes de 1968. (Assumpção, 2009)

Quanto ao rio São Pedro, nota-se que, assim como no canal principal, parte das obras de retificação já havia sido realizada em 1968 (Figura 7.3), mas ainda não havia sido completada.

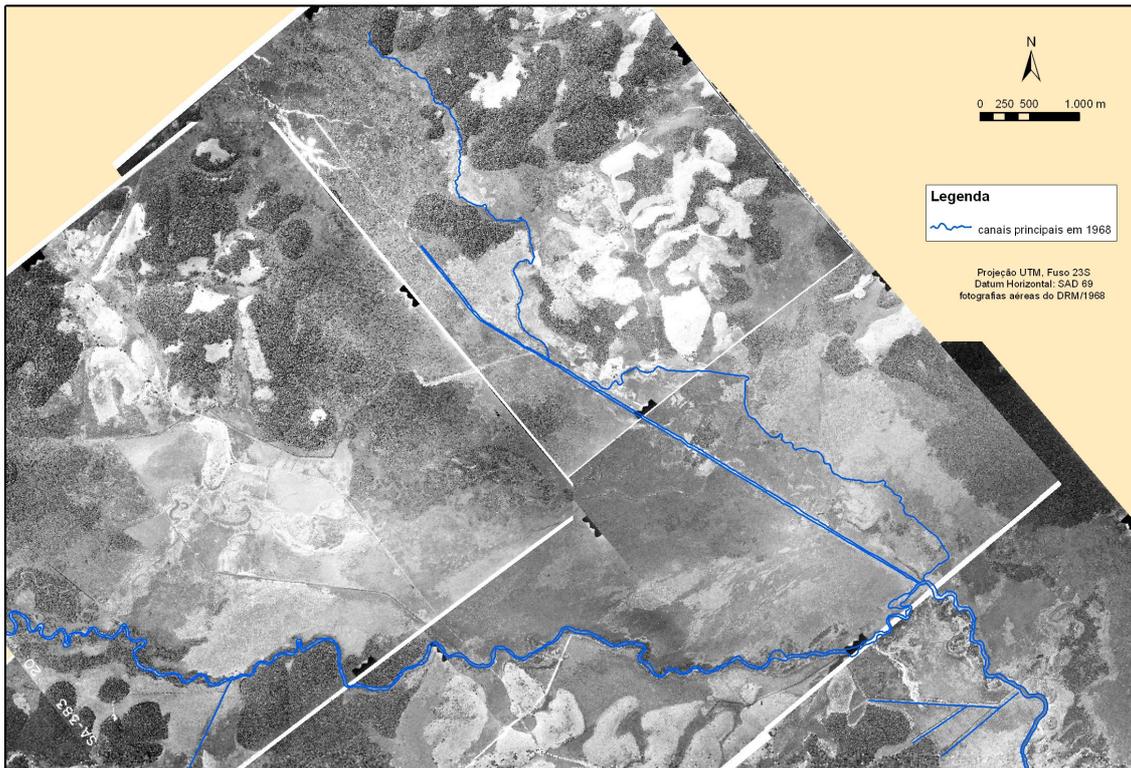


Figura 7.3: Trechos retificados do rio São Pedro, antes de 1968 (Assumpção, 2009).

Em relação ao rio D'Antas, observou-se que algumas obras foram iniciadas por volta do ano de 1968, que podem ser constatadas na fotografia aérea da época (Figura 7.4). Mais recentemente, próximo ao ano de 2000, foi realizada a maior obra neste canal, que pode ser observada nas Figuras 7.5 e 7.6.

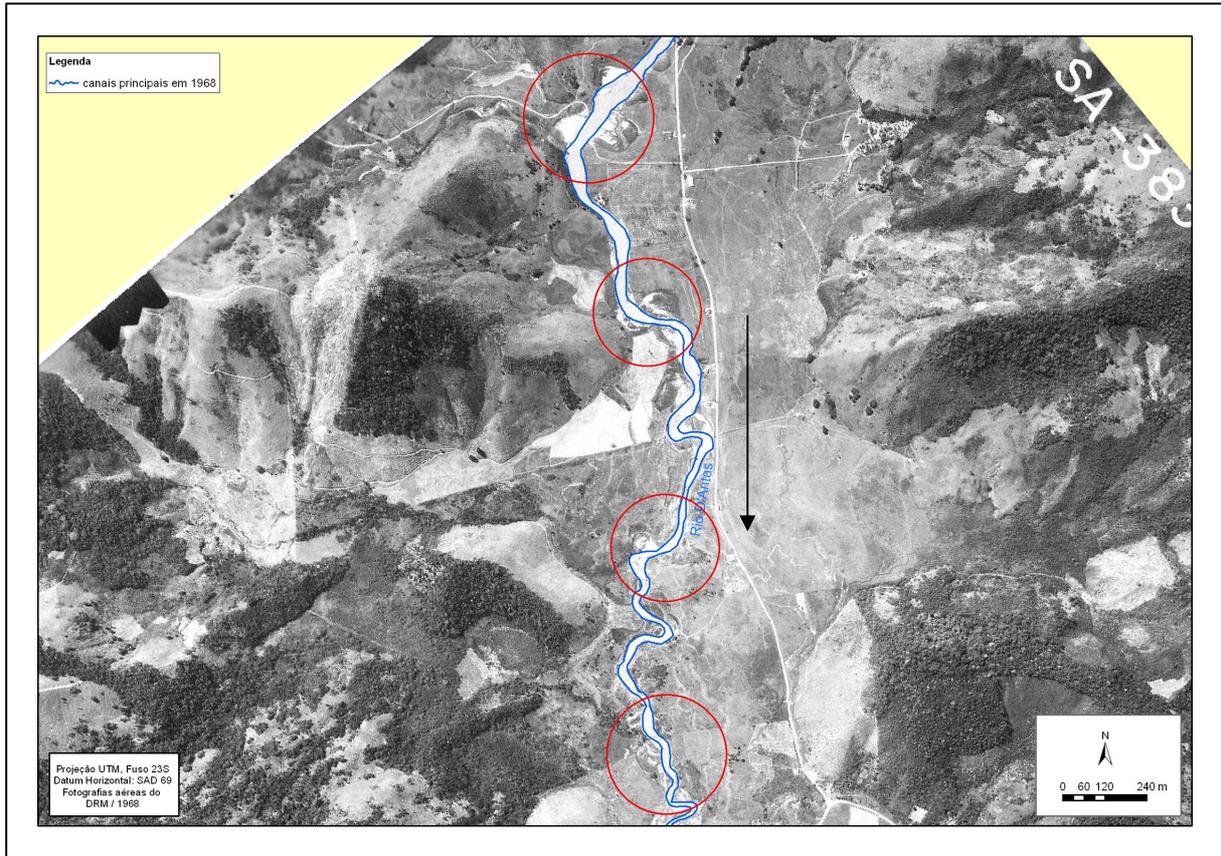


Figura. 7.4: Cortes artificiais de meandros no rio D'Antas - Fotografia aérea de 1968 (Assumpção, 2009).

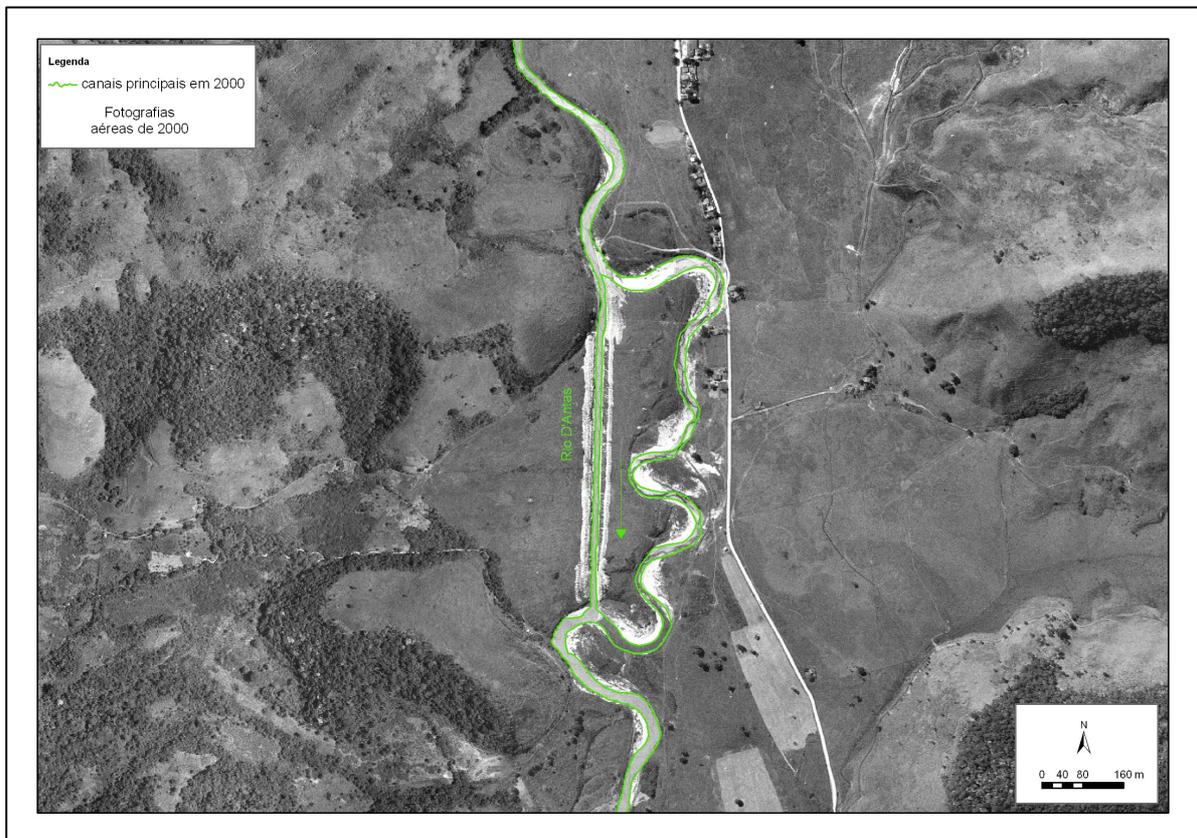


Figura.7.5: Retificação de trecho do rio D'Antas – Fotografia aérea de 2000 (Assumpção, 2009)



Figura. 7.6: Trecho retificado do rio D'Antas em 2007 (Fonte: GoogleEarth)

Ressalta-se que apenas os rios Macaé, São Pedro e D'Antas não haviam sido completamente modificados na época de elaboração da carta topográfica do IBGE que cobre a área (1969). A rede de drenagem do ano de 2000 é igual à rede já apresentada no ano de 1969, exceto por esses três canais (Figura 7.8). Até 1968, haviam sido retificados o canal Jurumirim, que possui 10,6 km de extensão totalmente retificado; o canal das Pedrinhas, que de 11,7 km teve 4,3 km retificados; além de pequenos canais afluentes do rio Macaé próximos ao canal principal. Atualmente, grande parte desses pequenos canais está assoreada e, por isso não foram mapeados, ou foram parcialmente, apesar de serem identificados através das fotografias aéreas de 2000. É o caso do Canal Jurumirim, que possui grande parte do seu curso assoreado (Figura 7.7).

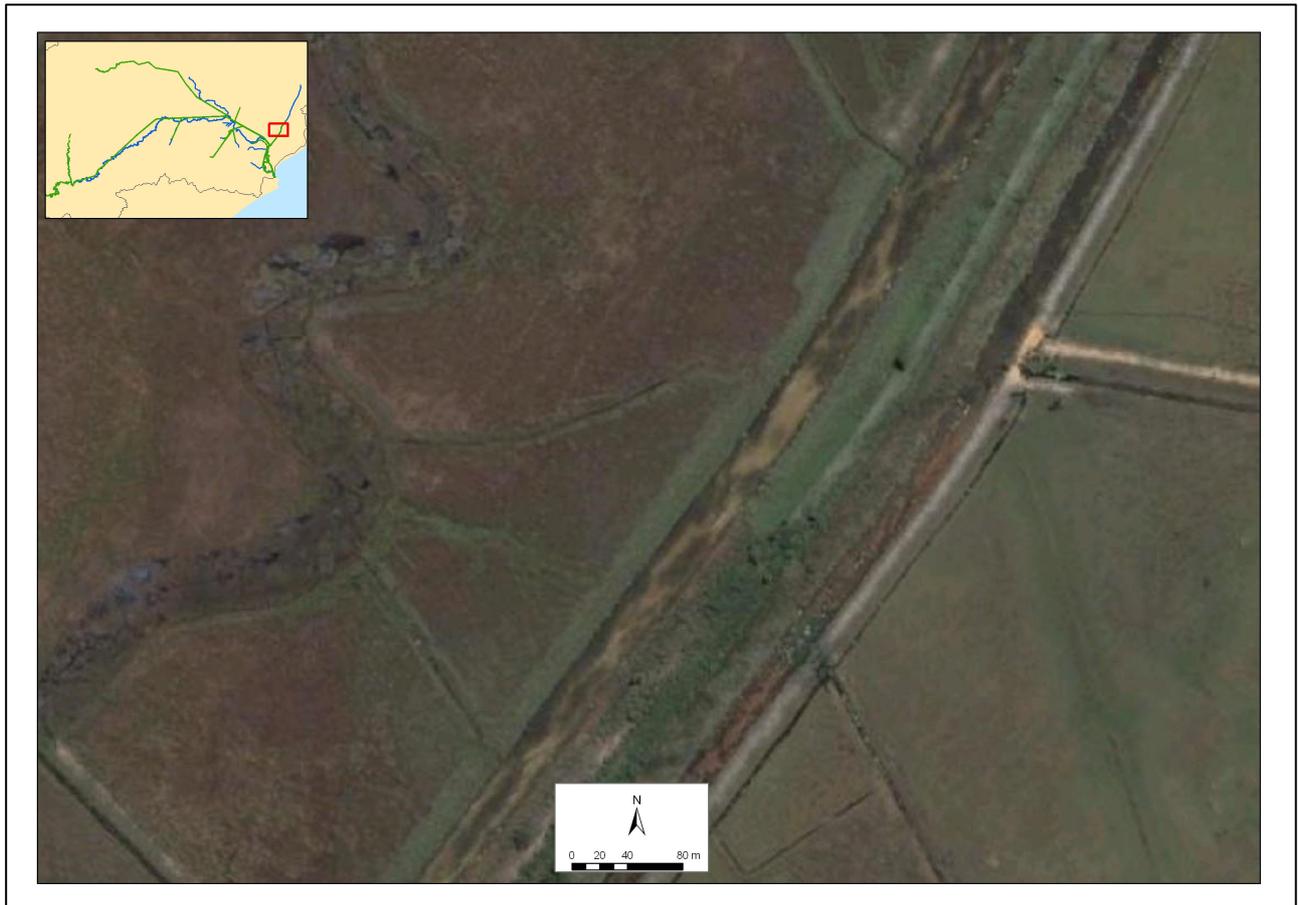


Figura.7.7: Assoreamento do canal Jurumirim (Fonte: GoogleEarth).

Por outro lado, se compararmos a rede de drenagem do ano de 1968 com a rede de drenagem de 1969, percebe-se que foi exatamente neste período que se iniciaram as obras de retificação dos rios São Pedro e Macaé, uma vez que em 1968 já se notavam alguns trechos retificados e em 1969 observavam-se trechos retificados que não se encontram nas fotografias aéreas de 1968 (Figura 7.8).

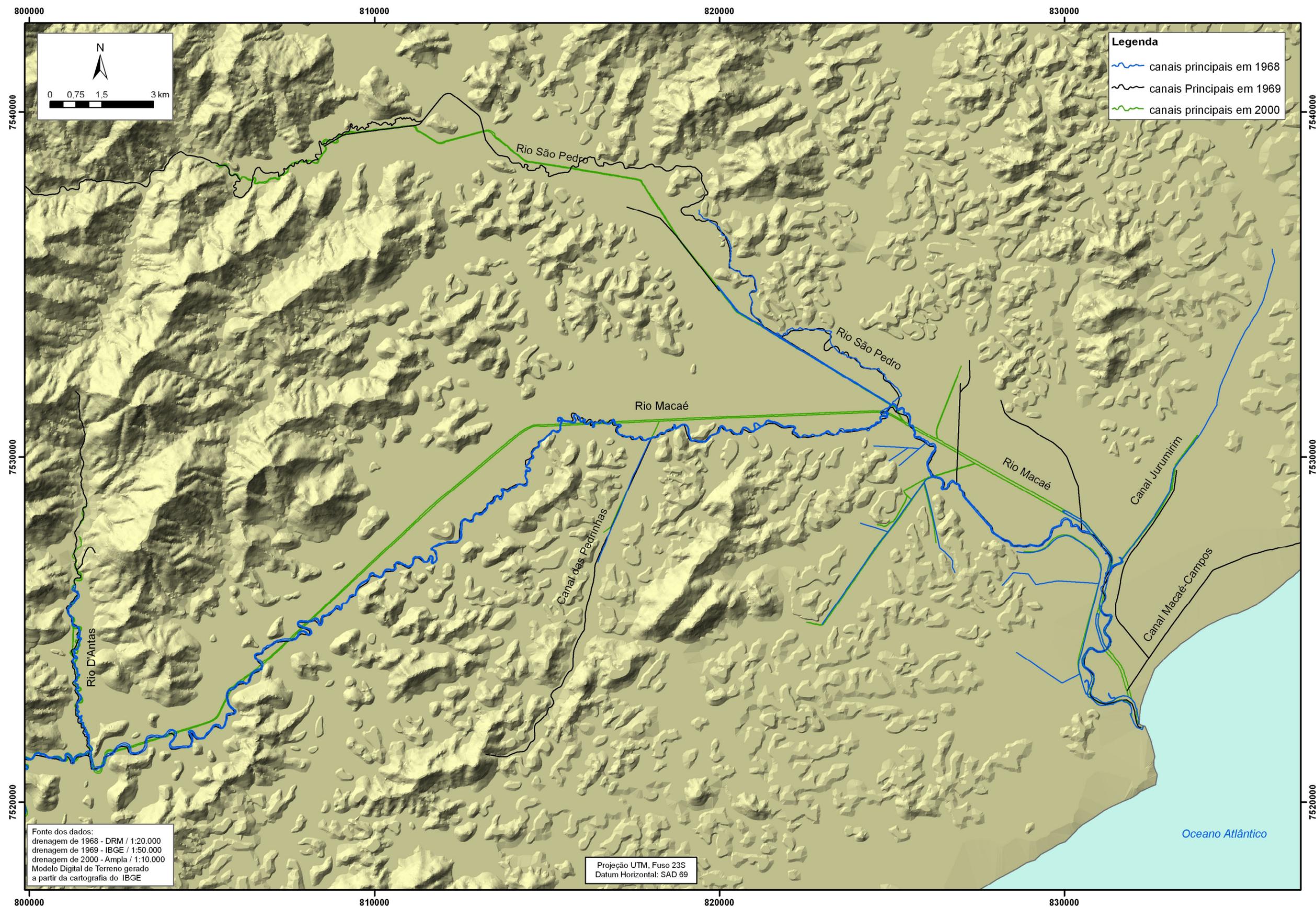


Figura 7.8 Mapa das alterações na forma em planta dos canais principais no baixo curso da bacia do rio Macaé (Elaboração do autor)

7.1 Análise espacial e temporal da forma em planta dos canais fluviais

7.1.1 Morfometria dos canais antes e após a retificação

A partir do mapeamento das alterações da forma em planta dos canais retificados (Figura 7.8), foi possível observar algumas modificações importantes. Primeiramente, percebeu-se o quanto os rios Macaé e São Pedro perderam, com a retificação, no número de meandros que já ocuparam diversas posições na planície aluvial dos dois canais. Foram comparados os comprimentos dos canais antes e após a retificação para apresentar em números estas modificações (Tabela 7.1). Utilizou-se como parâmetro o comprimento do canal apenas no trecho retificado. Ou seja, como em 1968 o canal não estava retificado, mediu-se apenas o comprimento do canal a partir do ponto em que ele passaria a ser retilíneo após as obras. O índice de sinuosidade foi calculado utilizando-se o método elaborado por Dury (1966; apud Christofolletti, 1990), sendo resultado da razão entre o comprimento do canal no seu talvegue e o comprimento do eixo central do vale. Segundo este autor, um canal pode ser considerado meândrico quando o índice é igual ou superior a 1,5.

Tabela 7.1: Morfometria dos canais retificados

| Parâmetros \ ano | Rio Macaé | | Rio São Pedro | | Rio D'Antas | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| | 1968 | 2000 | 1968 | 2000 | 1968 | 2000 |
| comprimento do canal no trecho retificado (m) | 61.433 | 39.171 | 28.582 | 19.372 | 6.881 | 5.991 |
| eixo central do vale (m) | 38.767 | 38.767 | 19.024 | 19.024 | 4.878 | 4.878 |
| índice de sinuosidade | 1,585 | 1,010 | 1,502 | 1,018 | 1,411 | 1,228 |
| área do espelho d'água no trecho retificado (m ²) | 2.285.524 | 2.219.480 | ----- | ----- | 150.334 | 99.872 |
| largura média do canal (m) | 37 | 57 | ----- | ----- | 22 | 17 |

O rio Macaé possuía antes das obras do DNOS, em 1968, um comprimento de 61.433 metros no trecho que seria retificado, e após as obras, este comprimento passou a ser de 39.171 metros, o que demonstra uma redução de mais de 20 km do canal e, portanto, houve

um aumento significativo do gradiente do canal para compensar a redução no meandramento. Este aumento do gradiente pode ser observado na Figura 7.9, que compara o perfil longitudinal do rio antes e após as obras de retificação do canal.

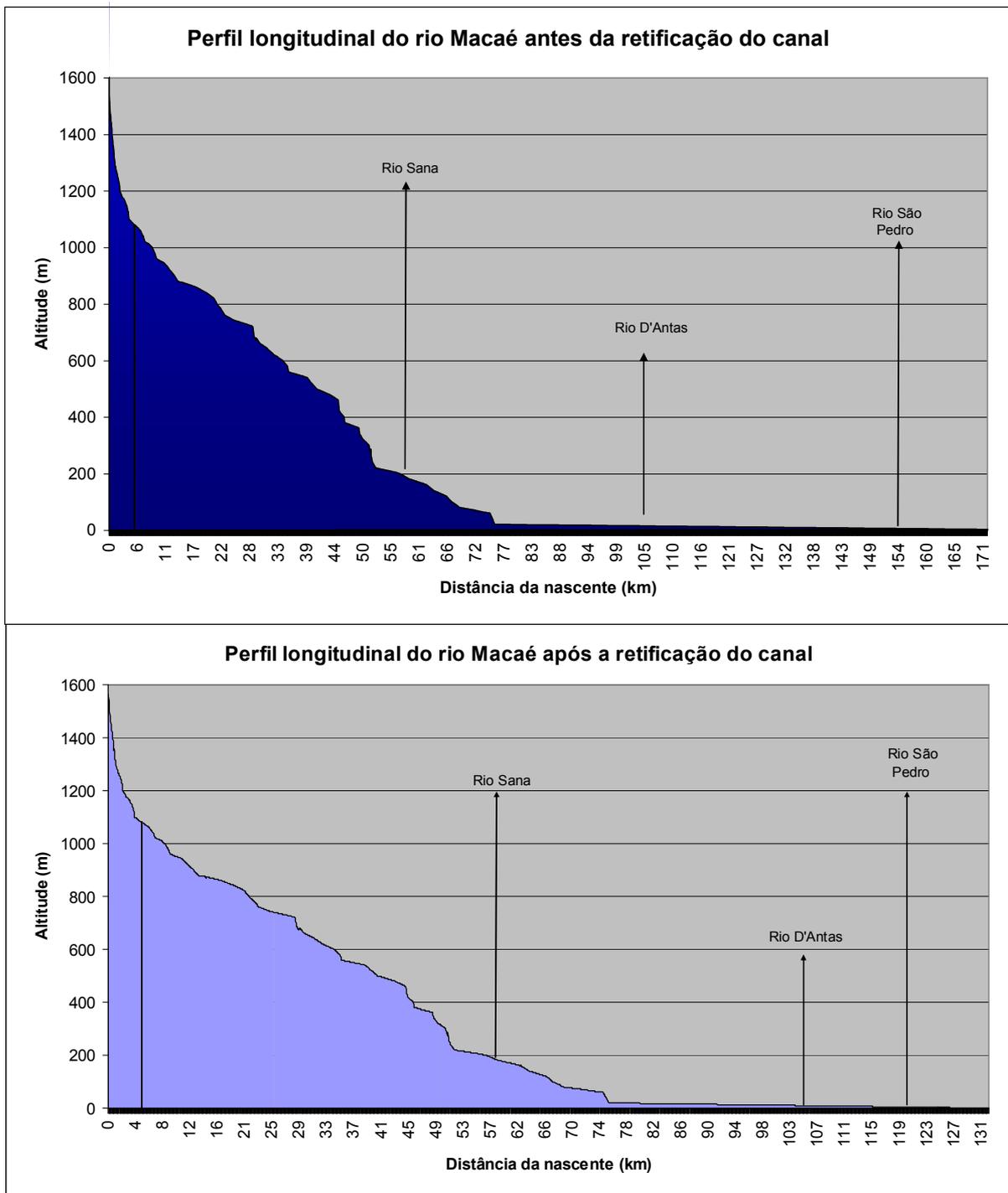


Figura 7.9: Perfis Longitudinais do rio Macaé, antes e após a retificação dos canais (Utilizou-se como base as cartas topográficas do IBGE).

Observa-se, nos gráficos (Figura 7.9), que a distância entre a desembocadura do rio D'Antas e a foz do rio Macaé diminuiu, porém a altitude deste ponto continua a mesma. O aumento do gradiente pode levar a inúmeras alterações, uma vez que segundo Schumm & Khan (1972, *apud* Summerfield, 1991) quanto maior o gradiente, maior a tendência do canal a meandramentos do talvegue, o que provoca mudanças nas áreas de erosão e deposição de sedimentos no canal.

O índice de sinuosidade passou de 1,585 a 1,01, o que reflete a passagem do padrão meândrico para o padrão retilíneo, dificilmente encontrado na natureza. Quando encontrado naturalmente, o comprimento de trechos retilíneos de canais atinge no máximo dez vezes a extensão da largura. Isso raramente ocorre e, geralmente, os trechos retilíneos são poucas vezes superiores à largura. (Christofoletti, 1990). A Figura 7.10 mostra um trecho retilíneo do rio Macaé modificado pelas obras, no seu baixo curso.



Figura.7.10: Trecho retificado do rio Macaé (Foto: LAGESOLOS/2007)

Na Figura 7.11 pode-se notar o meandramento do talvegue do rio Macaé, mesmo após a retificação. Tal característica do canal reflete a granulometria do sedimento transportado e de fundo, além do gradiente do canal e mostra como o canal tende a se ajustar novamente às condições sedimentológicas e geomorfológicas ali estabelecidas. O canal do rio Macaé possuía, como observado através da Tabela 7.1, um padrão meandrante. Este padrão se estabeleceu de acordo com a granulometria do sedimento que chega ao canal e à planície, com a geologia da área, com o gradiente do leito, com o padrão de fluxo, velocidade de vazão etc; (Schumm 1977.; Christofolletti,1990; Summerfield, 1991). Quando a forma do canal foi modificada artificialmente, para torná-la retilínea, os outros fatores que nela se refletem, como granulometria e carga sedimentar, não foram ajustados para a nova forma. E, portanto, há a tendência de que a forma do canal não permaneça retilínea por muito tempo, se considerarmos a escala de tempo geomorfológica.

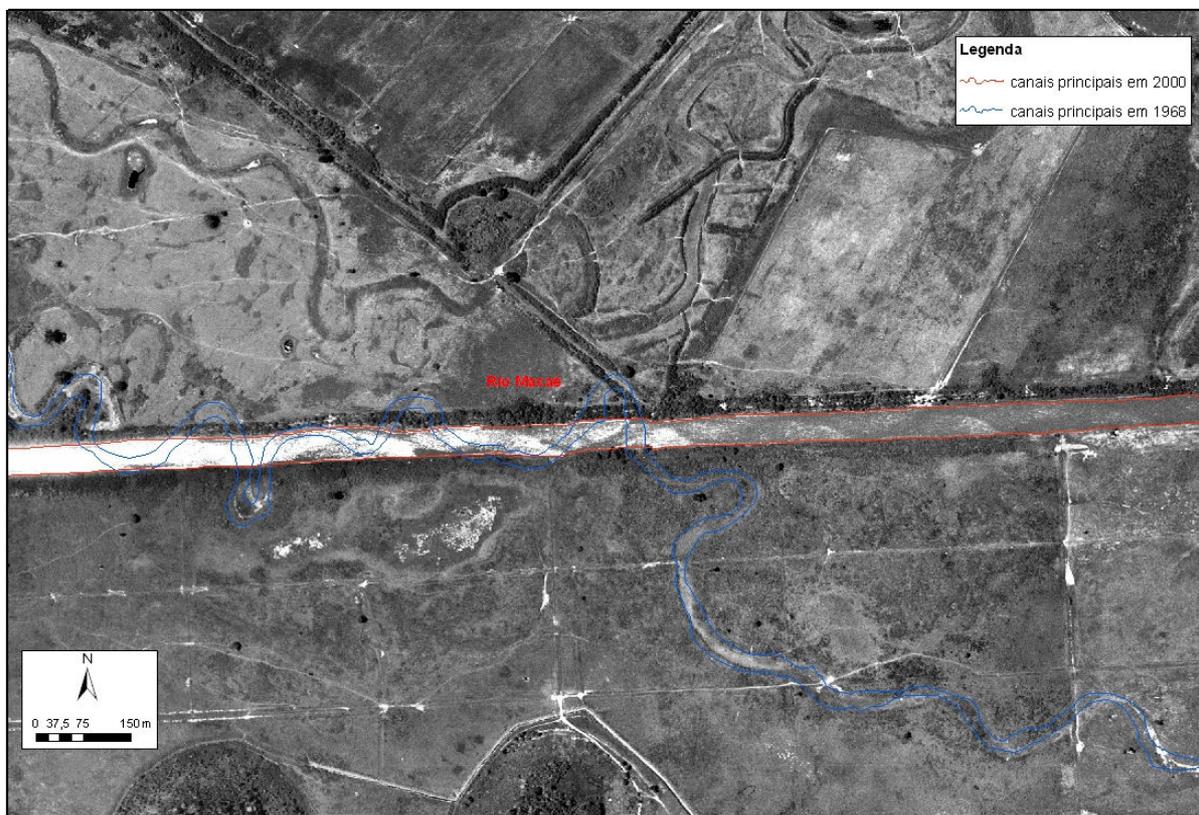


Figura.7.11: Meandramento do talvegue do rio Macaé no trecho retificado (Ortofoto da Ampla de 2000)

O meandramento é uma característica inerente ao fluxo de fluidos e, de acordo com Summerfield (1991), deveríamos nos perguntar por que nem todos os canais são meândricos. Segundo este autor, alguns experimentos demonstram que ao se inserir certo volume de água a uma determinada velocidade em um canal são gerados meandros naturalmente. No entanto, se o gradiente deste canal é reduzido abaixo de um ângulo mínimo crítico, um fluxo retilíneo se forma e estabiliza-se, mesmo que se introduza mais água pelas laterais do canal, como mostra a Figura 7.12.

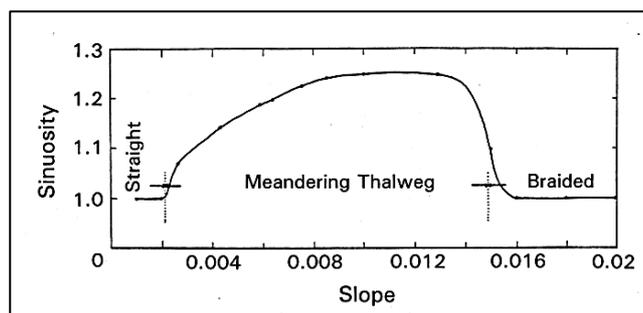


Figura 7.12: Relação entre sinuosidade e gradiente da calha (Schumm & Khan, 1972, apud Summerfield, 1991)

A explicação para este comportamento é que, ainda que se estabeleça um fluxo helicoidal em gradientes muito abaixo das condições de energia de baixo fluxo, ele não é suficientemente competente para erodir as margens e formar barras. De acordo com Leopold & Wolman (1960), o mesmo mecanismo que atua em canais meandantes, e formam as chamadas *point bars*, atua em canais retilíneos devido à característica helicoidal dos fluxos d'água, erodindo as margens onde a velocidade é maior e depositando na margem oposta. É a partir deste mecanismo que os meandros são formados.

A Tabela 7.1 mostra ainda que o rio São Pedro sofreu uma redução de aproximadamente 9 km no comprimento do canal, já que possuía 28.582 metros de comprimento no trecho do rio que viria a ser retificado e passou a ter 19.372 metros após a retificação. Tal mudança acarretou uma diminuição no índice de sinuosidade, que passou de 1,502 (meandrante) para 1,01, muito próximo ao retilíneo. Além disso, o aumento de gradiente que ocorreu para o rio Macaé também ocorreu para o rio São Pedro, devido ao

encurtamento do canal. O rio D'Antas, de acordo com a Tabela 7.1, sofreu uma redução de 890 metros no comprimento do canal, além de perder a sinuosidade cujo índice passou de 1,41 para 1,23.

A Tabela... apresenta também a largura média dos canais dos rio Macaé e D'Antas. Ela foi calculada a partir da razão entre a área do espelho d'água e o comprimento do canal no trecho retificado. Nota-se que a largura média do rio Macaé aumentou de 37 metros no ano de 1968, para 57 metros no ano 2000, resultado já esperado, pois na maioria das obras de retificação, o alargamento da calha também é realizado (Brookes, 1988; Cunha, 1995). O rio D'Antas, em vez de ter o canal alargado, teve, nas obras realizadas, redução na largura média do canal, que passou de 22 metros para 17 metros. A área do espelho d'água, obtida por meio da fotointerpretação em Sistemas Geográficos de Informação, é uma variável dependente do volume de chuvas na época do ano em que foi realizado o vôo para obtenção das fotografias aéreas. Portanto, seria esperado que a largura maior do rio Macaé no ano de 2000 fosse devida ao regime de chuvas da estação do ano em que as fotografias foram realizadas. No entanto, se compararmos a largura do trecho que já estava retificado em 1968 com a largura do mesmo trecho do canal em 2000, percebe-se que a diferença é pequena e não justificaria um aumento de 20 metros na média em todo o canal (Figura 7.13).

O aumento da largura média do rio São Pedro não foi possível calcular, pois as obras de retificação já haviam-se iniciado e grande parte do canal já estava retificado. Através da interpretação das fotografias aéreas de 1968, foi possível apenas mapear o leito antigo do canal como margem simples, não como margem dupla, o que inviabilizou o cálculo da largura antes da retificação.

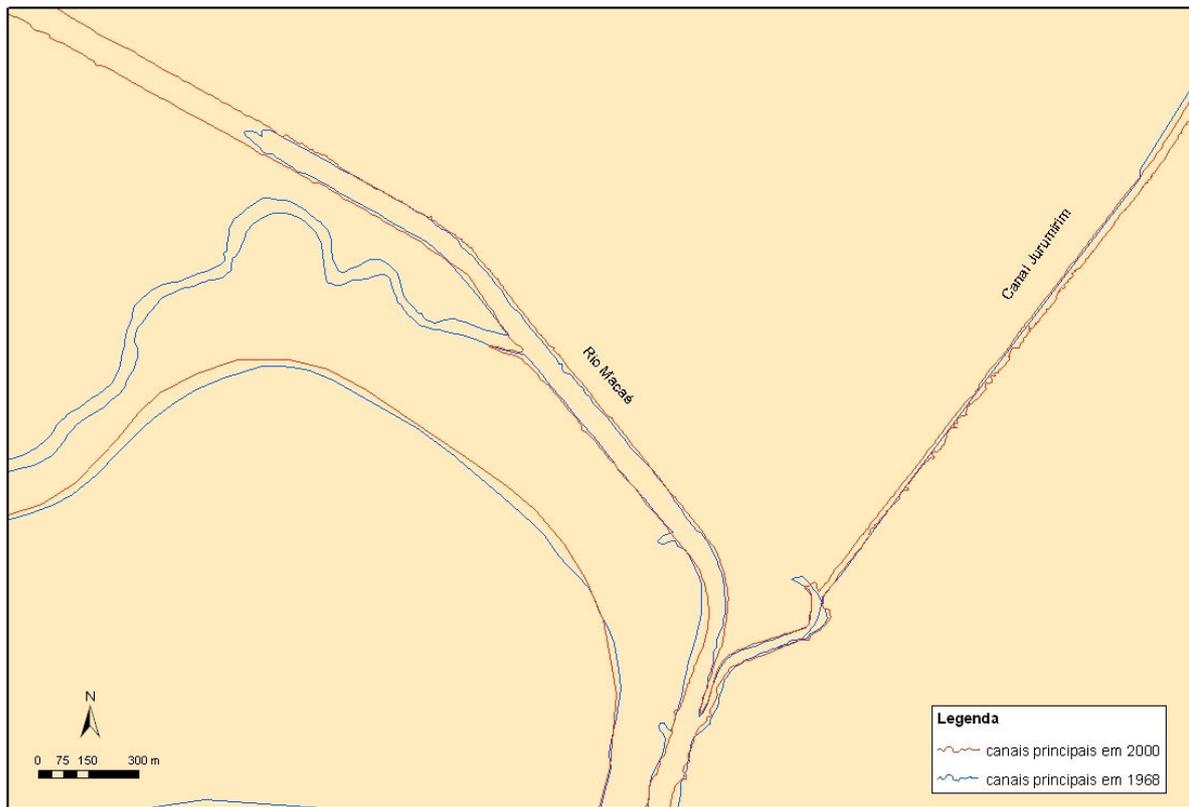


Figura.7.13: Trecho retificado do rio Macaé em 1968 e 2000. Nota-se que não há alargamento significativo do canal onde já estava retificado.

O alargamento da calha fluvial desencadeia inúmeros efeitos sobre a hidrodinâmica do rio. Conforme Friedenreich e Pinheiro (2002), o alargamento da calha constitui-se em uma obra de engenharia com resultados bastante contraditórios. À montante da obra, o aumento da velocidade do escoamento provoca, simultaneamente, a redução do nível de cheias e o aumento da ação erosiva sobre a margem fluvial. À jusante da obra, conseqüentemente, aumenta a tendência de cheias, que também eleva as possibilidades da ocorrência de erosão das margens, através do processo de escorregamento.

Além disso, aumentam as variações no nível da água, o que torna o solo saturado mais frequentemente, durante as cheias, proporcionando suscetibilidade à queda; e quando o nível da água diminui, o solo mais seco e menos resistente ao atrito fica mais suscetível à erosão. Tal amplitude na variação do nível das águas também é responsável pela deposição de

sedimentos e assoreamento em determinados locais em períodos mais secos, como pode ser visto na Figura 7.14 e por meio das seções transversais apresentadas no capítulo 7.2.



Figura.7.14: Variação do nível d'água entre outubro de 2007 (foto da esquerda) e março de 2008 (foto da direita) – Fonte: Acervo Lagesolos

A partir do mapa das alterações da forma em planta dos canais (Figura 7.8) constatou-se, também, que os rios foram deslocados no processo de retificação para o centro de suas planícies, o que para o rio Macaé, principalmente, representa uma modificação muito grande. Desde a confluência com o rio D'Antas, à montante da retificação, até a desembocadura do canal Jurumirim, próximo à foz, o rio Macaé tinha (em 1968) seu canal posicionado à direita do vale no sentido nascente-foz, caracterizando uma assimetria natural acentuada. Tal assimetria é característica marcante da bacia como um todo e segundo Assumpção & Marçal (2006) atinge um índice de 0,87 (em uma escala que varia de 0 a 1, sendo o valor 1 correspondente ao mais assimétrico) utilizando-se a metodologia elaborada por Cox (R.T., 1994). Esta assimetria pode ser decorrente de movimentação tectônica terciária e já foi objeto de estudo de outros trabalhos no Sudeste brasileiro (Hasui, 1990; Mendes 2004; Assumpção e Marçal, 2006). É importante ressaltar que o canal principal foi deslocado em até 1,5 km da sua posição original no vale, o que pode ter provocado alterações na granulometria do sedimento do leito e, portanto do sedimento transportado desde a realização das obras de retificação. Tal deslocamento trouxe como efeito a remobilização de sedimentos antigos

presentes na nova posição do canal na planície aluvial. Ademais, é possível que haja uma tendência do canal a migrar de volta para sua posição original (Brookes, 1988; Canter 1985)

De acordo com Christofolletti (1990, p. 88), a interpretação de que os meandramentos estão ligados às planícies fluviais e deltaicas de grandes rios que atingem a maturidade do ciclo davisiano está errada,

“...pois rios de todos os tamanhos e em todas as altitudes podem formar meandros, desde que uma condição básica seja encontrada: a presença de camadas sedimentares de granulação móvel, mas que estejam coerentes, firmes, e não soltas”...“Desde que se estabeleça, o meandramento praticamente não será alterado, a menos que um distúrbio muito intenso venha atuar sobre a região” (Christofolletti, 1990, p.89).

Os meandramentos são o meio pelo qual os rios efetuam seu trabalho com o menor e melhor distribuído gasto de energia (Leopold & Wolman, 1960; Christofolletti, 1990). Nesse sentido, o meandramento dos canais está mais diretamente associado à granulometria dos sedimentos do que ao gradiente do substrato e, portanto, quando o canal é desviado do seu leito natural nas obras de retificação, a composição do leito também muda, e um novo período de ajuste da forma do canal à granulometria é necessário. Segundo Schumm (1969 apud Wizga, 2001), mudanças no fornecimento de sedimentos são diretamente refletidas na tendência de erosão ou agração do leito de um canal, enquanto que mudanças no tamanho dos grãos carregados resultam na alteração da proporção entre sedimentos em suspensão e sedimentos de fundo, o que afeta diretamente a forma em planta e da seção transversal do canal. É o que vem ocorrendo com o rio Macaé, que apresenta erosão das margens, formação de depósitos em ilhas, barras e outras feições geomorfológicas menores.

7.1.2 Mapeamento das feições fluviais antes e após a retificação dos canais

O mapeamento das feições fluviais tem como objetivo verificar as mudanças ocorridas nos canais que foram retificados para a melhor compreensão das influências da retificação sobre a dinâmica dos processos de erosão e deposição nos canais. Foram mapeados os seguintes tipos de feições: ilhas fluviais, barras, *point bars* ou praias fluviais, além de paleocanais e meandros abandonados.

O mapeamento não se restringiu à área retificada e foi realizado também sobre trechos do rio Macaé à montante da área retificada, uma vez que é importante observar as implicações da retificação do canal não só sobre o próprio ambiente retificado, como também sobre os trechos à montante que sofrem influência das obras, já que se trata de um sistema, no qual a interação entre os elementos é inerente.

O rio Macaé

A partir do mapeamento das feições fluviais, no trecho do canal retificado, percebeu-se a pouca ocorrência de barras, ilhas ou praias fluviais no período atual (Figura 7.15). Isto ocorre pois, no processo de retificação dos canais, é realizada a retirada de qualquer obstáculo que se encontre no leito do rio. No caso do rio Macaé, houve a construção de um novo canal, afastado do leito original, a partir da escavação da planície. Portanto, após a finalização da obra de retificação, não havia qualquer obstáculo no novo leito do rio.

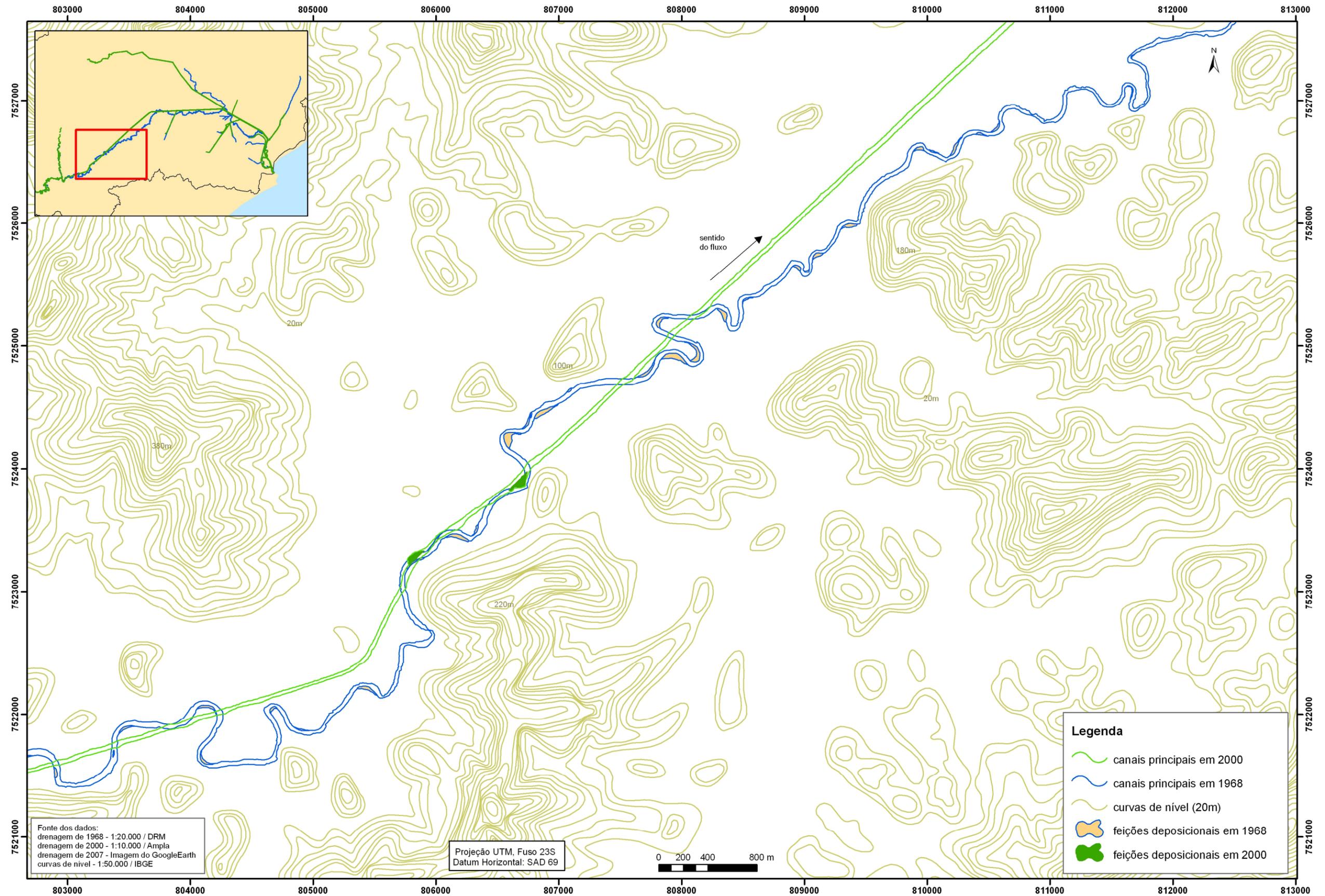


Figura 7.15: Mapa de feições deposicionais em trecho do rio Macaé, antes e após as obras de retificação (Elaboração do autor).

Ainda assim, com o passar do tempo, já houve o surgimento de algumas feições deposicionais importantes, que demonstram a dinâmica fluvial neste período de aproximadamente 30 anos, entre o fim das obras de retificação (década de 1970) e o ano de 2000. Na Figura 7.16 observa-se a formação de uma feição deposicional na convexidade da primeira curva (de montante para jusante) do canal artificial do rio Macaé. A barra lateral formada possui mais de 200 metros de extensão e foi gerada provavelmente a partir dos sedimentos provenientes da erosão do canal mais à montante, somados aos sedimentos provenientes de pequenos canais que deságuam sobre o rio Macaé pela margem direita. Notam-se, ao sul da barra formada, pequenos canais na planície tomada por pastagens que, sem cobertura vegetal, contribuem para uma grande produção de sedimentos.

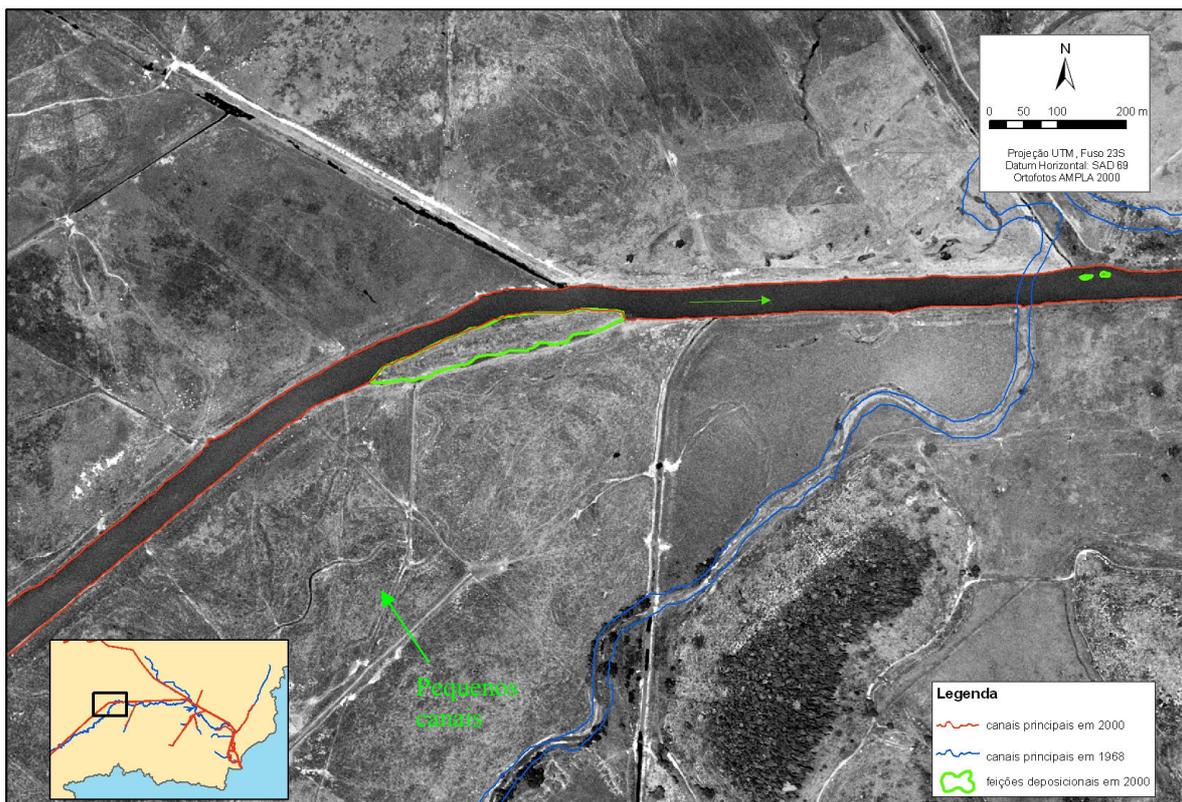


Figura.7.16: Barra lateral formada em convexidade do rio Macaé, no trecho retificado (Assumpção, 2009)

Na Figura 7.17 (imagem de 2003) pode-se observar a barra lateral conectada à margem convexa, devido ao menor nível da água, e o banco de solapamento na margem côncava, que parece estar ligeiramente mais erodido. Há também duas pequenas ilhas fluviais, observadas à direita nas Figuras 7.16 e 7.17, que são resultado da deposição de outro pequeno canal à margem esquerda do rio Macaé.



Figura 7.17: Imagem da barra lateral em período seco (Fonte: GoogleEarth)

Outras ilhas vegetadas foram formadas com a retificação devido à ação direta da obra, como pode ser visto nas Figuras 7.18 e 7.19. Nestes trechos, como o canal novo foi escavado muito próximo ao canal original, o primeiro passou a ter o fluxo principal, o segundo passou a formar um canal ramificado, e a porção emersa de terra entre eles passou, então, a formar uma ilha fluvial.

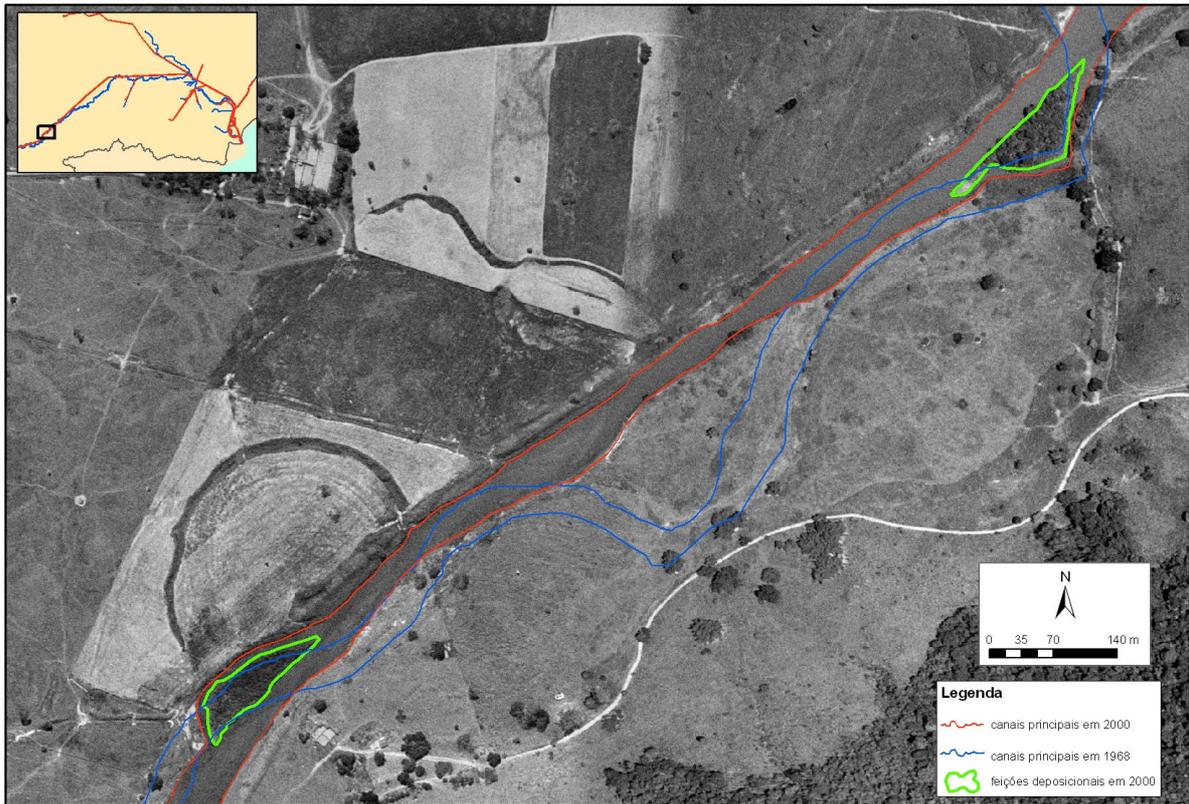


Figura 7.18: Ilhas fluviais no canal do rio Macaé (Assumpção, 2009 - ortofoto da AMPLA)

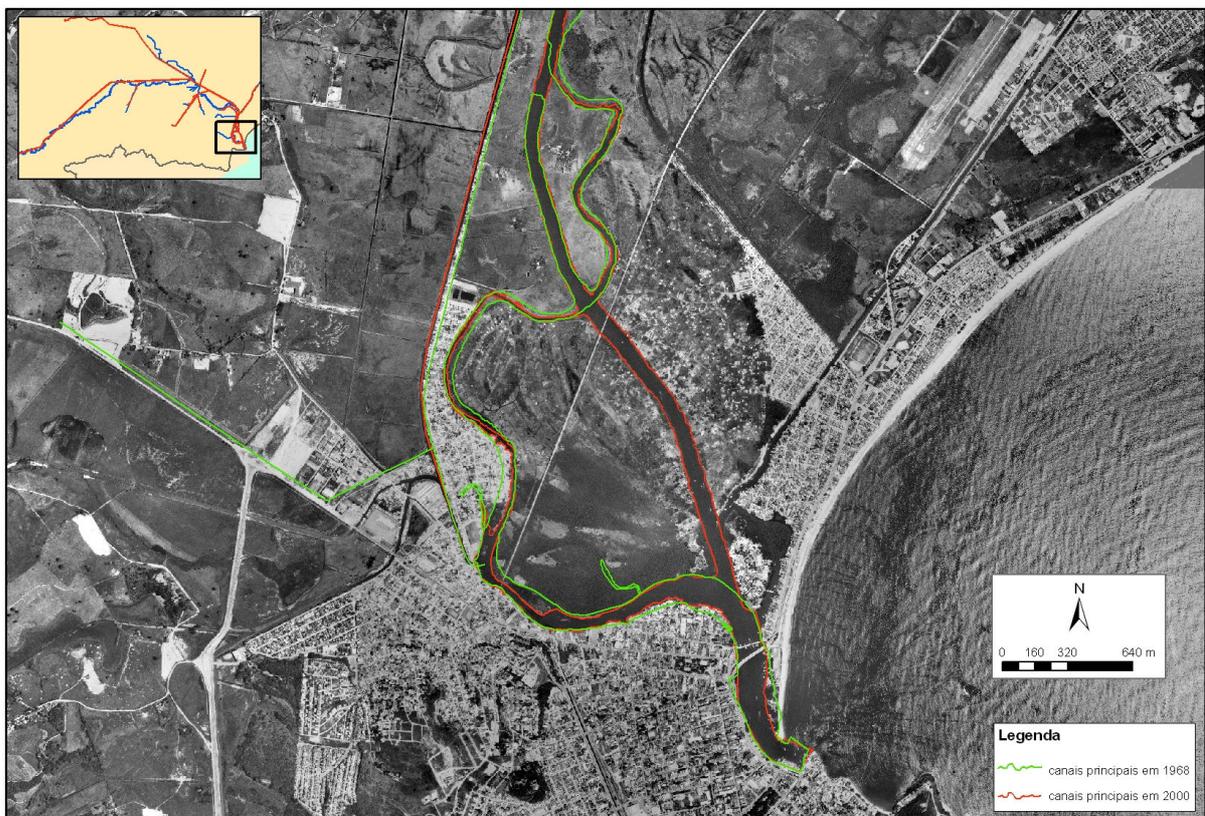


Figura 7.19: Ilhas fluviais no canal do rio Macaé próximas a foz (Assumpção, 2009 - ortofoto da AMPLA)

Vale destacar o impacto gerado por esta alteração direta da calha, apresentada na Figura 7.19. A área, que na figura aparece a oeste do antigo leito, foi alvo da expansão urbana da cidade de Macaé e é hoje ocupada por uma comunidade. Esta área é frequentemente inundada, causando perdas materiais e imateriais aos moradores. Isto ocorre pois trata-se uma área de baixada justamente às margens do antigo canal do rio Macaé, portanto, em períodos de cheias maiores, esta área será sempre inundada. É importante a conscientização da população local quanto à ocorrência natural deste fenômeno, que foi agravado pelas obras de retificação, já que aumentou a ocorrência de enchentes neste trecho do canal, próximo à foz (FGV Projetos 2004).

De acordo com o mapeamento elaborado na pesquisa, percebe-se que o rio Macaé, antes de ter seu canal modificado, além de possuir um padrão meandrante, como já foi dito anteriormente, apresentava inúmeras feições deposicionais, destacando-se, principalmente, as *point bars*, que somam ao todo 71 na área mapeada. A presença de tais feições justifica-se pela existência dos meandros que, devido ao fluxo helicoidal da água e à granulação móvel dos sedimentos das margens, migram constantemente pela planície fluvial, por meio da aggradação nas margens convexas e degradação das margens côncavas.

Essa migração dos meandros pode ser verificada por meio da observação dos inúmeros paleocanais e meandros abandonados que podem ser vistos no mapa da Figura 7.20. Os paleocanais considerados aqui foram mapeados a partir das fotografias aéreas da AMPLA do ano de 2000 e do DRM de 1968, já que são canais mais antigos na escala de tempo geomorfológica e, portanto, puderam ser vistos a partir dos dois levantamentos aerofotogramétricos, ou seja, não podem ser confundidos com o canal correspondente a 1968. Tais feições ocupam as posições mais dispersas na planície aluvial, demonstrando que os rios Macaé e São Pedro, em tempos passados, já tiveram seus leitos em várias posições na planície, que, por conseguinte, possui sedimentos de origem fluvial de vários períodos, além

de sedimentos de origem marinha do período em que a planície foi invadida pelo mar na última transgressão marinha (Silva & Cunha, 2001).

Observa-se, também, que no rio Macaé, antes da confluência com o rio São Pedro, havia em 1968 algumas ilhas vegetadas (Figura 7.21). Tais ilhas foram provavelmente formadas pela deposição de sedimentos provocada pela redução na velocidade do fluxo e perda de competência das águas do rio Macaé. As ilhas fluviais, além de serem resultado de uma redução na velocidade do fluxo, são também causadoras de redução na velocidade, uma vez que funcionam como obstáculos para as águas dos rios, sendo excelentes locais para reprodução de peixes (Brookes, 1988; Cunha, 1995).

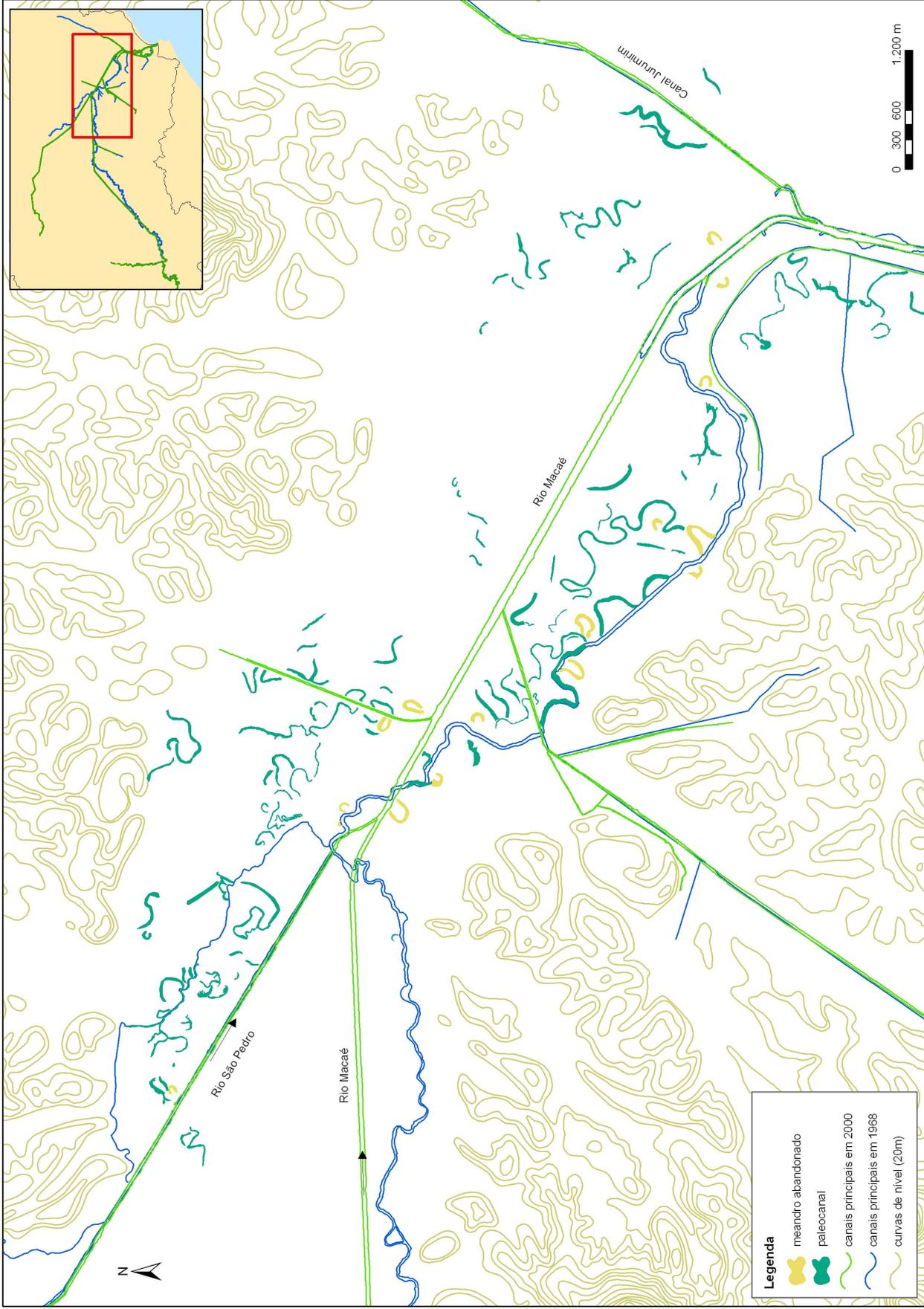


Figura.7.20: Paleocanais e meandros abandonadas na planície aluvial do rio Macaé (Elaboração: Assumpção, 2009)

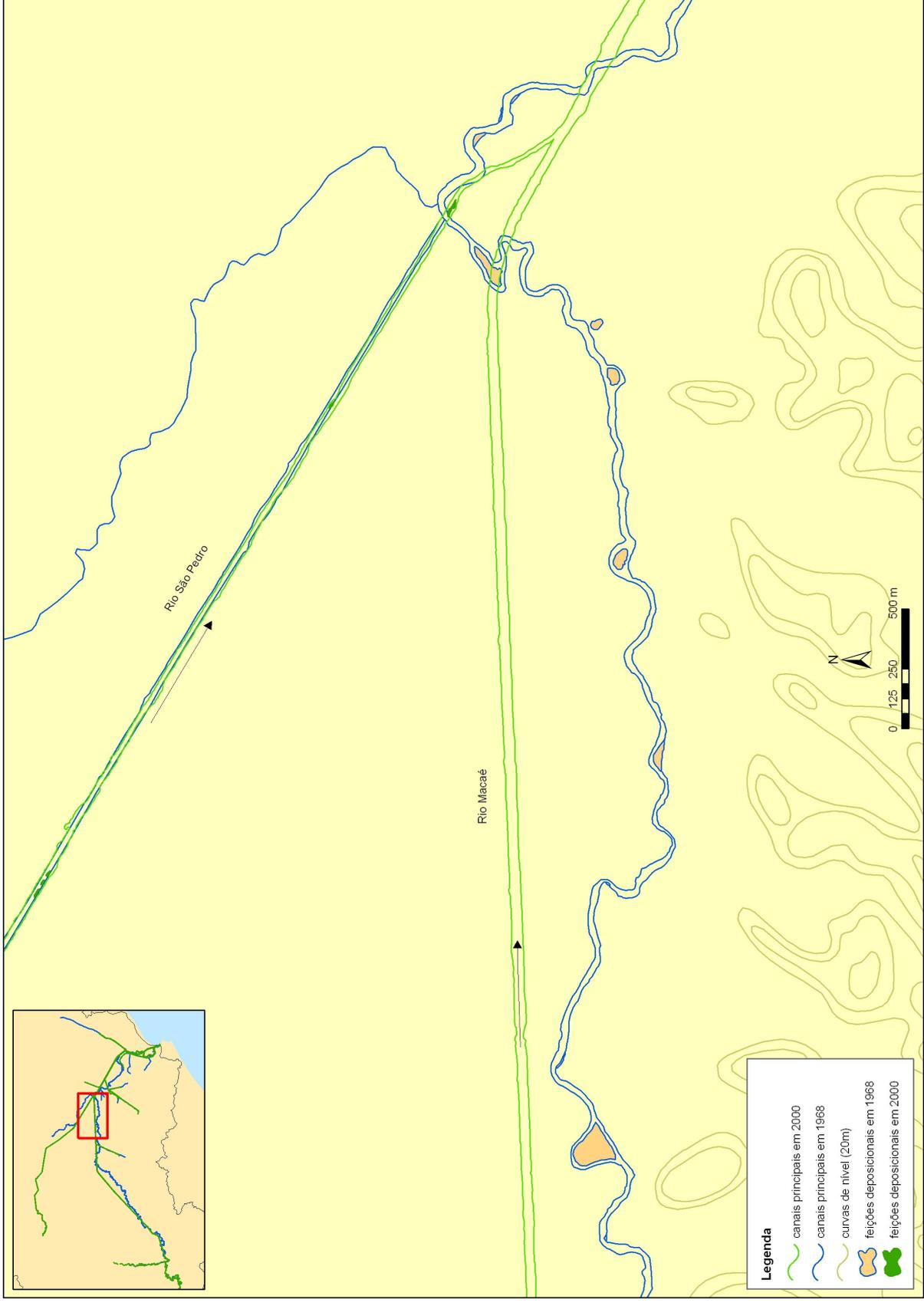


Figura 7.2.1: Ilhas fluviais e *point bars* no antigo leito do rio Macaé. No trecho retificado apresentado não há feições deposicionais formadas. (Elaboração: Assumpção, 2009)

O Rio São Pedro (principal afluente pela margem esquerda)

A exemplo do rio Macaé, o canal do rio São Pedro teve seu curso desviado do leito natural nas obras realizadas pelo extinto DNOS, sendo que foi escavado um novo leito para o rio em sua planície. Logo, todo tipo de obstáculo no novo leito escavado foi retirado para acelerar o fluxo das águas e dispersar as cheias mais rapidamente para jusante. No entanto, após aproximadamente 30 anos decorridos das obras, podem ser vistas algumas barras e ilhas fluviais formadas no trecho retificado do rio, como mostram as Figuras 7.22 e 7.23. Novamente, destaca-se que não foi possível mapear a área logo após o processo de retificação, uma vez que não há fotografias aéreas ou imagens de satélite com resolução compatível com a escala de trabalho no período que sucedeu as obras. Ainda assim, acredita-se que as ilhas fluviais observadas nas figuras que se seguem não existiam assim que o novo canal foi escavado e foram, portanto, formadas com o decorrer do tempo.

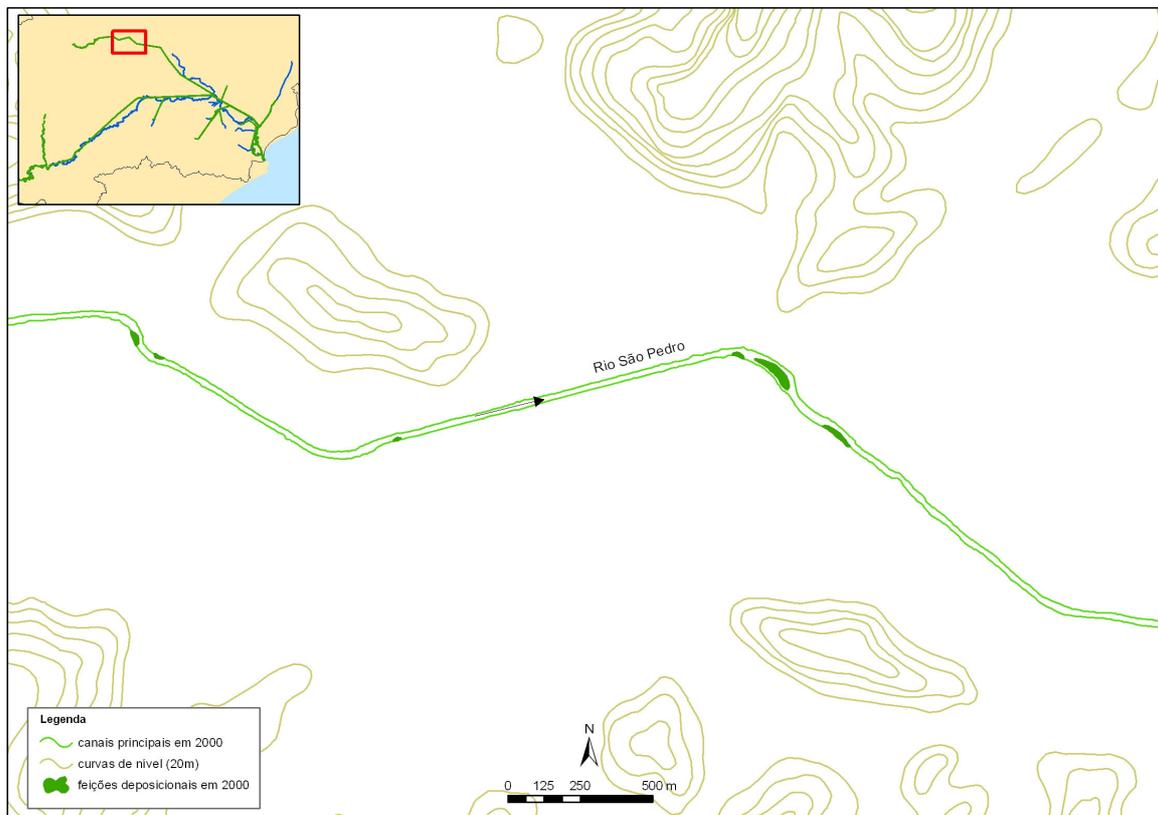


Figura. 7.22: Feições deposicionais no atual curso do rio são Pedro (Elaboração: Assumpção, 2009).

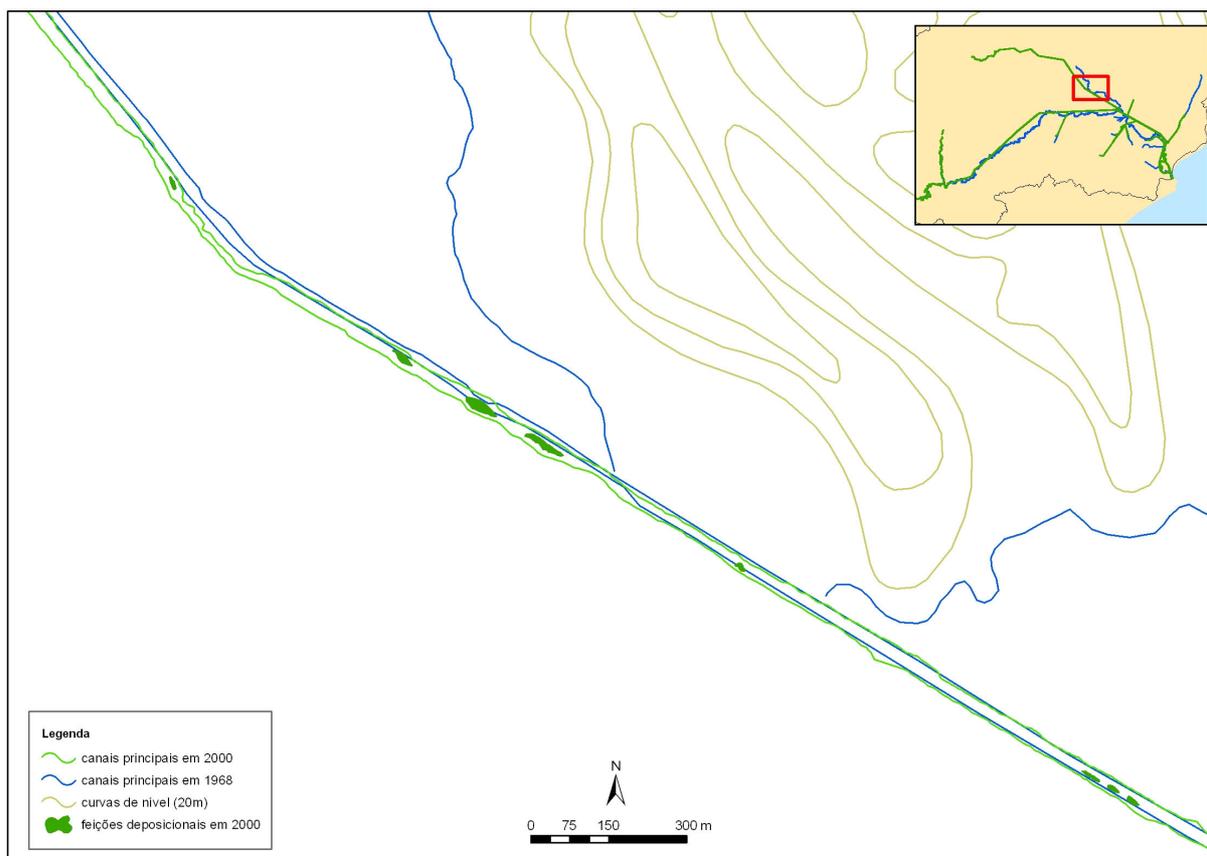


Figura. 7.23: Feições deposicionais no atual curso do rio São Pedro (Elaboração: Assumpção, 2009).

A Figura 7.24 apresenta a maior ilha fluvial presente no rio São Pedro. Nota-se que ela foi formada logo após uma curva do canal e após a confluência com o rio do Lírio, à sua margem esquerda. A feição destacada foi provavelmente formada devido à associação entre a redução na velocidade do fluxo, ocasionada pela curva do canal e o afluxo de sedimentos provenientes do rio do Lírio somados à carga sedimentar do próprio rio São Pedro. Com elevada carga de sedimentos e baixa velocidade, os sedimentos mais grosseiros foram sendo depositados ao longo do tempo até formar a ilha. Pode-se perceber, na comparação entre os anos de 2000 e 2007, que a carga sedimentar do rio dos Lírios é tanta que, em períodos mais secos (Figura 7.25), sua desembocadura se fecha devido ao assoreamento. Nota-se que o período mais seco tornou evidente pequenas barras ao lado da ilha maior

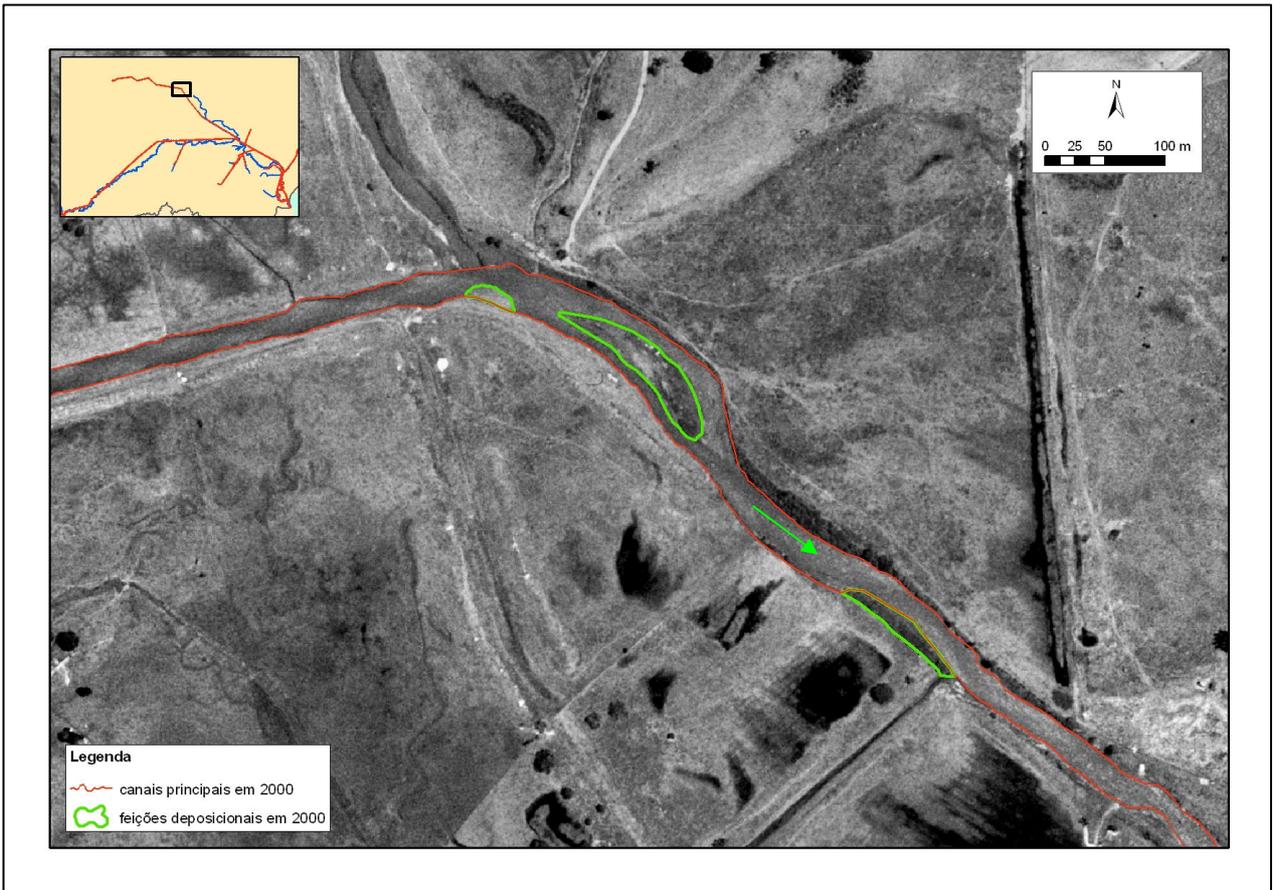


Figura.7.24: Ilha e barras no canal do rio São Pedro (Fotografia aérea de 2000/Ampla).

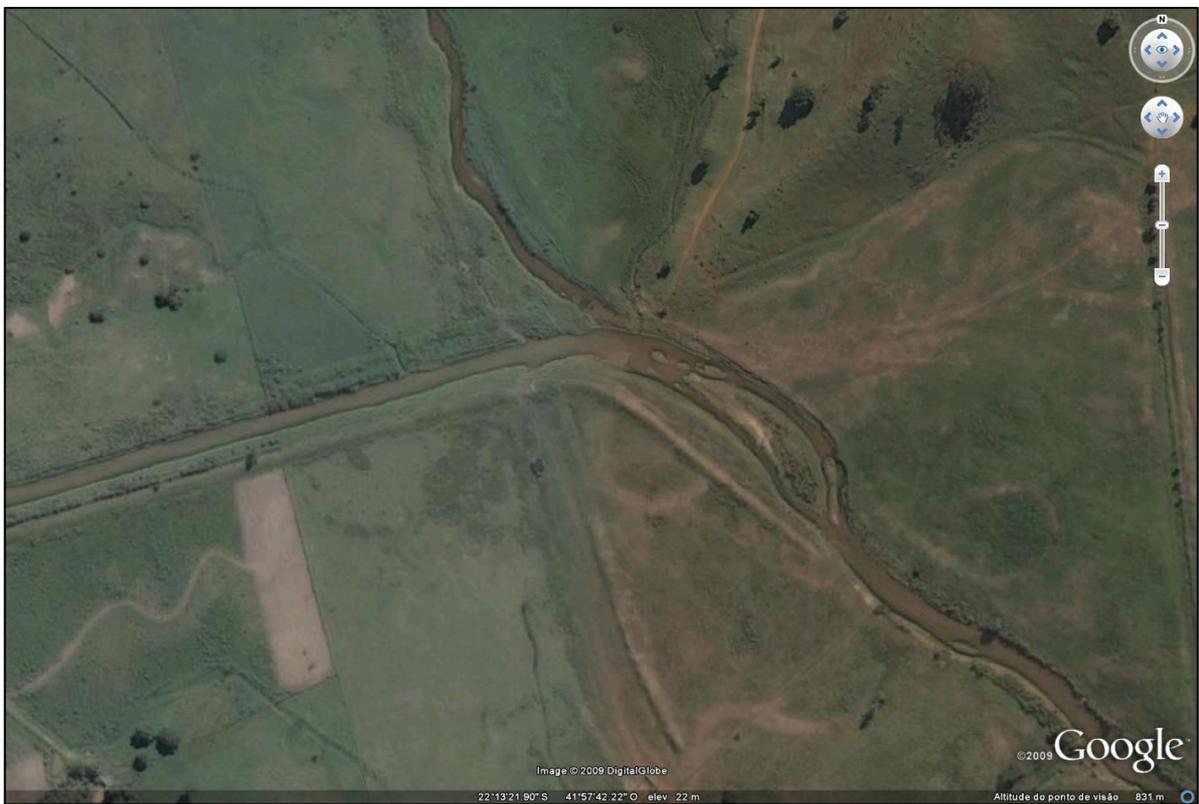


Figura.7.25: Ilha e barras no canal do rio São Pedro (Imagem de 2007/GoogleEarth).

As Figuras 7.24 e 7.25 mostram como o canal do rio São Pedro desenvolve curvas a partir do meandramento do talvegue e do mecanismo de erosão e deposição alternadas nas margens, o que demonstra um reajuste do canal às condições do ambiente. Nas Figuras 7.26 e 7.27 podem-se ver também a formação de diversas ilhas fluviais, decorrentes da elevada carga sedimentar que chega ao canal proveniente da planície, ocupada principalmente por pastagens.

É provável que a formação destas ilhas e feições deposicionais, tanto do rio Macaé como do rio São Pedro, tenha sido ocasionada pela baixa velocidade do fluxo em períodos mais secos que não é compensada pelo aumento da vazão em períodos chuvosos, dado pela forma retilínea do canal (antes sem obstáculos para reduzir a velocidade). Sabe-se, além disso, que obras de retificação requerem permanente manutenção e cuidado a partir da dragagem do leito e ajuste das margens, para que não haja assoreamento e erosão. Essa manutenção não ocorre com a devida frequência nos canais estudados, pois torna-se onerosa aos cofres públicos.

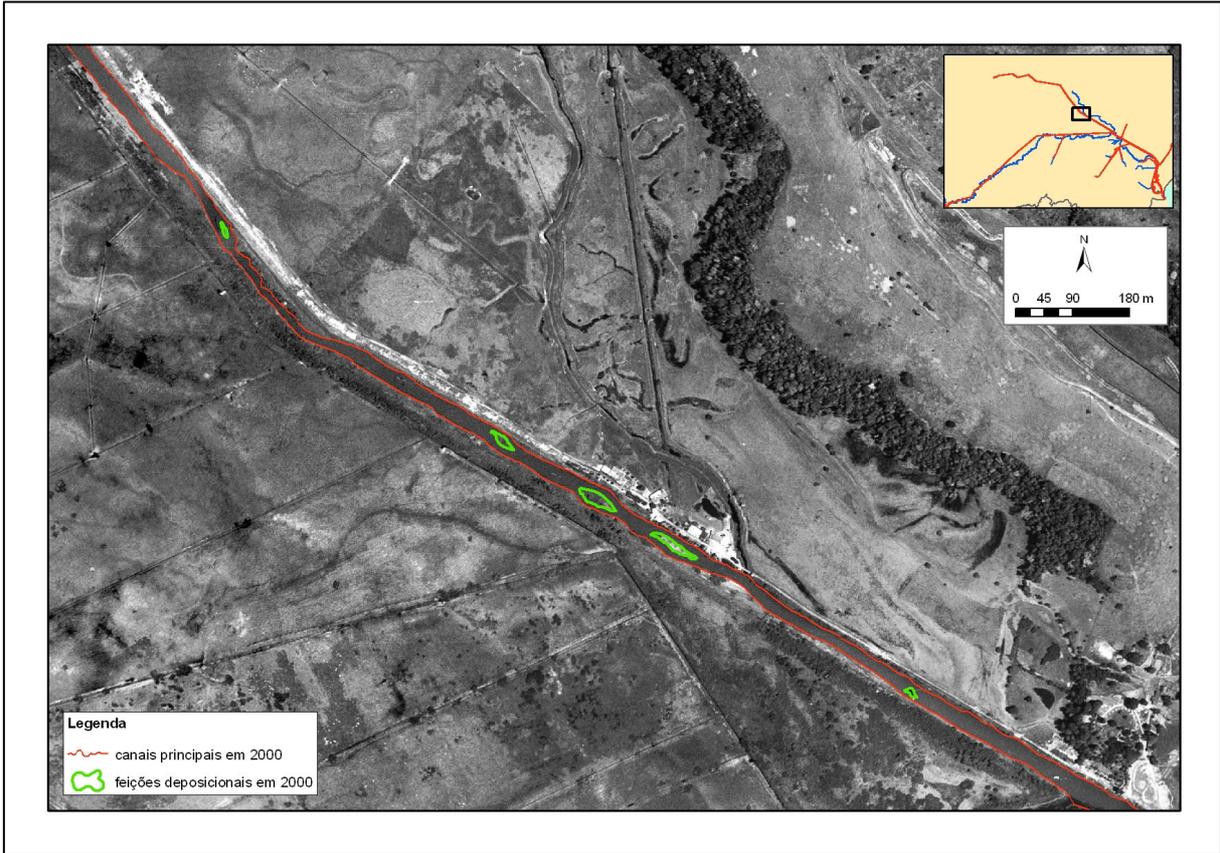


Figura.7.26: Ilhas e barras fluviais no canal do rio São Pedro (Fotografia aérea de 2000 / Ampla)

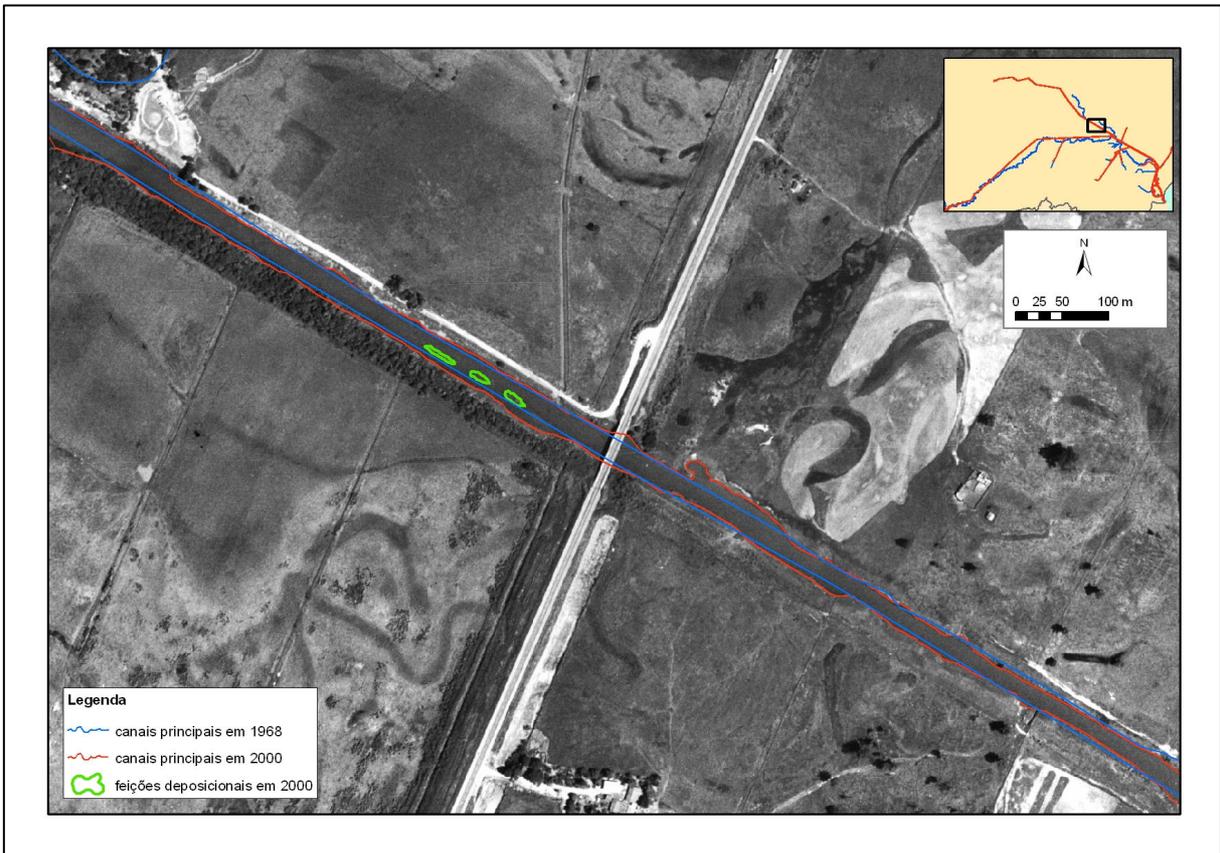


Figura 7.27: Barras arenosas no canal do rio São Pedro (Fotografia aérea de 2000 / Ampla)

À montante do trecho retificado, próximo à localidade de Córrego do Ouro, o rio São Pedro apresenta vários meandros e *point bars*. Foi feita uma comparação entre a forma em planta do canal nos anos de 2000 e 2007. O que se percebe é a rápida migração dos meandros em um curto intervalo de tempo, como pode ser visto na Figura 7.28. Essa rápida migração está associada à razão entre a largura e a profundidade do canal. De acordo com Christofolletti (1990), quando esta relação é pequena, a movimentação é rápida, e à medida que cresce esta razão, aumenta a estabilidade das margens.

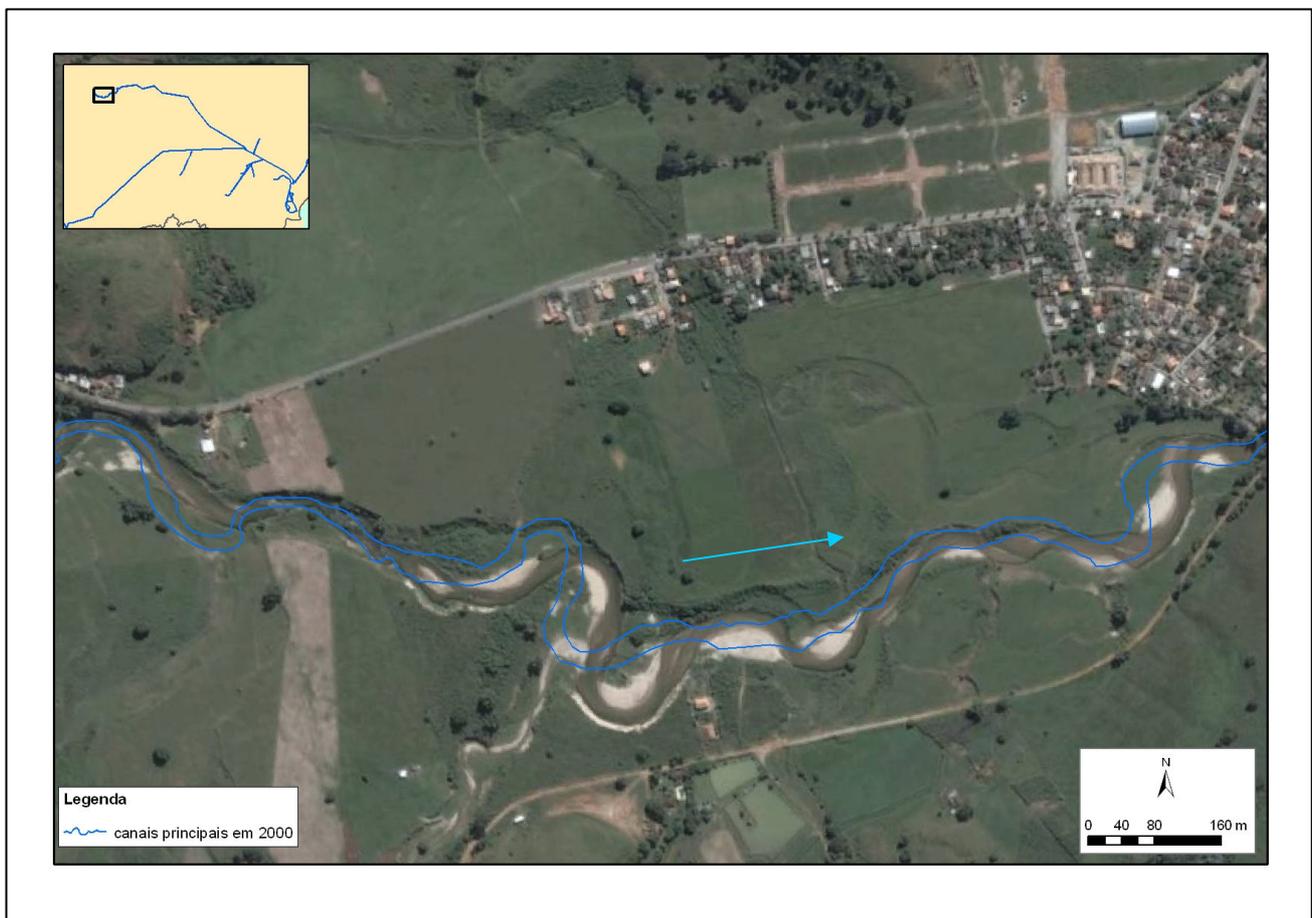


Figura 7.28: Point bars no canal do rio São Pedro, próximo a cidade de Córrego do Ouro (Imagem de 2007 / GoogleEarth)

O Rio D'Antas (afluente pela margem esquerda)

O rio D'Antas é um canal afluente pela margem esquerda do rio Macaé que deságua sobre este, pouco antes do início do trecho retificado. Dentro da área de estudo, foi o único dos rios de menor porte cujas modificações foram verificadas, havendo grande diferença na forma em planta nos três períodos mapeados: 1968 (fotografias aéreas do DRM); 2000 (ortofotos da AMPLA) e 2007 (imagens de satélite do software GoogleEarth).

As Figuras 7.4; 7.5 e 7.6 mostram as imagens da área nos três períodos citados. A Figura 7.29 apresenta a forma do canal em 1968, em 2000 e em 2007, simultaneamente, evidenciando as alterações ocorridas de forma mais clara.

Observou-se que o curso do rio D'Antas sofreu algumas alterações já em 1968, época em que foram realizadas algumas obras, que podem ser constatadas na fotografia aérea da época. Verificam-se na Figura 7.4 (1968) depósitos de areia na planície do rio, provavelmente retirados na escavação e deixados por caminhões na área. Além disso, foi possível identificar alguns colos de meandro cortados para a criação do novo leito do rio, deixando meandros “abandonados artificialmente”.

De 1968 a 2000, houve uma obra maior que retificou um trecho de 1440 metros, transformando-o em um canal retilíneo de 690 metros. Além dessa modificação direta na calha do rio, foram constatadas diversas outras alterações que resultaram das obras ocorridas em 1968 e de outras após essa época que não foram possíveis registrar aqui. Ou seja, além dos cortes de meandros, verificaram-se mudanças na forma do canal, influenciadas pelas alterações na vazão, granulometria e gradiente do canal provocadas por aqueles. É possível perceber isso observando-se a geometria completamente diferente dos meandros nas duas épocas (Figura 7.29).

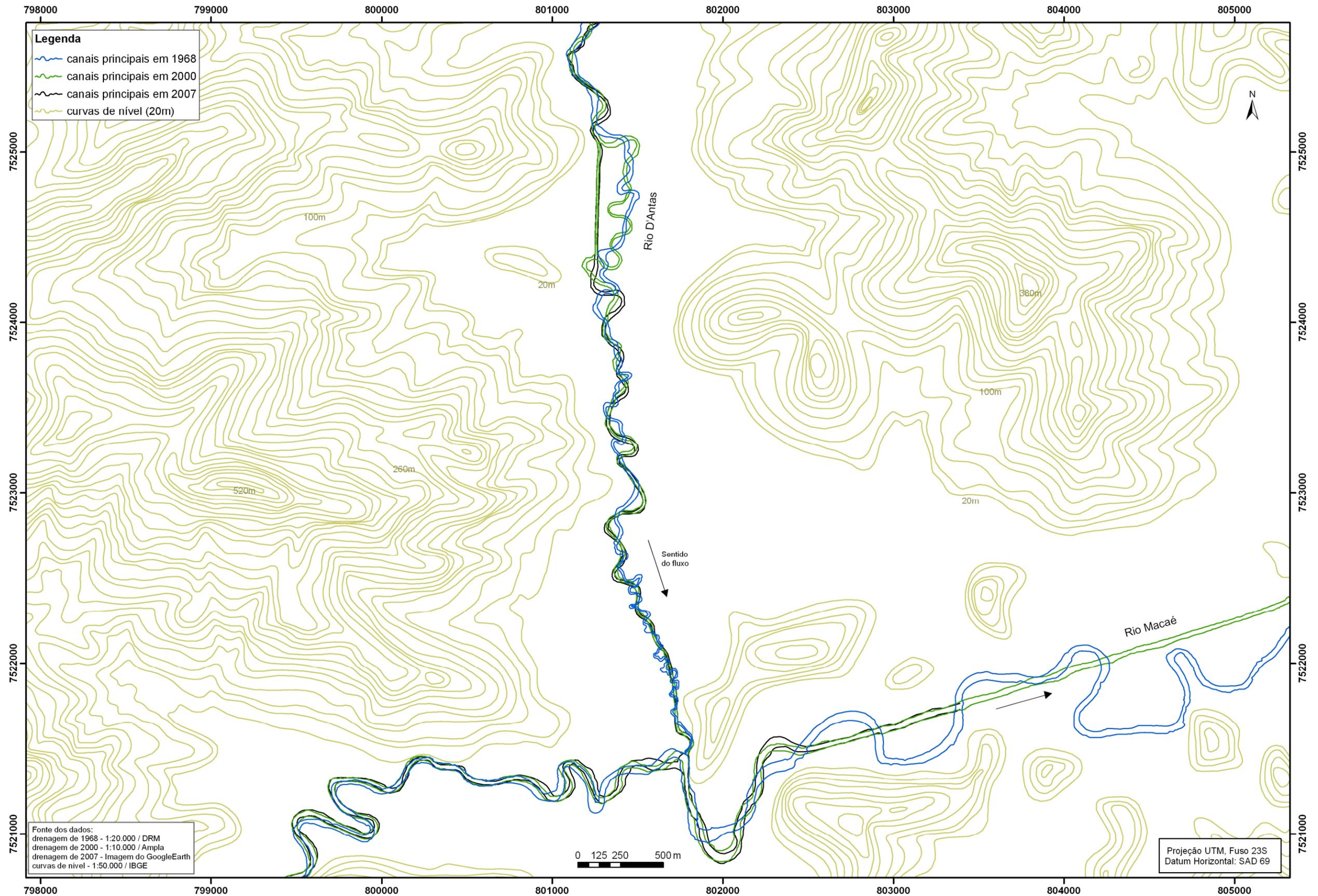


Figura 7.29: Mapa das alterações decorrentes das obras de retificação no rio D'Antas (elaboração do autor)

Entre 2000 e 2007 não foram verificadas muitas alterações no curso do rio D'Antas, exceto pela migração das curvas encontradas após a área retificada mais recentemente para jusante, evidenciando o aumento da velocidade do fluxo no trecho retificado, o que provocou a erosão das margens e migração do meandro para jusante (Figura 7.30).

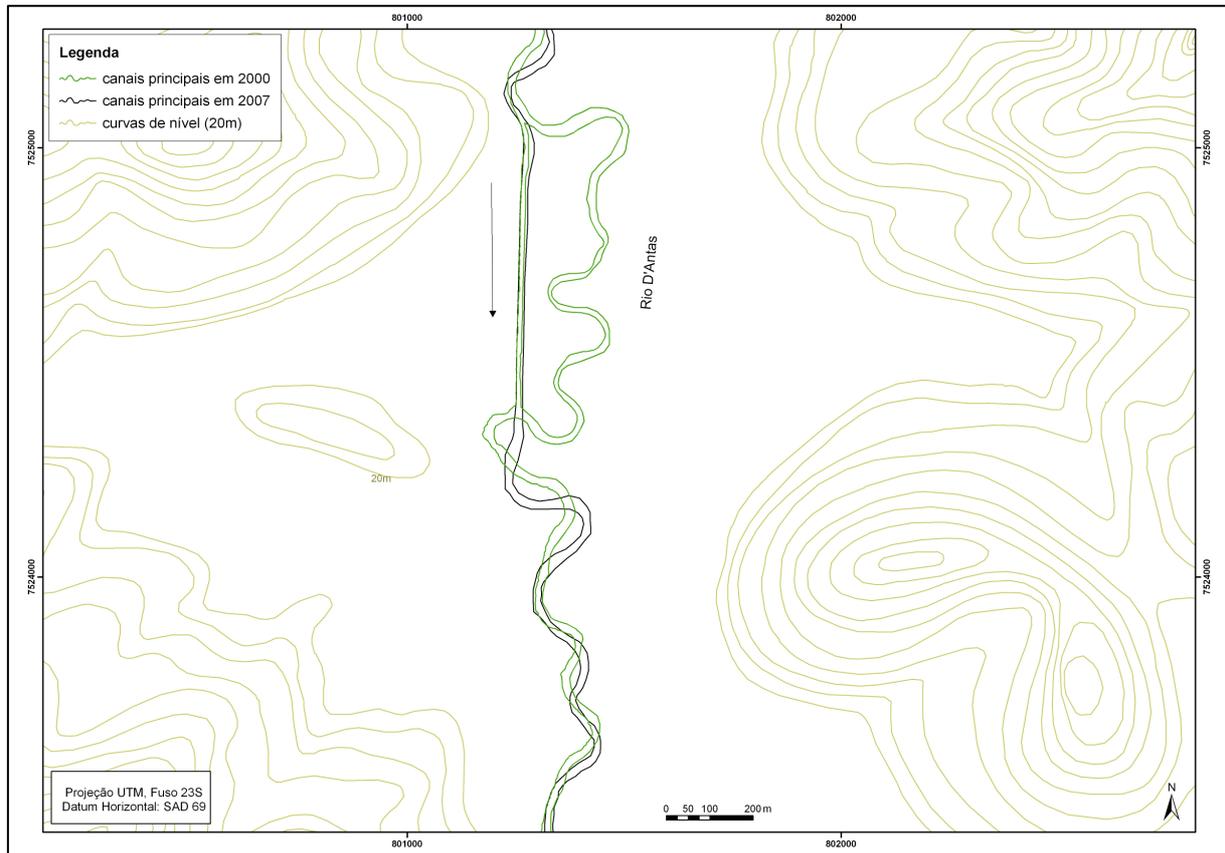


Figura.7.30: Migração do canal do rio D'Antas à montante do trecho retificado. (Elaboração: Assumpção, 2009)

Em suma, por volta de 1968, foram retiradas pequenas curvas do canal do rio D'Antas, tanto no seu alto curso como próximo ao rio Macaé. Além dessas modificações diretas, outras indiretas ocorreram, decorrentes de um aumento na velocidade de fluxo, o que acarretou em sedimentação intensa na foz do rio e mais a jusante no rio Macaé, onde aumentaram os depósitos de areia nas praias fluviais. Nota-se que houve uma intensa progradação da margem convexa (esquerda) do rio Macaé de 1968 para 2000, decorrente da elevada carga sedimentar do rio D'Antas (Figura 7.31). Esta elevada carga sedimentar é, provavelmente, decorrente de

sua retificação. Mais próximo ao ano 2000, foi feita uma grande obra de retificação no médio curso do rio, que reduziu em 750 metros o seu canal, como visto na Figura 7.30.

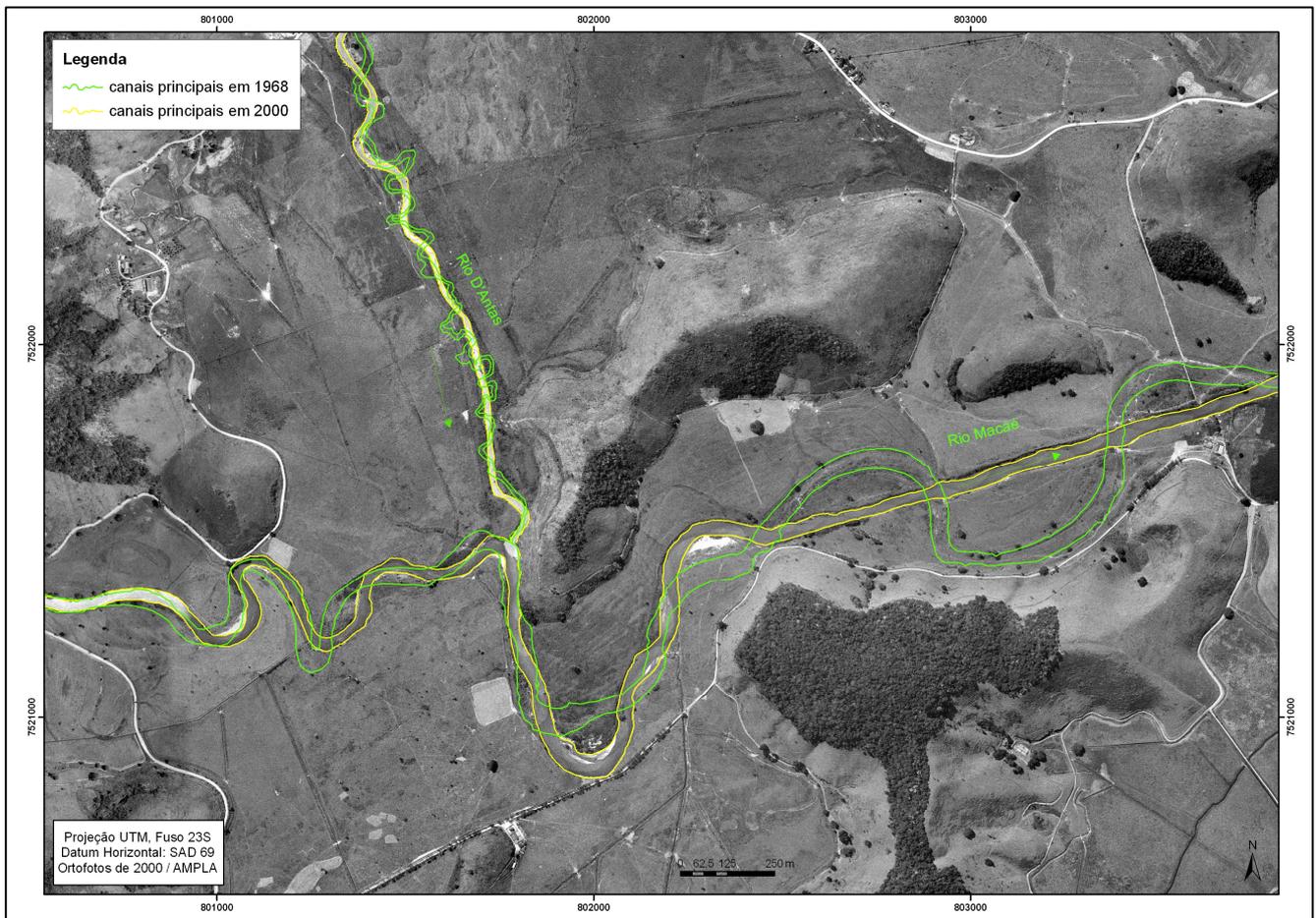


Figura. 7.31: Alterações dos rios Macaé e D'Antas entre 1968 e 2000. Nota-se a progradação da margem convexa do rio Macaé à jusante da confluência. (Elaboração: Assumpção, 2009)

Devido a essa intensa sedimentação na foz do rio D'Antas, o rio Macaé teve seu curso modificado naquele trecho entre 2000 e 2007, erodindo sua margem direita, oposta ao rio D'Antas, para compensar o depósito na margem esquerda, como se pode ver nas Figuras 7.32 e 7.33.

Observa-se que as modificações ocorridas no intervalo de 30 anos neste trecho foram muitas, uma vez que houve crescimento da praia fluvial à jusante da foz do rio D'Antas, e crescimento de outras *point bars* e migração de meandros à montante e à jusante deste trecho, além da modificação direta ocasionada pelas obras (Figuras 7.29 e 7.31).

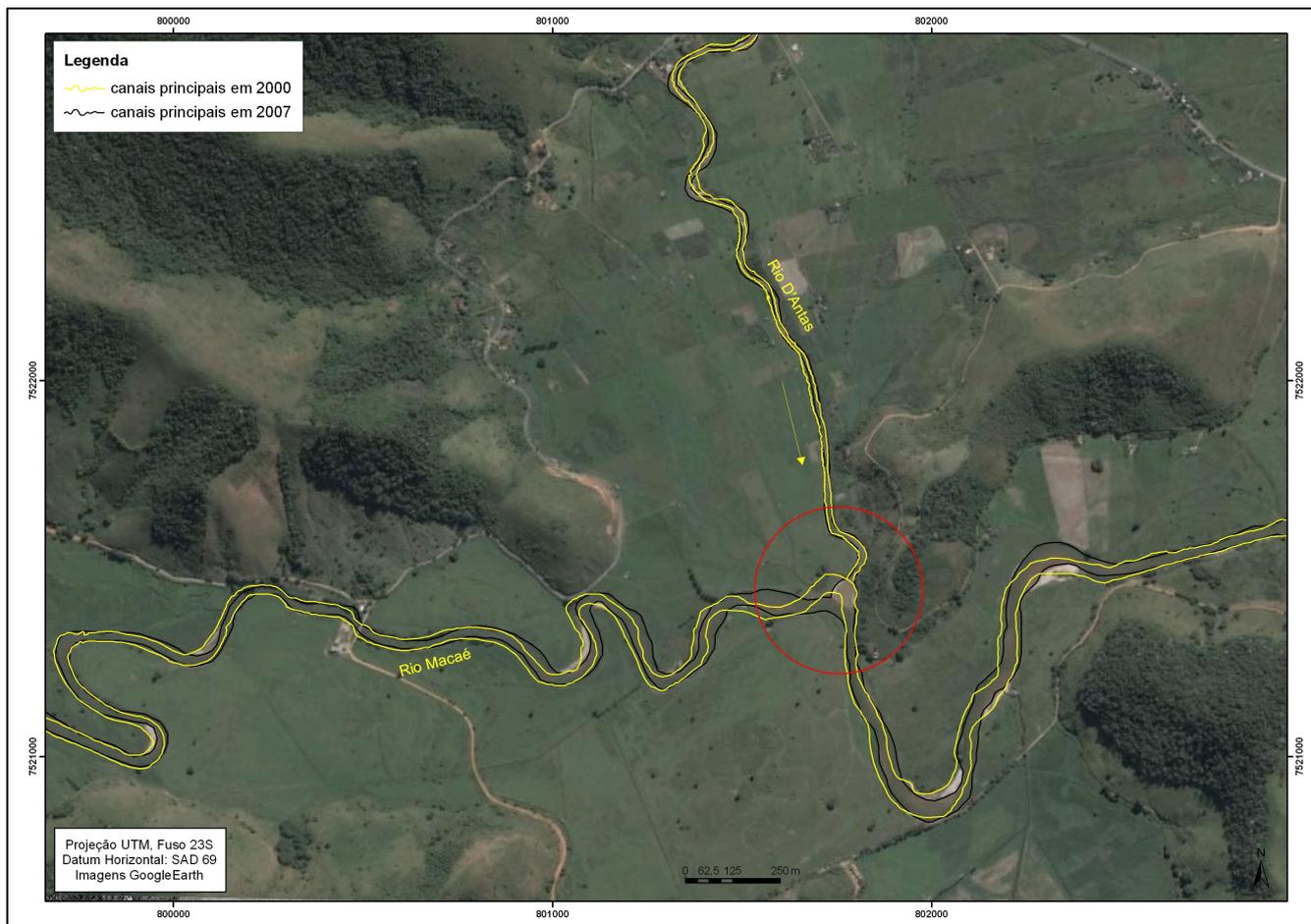


Figura. 7.32: Alterações dos rios Macaé e D'Antas entre 2000 e 2007. Nota-se, no trecho envolvido em vermelho, a intensa deposição e modificação subsequente do curso do rio Macaé (Elaboração: Assumpção, 2009).

Contudo, é interessante observar que, por cerca de trinta anos, o curso do rio Macaé, na foz do rio D'Antas, modificou-se menos do que em sete anos de intervalo entre as fotografias aéreas de 2000 e a imagem de satélite de 2007. Acredita-se que tal diferença deva-se à realização recente da obra de retificação principal do rio D'Antas, que provocou aumento da velocidade do fluxo e, conseqüentemente, da carga sedimentar. A Figura 7.33 mostra a intensa sedimentação que ocorre na foz do rio D'Antas atualmente.



Figura. 7.33: Deposição de sedimentos na foz do rio D'Antas (Fonte: Acervo Lagesolos).

7.2 Caracterização Hidrossedimentológica do rio Macaé

As modificações realizadas sobre a forma dos canais pelas obras de retificação provocam inúmeras mudanças nos outros elementos do sistema fluvial em questão, tais como no gradiente do canal, na velocidade do fluxo, nas áreas de erosão e deposição, na produção e fornecimento de sedimentos, além de alterações na granulometria da carga sedimentar, entre outros. De acordo com diversos autores (Leopold & Wolman, 1960; Schumm, 1977; Brookes, 1988; Christofolletti, 1990; Summerfield, 1991; Silva et al., 2003) essas variáveis dos sistemas fluviais estão interligadas e qualquer mudança em uma delas acarreta alterações nas outras.

Portanto, para o melhor entendimento da dinâmica dos canais na bacia do rio Macaé, foi feita uma caracterização hidrossedimentológica do canal principal que teve como objeto os seguintes parâmetros: vazão; granulometria dos sedimentos de fundo do canal; e forma da seção da calha fluvial. Tais parâmetros, associados à forma em planta dos canais, permitem a compreensão do comportamento do sistema fluvial em estudo e dos possíveis efeitos das obras de retificação.

O monitoramento dos parâmetros acima citados foi realizado em seis estações, uma à jusante e outra à montante de cada um dos três afluentes cuja influência sobre o rio Macaé se pretendeu analisar: o rio São Pedro, o rio D'Antas e o rio Sana, conforme mostra a Figura 7.34.

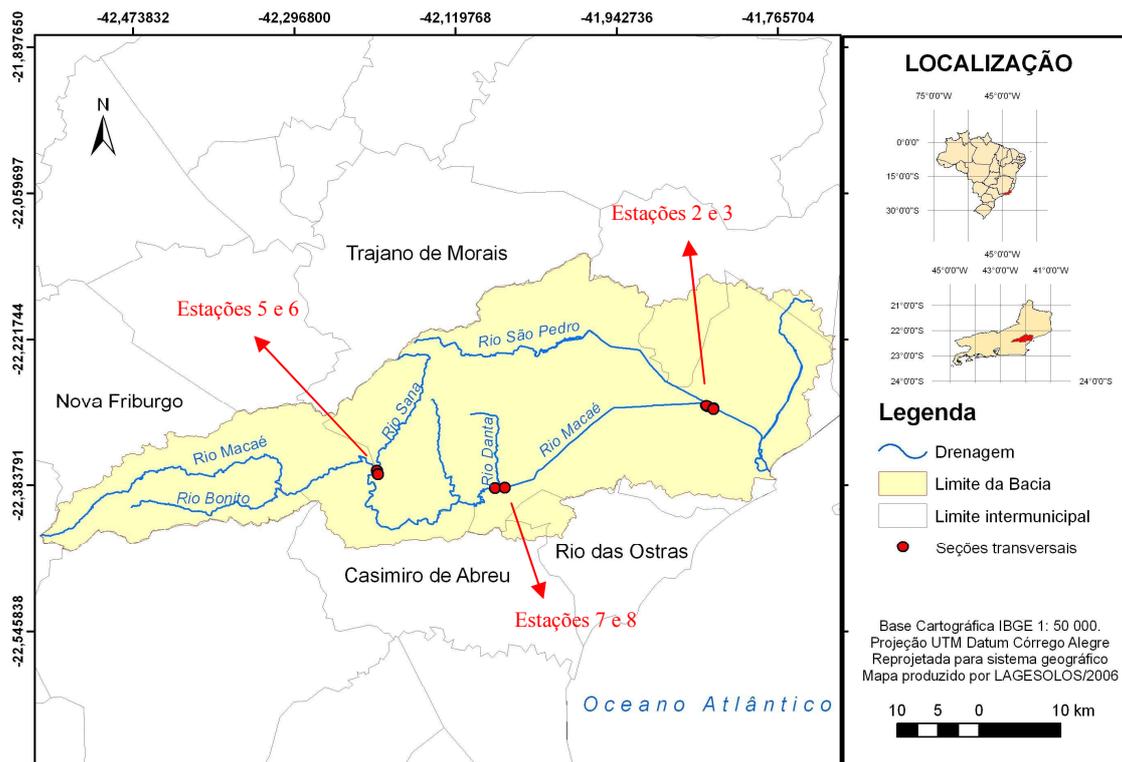


Figura 7.34: Mapa de localização das estações de monitoramento do rio Macaé.

7.2.1 Monitoramento da vazão do rio Macaé

A vazão é um dos principais elementos do sistema fluvial alterados nas obras de retificação de canais. O primeiro efeito da mudança na forma de um canal, que de meandrante passa a retilíneo, é sobre o gradiente e, conseqüentemente, sobre a vazão. E são as modificações na vazão que provocam alterações na carga sedimentar e, portanto, sobre as feições geomorfológicas. Portanto, o entendimento do comportamento da vazão é de suma importância na análise da dinâmica fluvial do rio Macaé.

A Tabela 7.2 apresenta os valores de vazão medidos para cada estação em 5 períodos diferentes. De forma geral, observou-se que o mês de outubro de 2007, estação seca, apresentou uma baixa vazão em todos os pontos de monitoramento, decorrente de uma longa estiagem ocorrida nessa estação daquele ano, como se pode ver no Gráfico 7.1. Percebe-se que a vazão, nesse mês, é sempre menor nas estações que se encontram à montante dos

afluentes (estações 2,5 e 7) do que nas estações após os afluentes (estações 3,6 e 8), o que não ocorre nos outros meses e evidencia, portanto, uma estiagem nas cabeceiras do rio Macaé.

Tabela 7.2 :Vazão calculada nas estações de monitoramento por meio de flutuadores (m³/s)

| Estação / mês | outubro / 2007 | março / 2008 | julho / 2008 | outubro / 2008 | março / 2009 |
|---------------|----------------|--------------|--------------|----------------|--------------|
| 2 | 11,86 | 57 | 28,1 | 33,5 | 39,63 |
| 3 | 19,56 | 121,48 | 36,7 | 39,7 | 70,75 |
| 5 | 3,97 | 49 | 19,67 | 37,4 | 19,39 |
| 6 | 13,09 | ----- | 9,28 | 13,64 | 24,59 |
| 7 | 7,81 | ----- | 48,28 | 20,55 | 52,8 |
| 8 | 12,11 | 59,4 | 22,5 | 6,77 | 62,4 |

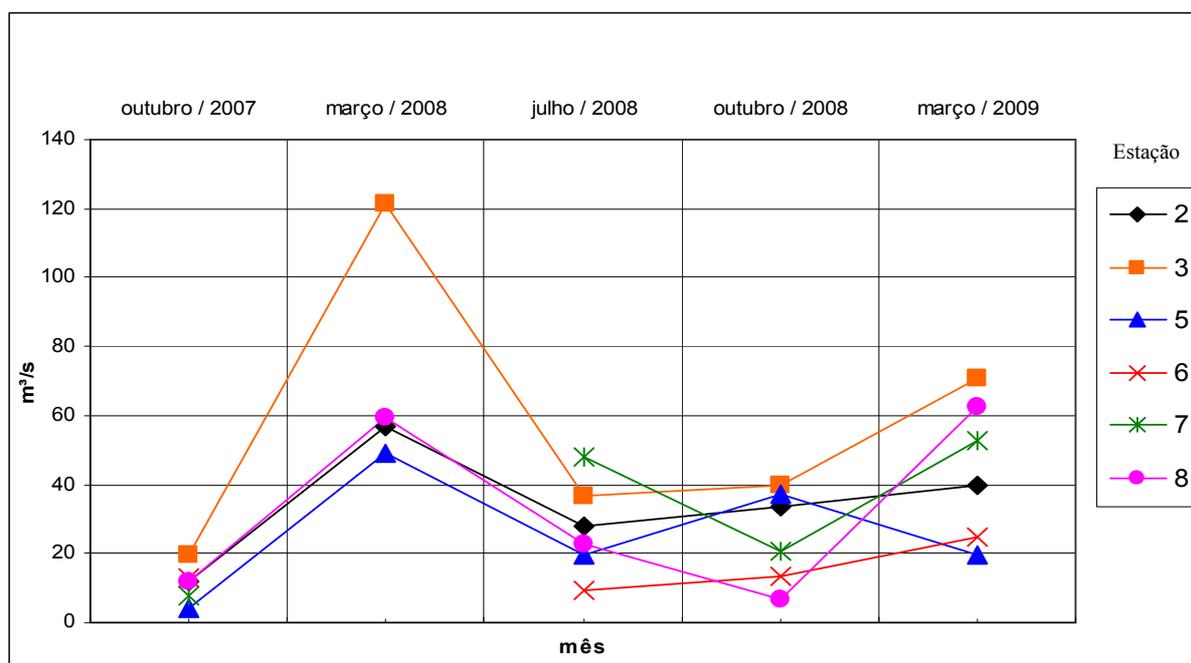


Gráfico. 7.1: Variação da vazão do rio Macaé nas estações de monitoramento.

O mês de março de 2008, caracterizado pelas intensas chuvas de final do verão, destacou-se pela elevada vazão medida em todos os pontos em que foi possível medir a seção molhada. O volume das águas foi tão grande que, em determinados pontos não foi possível fazer as medições necessárias. Destaca-se neste período a estação 3 que, sendo o ponto mais a jusante da bacia, após o rio São Pedro, apresenta a vazão máxima medida, com o valor de 121,48 m³/s.

Os meses de julho e outubro de 2008, e março de 2009 apresentaram coerência com as estações que representam: inverno, primavera e fim de verão, respectivamente. Nota-se que as vazões medidas não são elevadas como nos meses anteriores. Portanto, analisando-se o conjunto de dados, percebeu-se que a vazão do rio Macaé comporta-se dentro do padrão esperado, sendo maior no verão e menor no inverno, com alguns eventos extremos nos dois primeiros meses de monitoramento.

Ao analisarmos o gráfico de vazão de acordo com a posição dos pontos de monitoramento na bacia hidrográfica (Figura 7.34), podem-se traçar as seguintes observações:

- A **estação 2**, localizada à montante do rio São Pedro, apresenta valores consideravelmente mais baixos do que a estação 3, o que mostra a importância da contribuição das águas do rio São Pedro na vazão total da bacia, que pode ser observada por meio das Figuras 7.35 e 7.38.

Nos meses referentes a março registrados, a vazão do rio Macaé praticamente dobra após a confluência com o rio São Pedro, na **estação 3**.

- A **estação 3**, localizada mais à jusante, após o rio São Pedro, apresenta os maiores valores, exceto em julho de 2008, quando é maior a vazão do ponto 7, localizada antes do rio D'Antas.

- A **estação 5**, localizada à montante da confluência com o rio Sana (médio curso da bacia), apresenta, junto com a estação 6 (à jusante do mesmo rio), os valores mais baixos, exceto pelo mês de outubro de 2008. Muito provavelmente esses valores estão associados à baixa velocidade do fluxo e ao fato de ser o ponto de monitoramento mais à montante entre todos os analisados

- A **estação 6**, localizada à jusante da confluência com o rio Sana, apresenta, nos meses de julho e outubro de 2008, valor menor que na estação 5, antes da confluência. Tal característica deve-se provavelmente à redução da velocidade do fluxo decorrente da existência de uma abertura no vale, um alvéolo, onde ocorre a deposição de sedimentos, como pode ser visto na Figura 7.36. As ilhas e barras formadas são causa e consequência da redução na velocidade do fluxo. Este alvéolo pode ser resultado de movimentação tectônica recente na

região da bacia hidrográfica do rio Sana (Hasui, 1990; Mendes, 2004; Assumpção & Marçal, 2006).

- A **estação 7**, localizada à montante do rio D'Antas (Figura 7.37), apresenta valores maiores que a estação 8, em julho e outubro de 2008. Porém, em março de 2009, quando há aumento da pluviosidade, seus valor é menor que o da estação 8.

- A **estação 8**, localizada à jusante do rio D'Antas (Figura 7.37), assim como a estação 3, apresenta amplitude muito elevada entre os valores mais altos de vazão, registrados nos meses de março, e os valores mais baixos, nos meses de outubro. Tal característica pode ser decorrente da influência dos trechos retificados do rio D'Antas sobre a vazão do rio Macaé

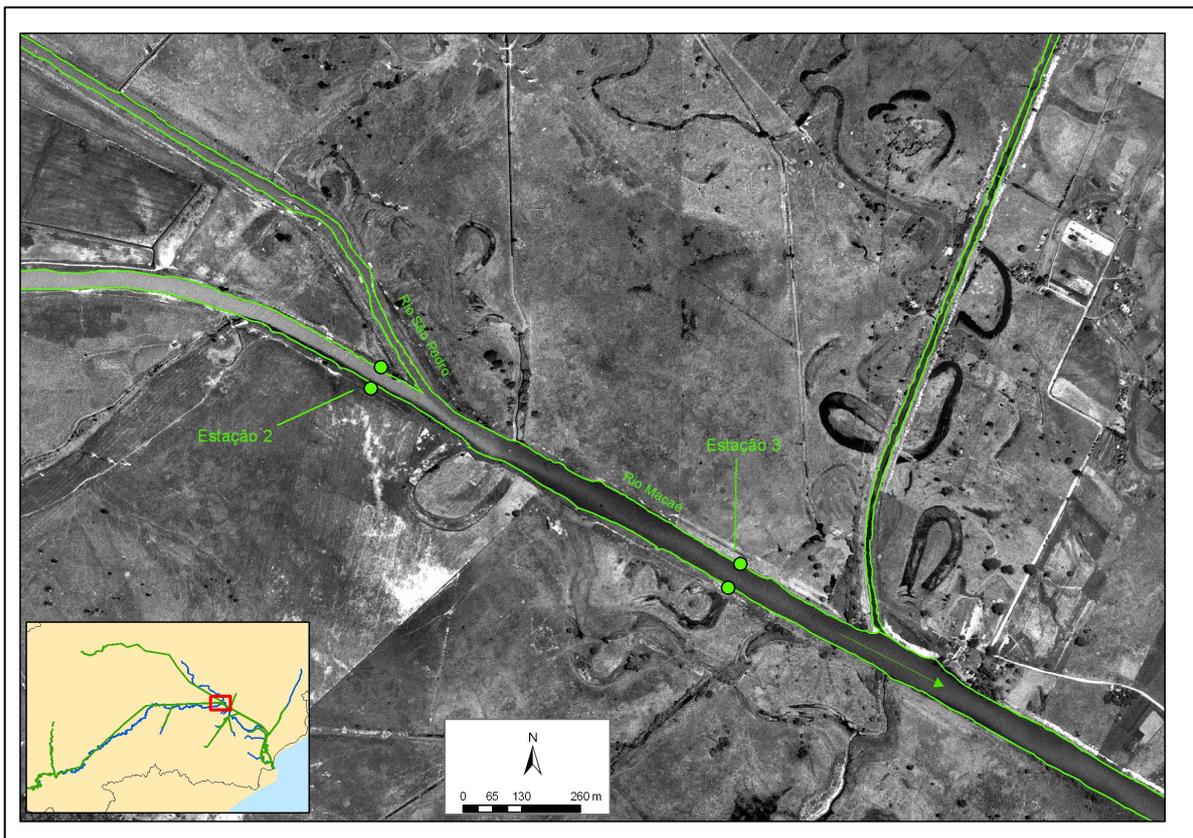


Figura 7.35: Recorte da fotografia aérea (AMPLA) da área de localização das seções 2 e 3 (Antes e após a confluência com o rio São Pedro).

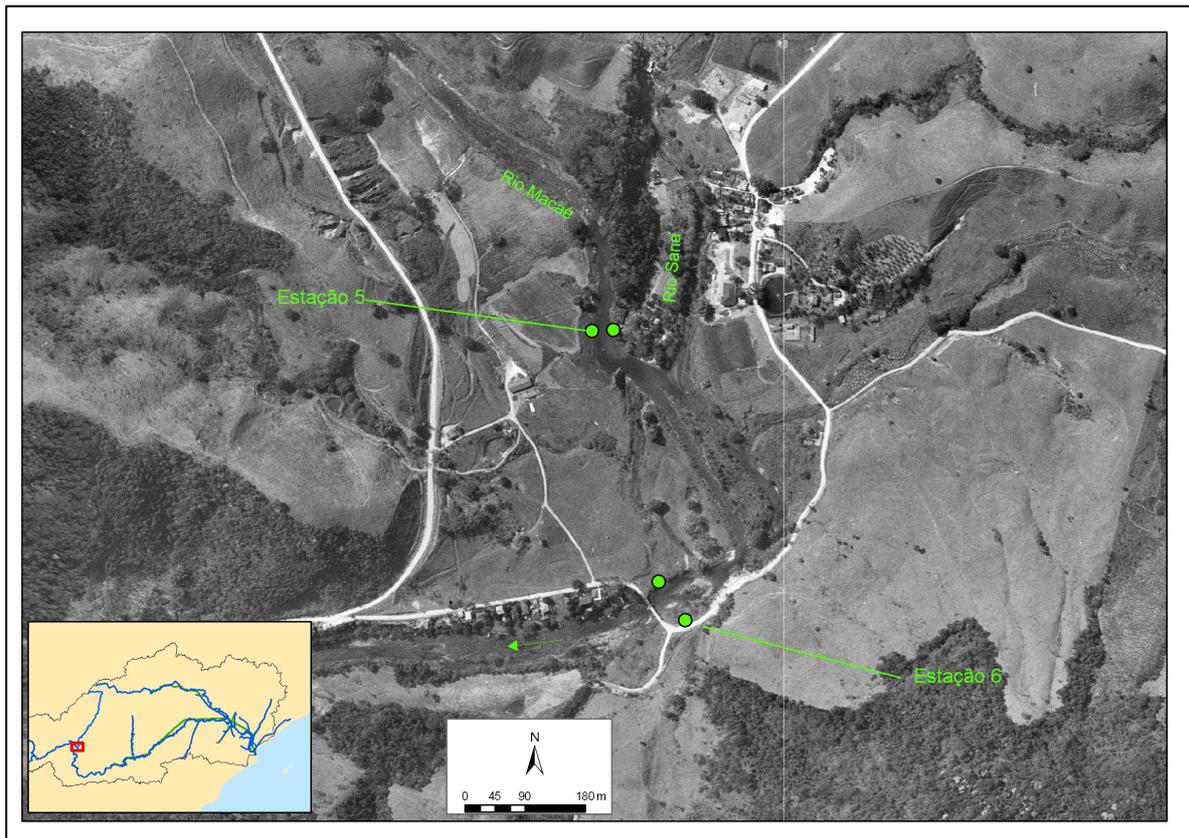


Figura 7.36: Recorte da fotografia aérea (AMPLA) da área de localização das seções 5 e 6 (Antes e após a confluência com o rio Sana).

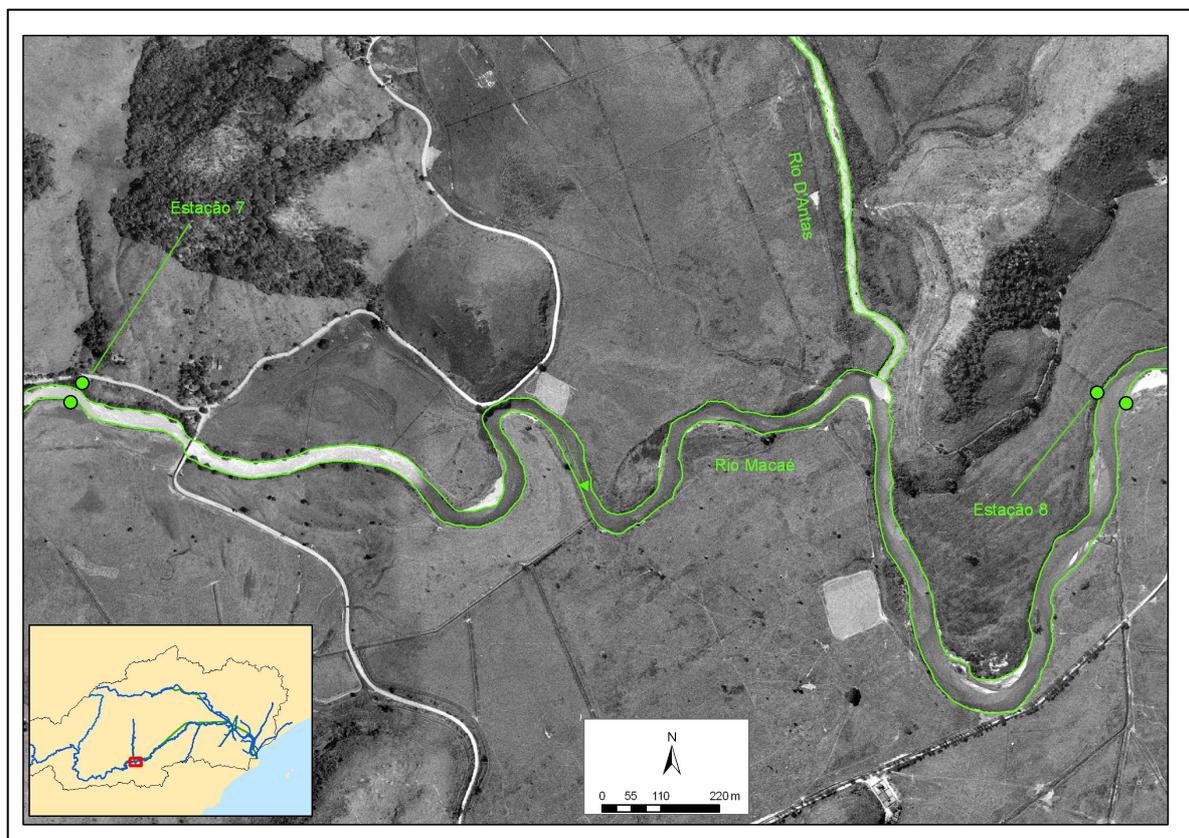


Figura 7.37: Recorte da fotografia aérea (AMPLA) da área de localização das seções 7 e 8 (Antes e após a confluência com o rio D'Antas).

7.2.2 Monitoramento das Seções transversais ao rio Macaé

Com o intuito de compreender a dinâmica dos processos de erosão e deposição no canal do rio Macaé, foi realizado o monitoramento de sua calha através de seções transversais ao rio, além da análise dos sedimentos de fundo em cada uma das estações de monitoramento. Tais parâmetros permitem entender a influência da vazão do canal nas estações sobre a forma da calha, e sobre o tipo de sedimento que está sendo erodido ou depositado no leito do rio Macaé.

Com base nesse monitoramento, serão apresentados neste capítulo os gráficos das seções transversais em cada estação de monitoramento e os gráficos referentes aos percentuais do tipos de sedimento coletados.

A confluência com o rio São Pedro (estações de monitoramento 2 e 3)

O rio São Pedro é o maior afluente do rio Macaé e sua foz encontra-se no baixo curso da bacia, onde o canal principal foi retificado. Seu canal também foi retificado, em um trecho que apresenta cerca de 19 km, como mostra a Tabela 7.1. Os gráficos das seções 2 e 3 apresentam a forma da calha do rio Macaé e os percentuais dos tipos de sedimento de fundo, à montante e à jusante, respectivamente, da sua confluência com o rio São Pedro, retratada na Figura 7.38.

Observando-se os gráficos da seção transversal 2 (Figura 7.39), à montante da confluência, nota-se o período de estiagem no mês de outubro de 2007 e a cheia de março de 2008. Nesse período destaca-se a erosão que ocorre no lado direito do leito, enquanto o lado esquerdo do fundo do canal mantém-se aproximadamente igual. Nos meses subsequentes, é possível observar a continuação da erosão no lado direito do canal e, no mês de março de 2009, um aumento geral na profundidade do rio, que atinge 4,5 metros. Constatou-se,

portanto, maior tendência à erosão neste trecho do canal, principalmente no lado direito e nos períodos em que há aumento da vazão, os dois meses de março.



Figura 7.38: Encontro dos rios Macaé e São Pedro (ambos retificados / Foto: Acervo Lagesolos)

A análise dos gráficos referentes à granulometria dos sedimentos de fundo na estação 2 (Figura 7.40), mostra que a composição do leito varia de areia muito grossa a areia média, sendo composto principalmente de areia grossa. No monitoramento de março de 2009, quando se verifica o aumento da profundidade do leito, percebe-se um aumento da fração areia média na composição do fundo.

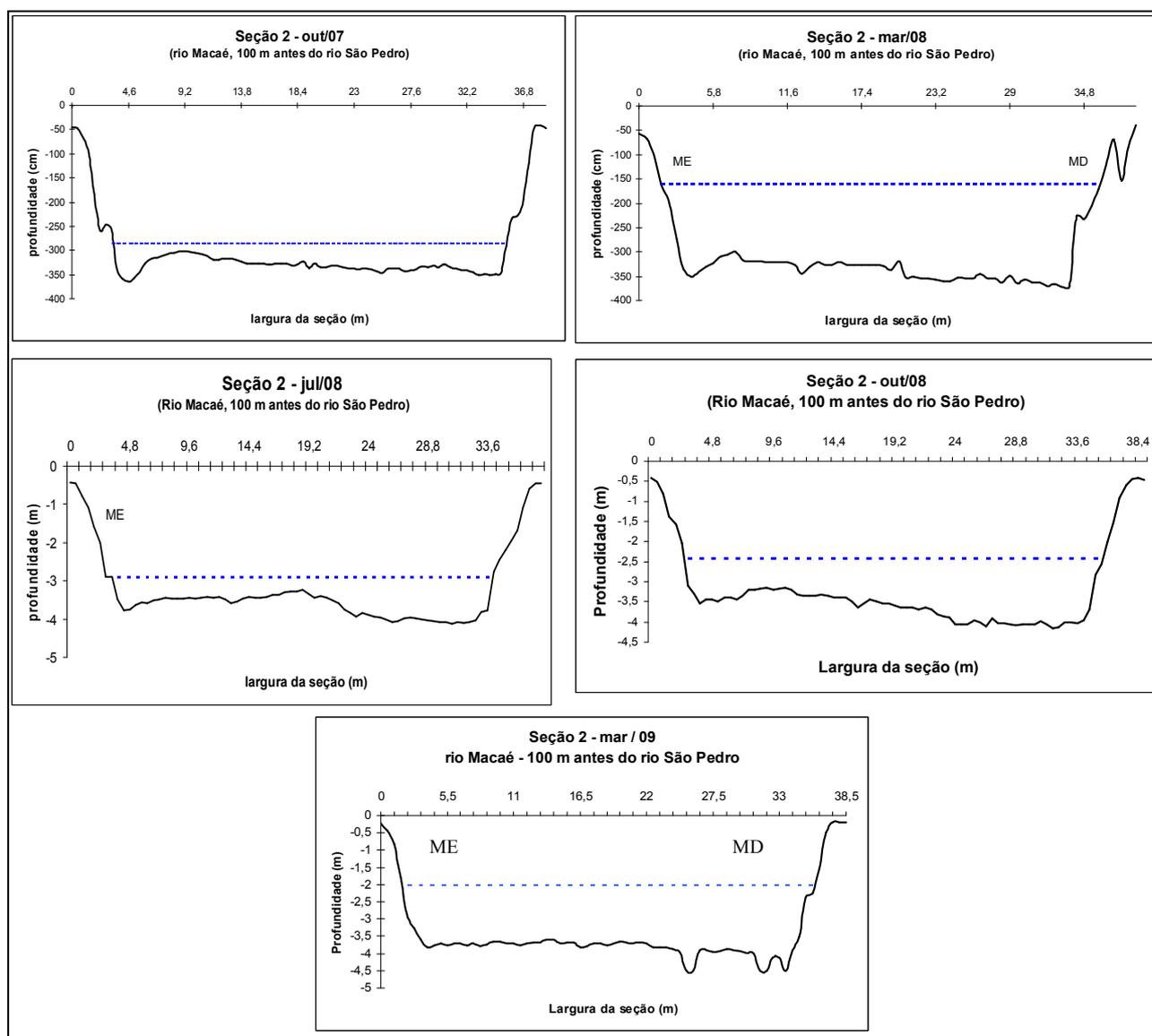


Figura 7.39: Seção transversal n° 2 – 100 m antes da confluência com o Rio São Pedro

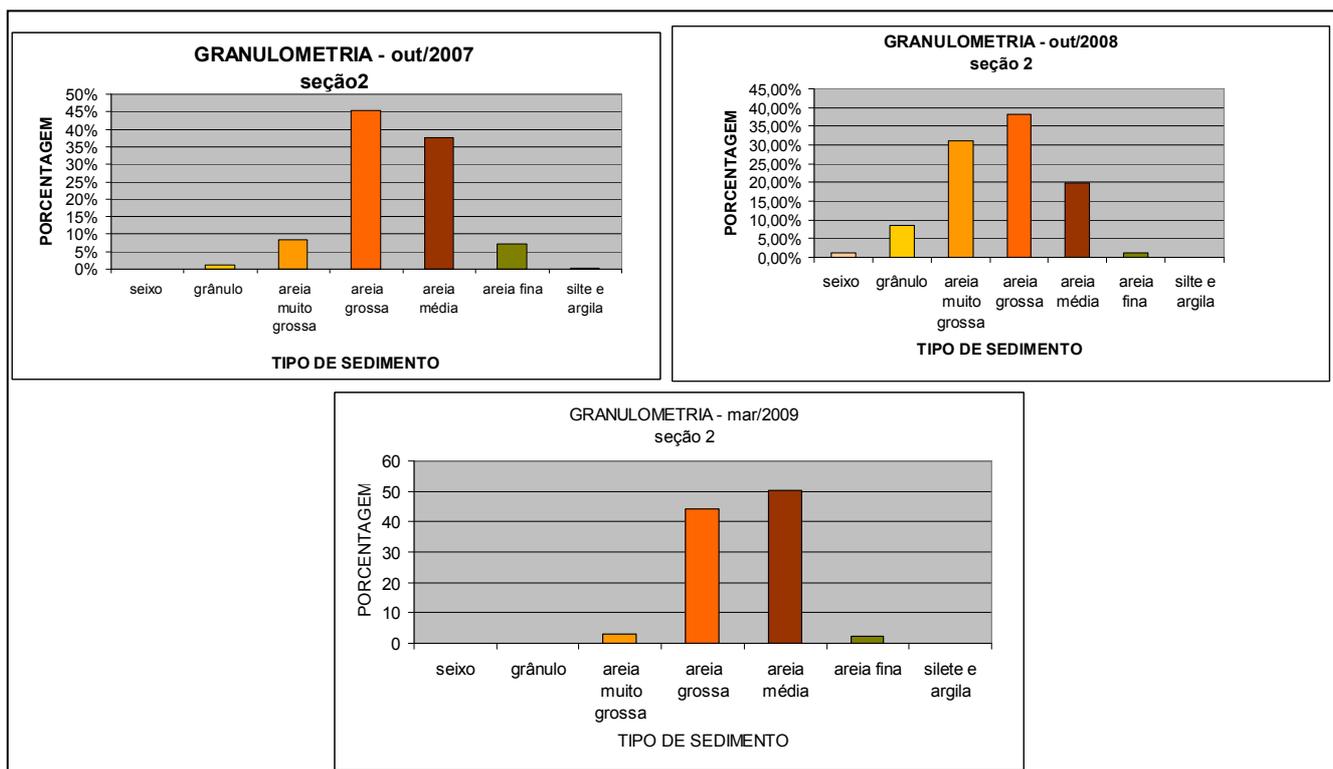


Figura 7.40: Composição granulométrica da seção transversal nº 2 – 100 m antes da confluência com o Rio São Pedro

Os gráficos da seção transversal 3 (Figura 7.42), também em ambiente retificado, evidenciam a influência do canal do rio São Pedro sobre o rio Macaé, já que a seção se encontra à jusante da confluência destes canais. O gráfico referente a outubro de 2007 mostra a baixa vazão do canal, que tem o lado esquerdo menos profundo que o lado direito, com 3,5 metros de profundidade (em relação ao cabo de aço). Em março de 2008, quando foi registrada a vazão máxima do monitoramento neste ponto, percebe-se que houve o aprofundamento de mais de 1,5 metro do leito no lado esquerdo da calha, justamente, o lado do qual provém o fluxo do rio São Pedro. Nesse período, o lado direito do canal também foi erodido, porém com menor intensidade, aprofundando um metro. Em julho daquele mesmo ano, época mais seca, o leito do canal volta a sofrer deposição e a profundidade chega a 3 metros no lado direito e 4 metros no lado esquerdo, havendo deposição de cerca de 1,5 metro de sedimentos na calha. Nota-se que a diferença entre os dois lados da calha do rio se mantém, porém, após o período seco, o lado esquerdo volta a ser mais raso que o direito (Figura 7.42), mostrando a deposição de sedimentos provenientes do rio São Pedro. Em

março de 2009, com o aumento da quantidade de chuvas, o fundo do leito volta a ser erodido, com maior intensidade no lado esquerdo do canal.

Portanto, percebe-se que o rio São Pedro exerce uma influência muito grande na forma da calha do rio Macaé na estação de monitoramento 3. Nos períodos secos, ocorre deposição de sedimentos na parte esquerda do canal, onde está a confluência do rio São Pedro. E nos períodos de cheia, essa parte do leito é mais erodida que o lado direito, o que demonstra maior velocidade de fluxo do rio São Pedro nestas épocas. Infere-se que, nas vazantes, o rio São Pedro não possui competência suficiente para o transporte de sedimentos, que ficam acumulados no seu lado. Enquanto, nas cheias, sua contribuição para o aumento da velocidade das águas do rio Macaé é maior, erodindo o fundo. Tal fato é corroborado pelo gráfico da vazão (Gráfico 7.1) e pela comparação entre as seções 2 e 3, situadas respectivamente à montante e à jusante da confluência com o rio São Pedro.

Friedenreich e Pinheiro (2002), em pesquisa realizada no rio Itajaí, demonstraram que a amplitude entre a vazão máxima e a vazão mínima aumentou no trecho retificado e alargado do rio em questão. Nesse sentido, acredita-se que a amplitude entre a vazão máxima e mínima do rio São Pedro também tenha sido elevada devido à sua retificação, o que se reflete no comportamento da calha do rio Macaé, na estação 3. Com a remoção das barreiras e dos meandros, e o aumento do gradiente, a velocidade do fluxo aumenta no trecho retificado, escoando rapidamente para a foz, quando o volume de água é grande. Porém, à medida que o volume de águas diminui, a velocidade é reduzida intensamente, causando deposição de sedimentos.

Ao observarmos os gráficos correspondentes à granulometria do sedimento de fundo nesta seção (Figura 7.43), percebe-se que sua composição varia de seixo a areia fina, sendo que há predominância da fração areia grossa no canal. É interessante o fato de que a fração mais fina (areia média e fina) não aparece nos gráficos de março e julho de 2008. É provável que esta fração tenha sido retirada com o aumento da vazão em março de 2008, voltando a

compor o fundo do leito após a estação seca, quando a capacidade diminui. Nota-se também que, nos meses em que se observa a erosão do canal, as frações areia média e fina diminuem, já que, quanto maior a velocidade do fluxo, maior a granulometria dos sedimentos depositados (Schumm, 1977; Christofolletti, 1990; Summerfield, 1991).

De acordo com Summerfield (1991), o aumento da vazão em canais onde a granulometria do sedimento é fina, provoca o aumento da profundidade; porém se o sedimento do leito e margens for grosseiro, o aumento da vazão leva ao aumento da largura do canal, havendo erosão das margens. O aumento da vazão nos rios Macaé e São Pedro, pode, portanto, ocasionar a erosão das margens, uma vez que a composição do leito é basicamente de areia grossa, muito grossa e média. Essa erosão pode ser comprovada através da perda do ponto de monitoramento nº 1, estabelecido 100 metros após o rio São Pedro no trecho retificado, onde houve erosão da margem, agravada também pela ausência de mata ciliar, como mostra a Figura 7.41.



Figura.7.41: Ausência de mata ciliar na seção 1, em outubro de 2007. (Fonte: Acervo Lagesolos)

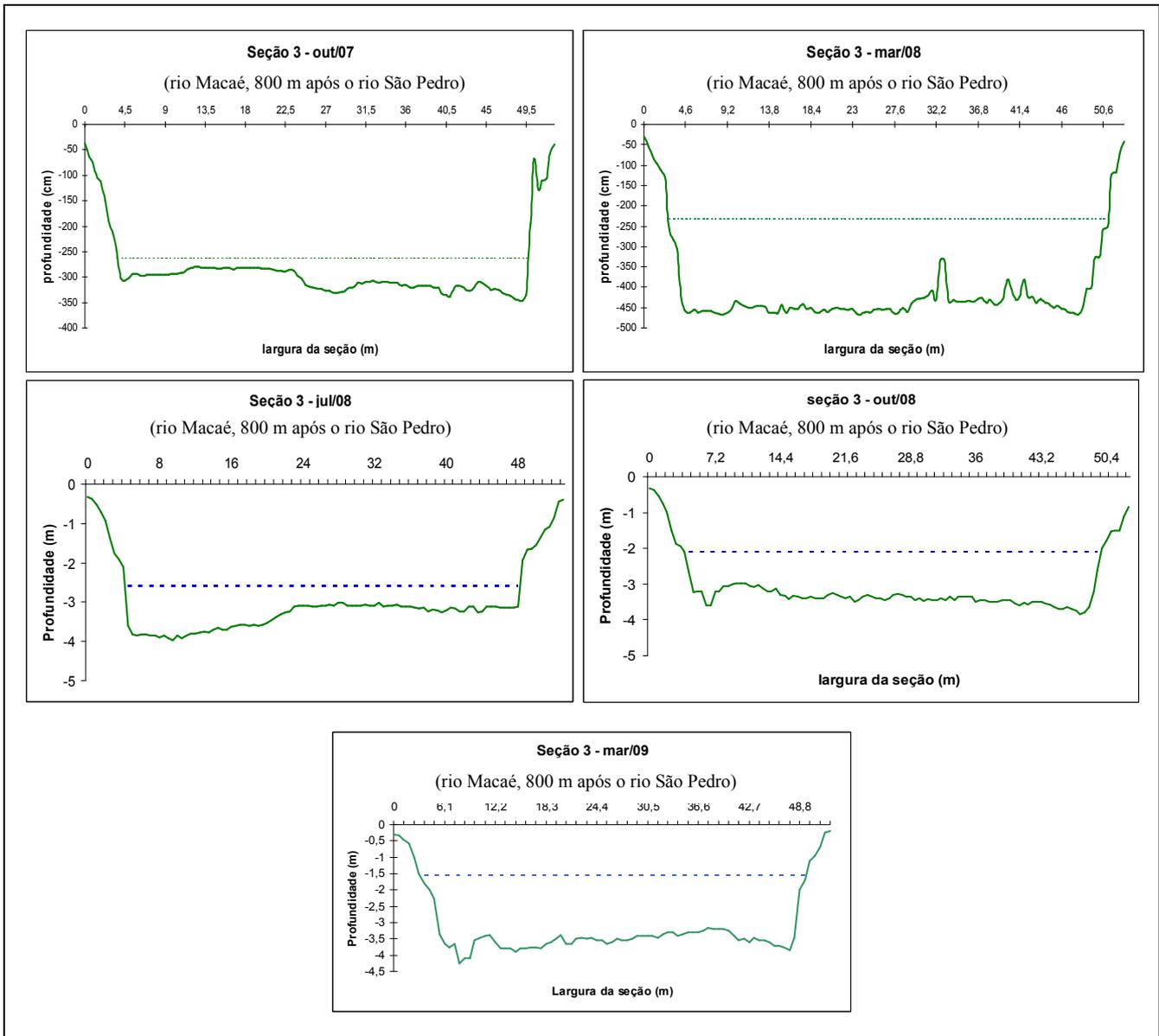


Figura.7.42: Seção transversal n° 3 – 800 m após a confluência com o Rio São Pedro

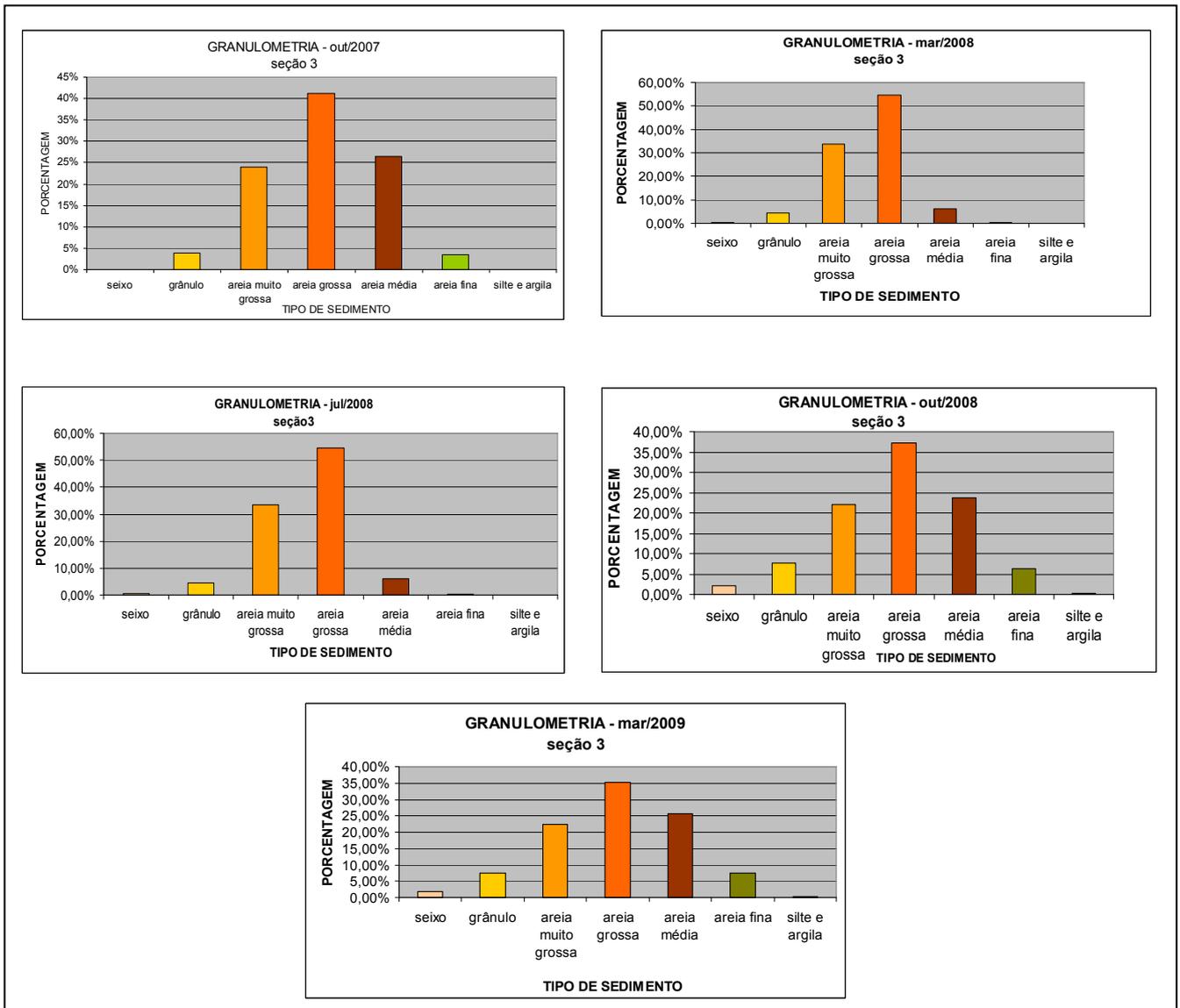


Figura 7.43: Composição granulométrica da seção transversal nº 3 – 800 m após a confluência com o Rio São

Pedro

A confluência com o rio D'Antas (estações de monitoramento 7 e 8)

O rio D'Antas é um afluente pela margem esquerda do rio Macaé cuja desembocadura se encontra pouco acima do trecho retificado deste, no baixo curso da bacia. Seu canal também foi retificado, em um trecho que apresenta cerca de 900 metros, como mostra a Tabela 7.1. Os gráficos das seções 7 e 8 (Figuras 7.44; 7.45; 7.47 e 7.48) apresentam a forma da calha do rio Macaé e os percentuais dos tipos de sedimento de fundo, à montante e à jusante, respectivamente, da sua confluência com o rio D'Antas.

Nos gráficos da seção transversal 7 (Figura 7.44), podemos observar que não houve grandes alterações na forma da calha durante o tempo de monitoramento. Nota-se que o lado esquerdo é ligeiramente mais profundo que o lado direito do rio, o que é explicado pela maior velocidade do fluxo na lateral esquerda, uma vez que a seção foi instalada em uma curva do rio para a direita, como mostra a Figura 7.37.

Nesse sentido, há uma tendência à erosão na margem esquerda e deposição no lado oposto. Porém esta tendência não é possível de ser visualizada no monitoramento, pois ela ocorre de forma muito lenta, devido à presença de limite natural à erosão do canal: a vertente do vale, provavelmente composta por material mais resistente. É possível ver essa erosão apenas em uma escala de tempo maior, como mostra a Figura 7.46.

Ainda observando as seções transversais nesta estação de monitoramento, pode-se perceber que houve uma pequena erosão do fundo do canal no período chuvoso, verão de 2009. Com o aumento da vazão, o rio atingiu uma profundidade de mais de 5 metros (em relação ao cabo de aço) no talvegue (Figura 7.44)

Observando-se os gráficos relativos à granulometria do leito nesta seção (Figura 7.45), pode-se perceber que há uma predominância das frações grosseiras, com destaque para areia grossa e areia muito grossa, além da presença de muitos grânulos e seixos. Tais características

refletem uma elevada velocidade do fluxo das águas, que carrearão o sedimento mais fino, deixando no leito os mais grosseiros.

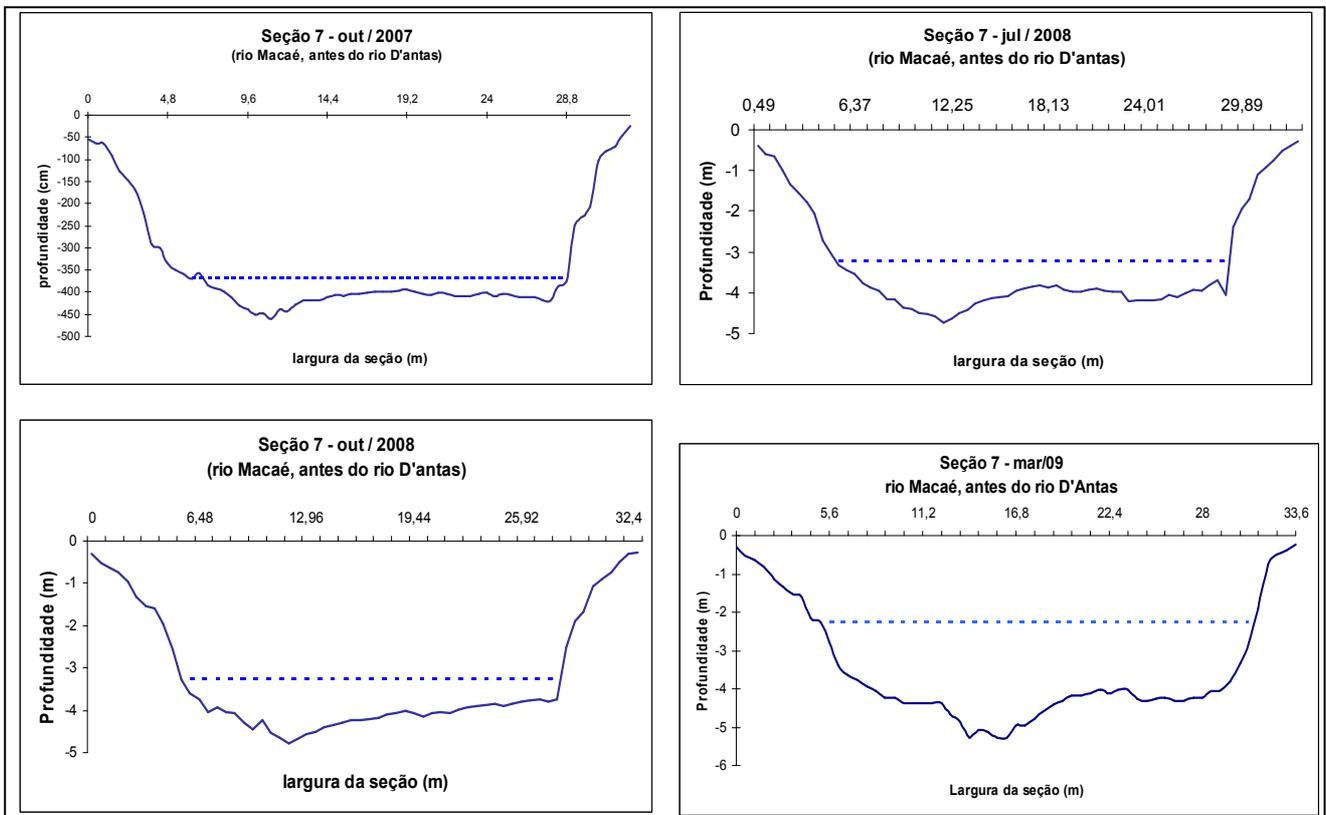


Figura 7.44: Seção transversal nº 7 – antes da confluência com o Rio D’Antas.

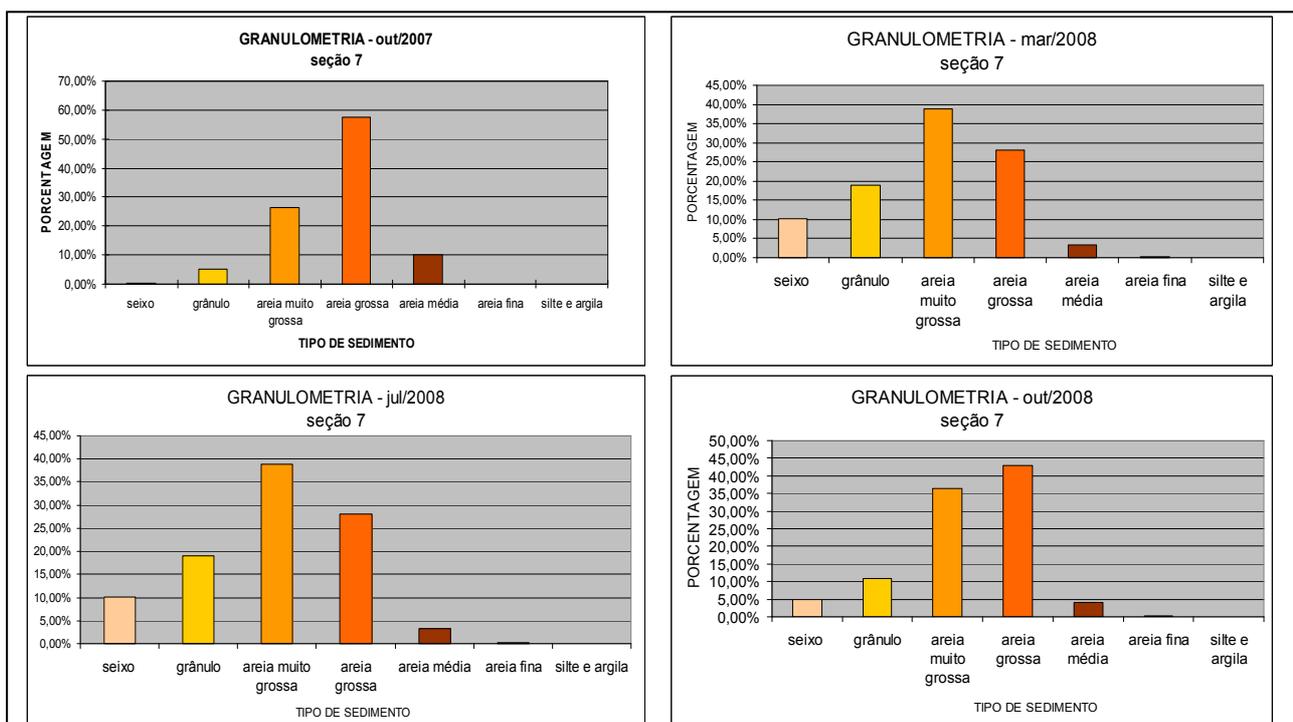


Figura 7.45: Composição granulométrica da seção transversal nº 7 – antes da confluência com o Rio D’Antas

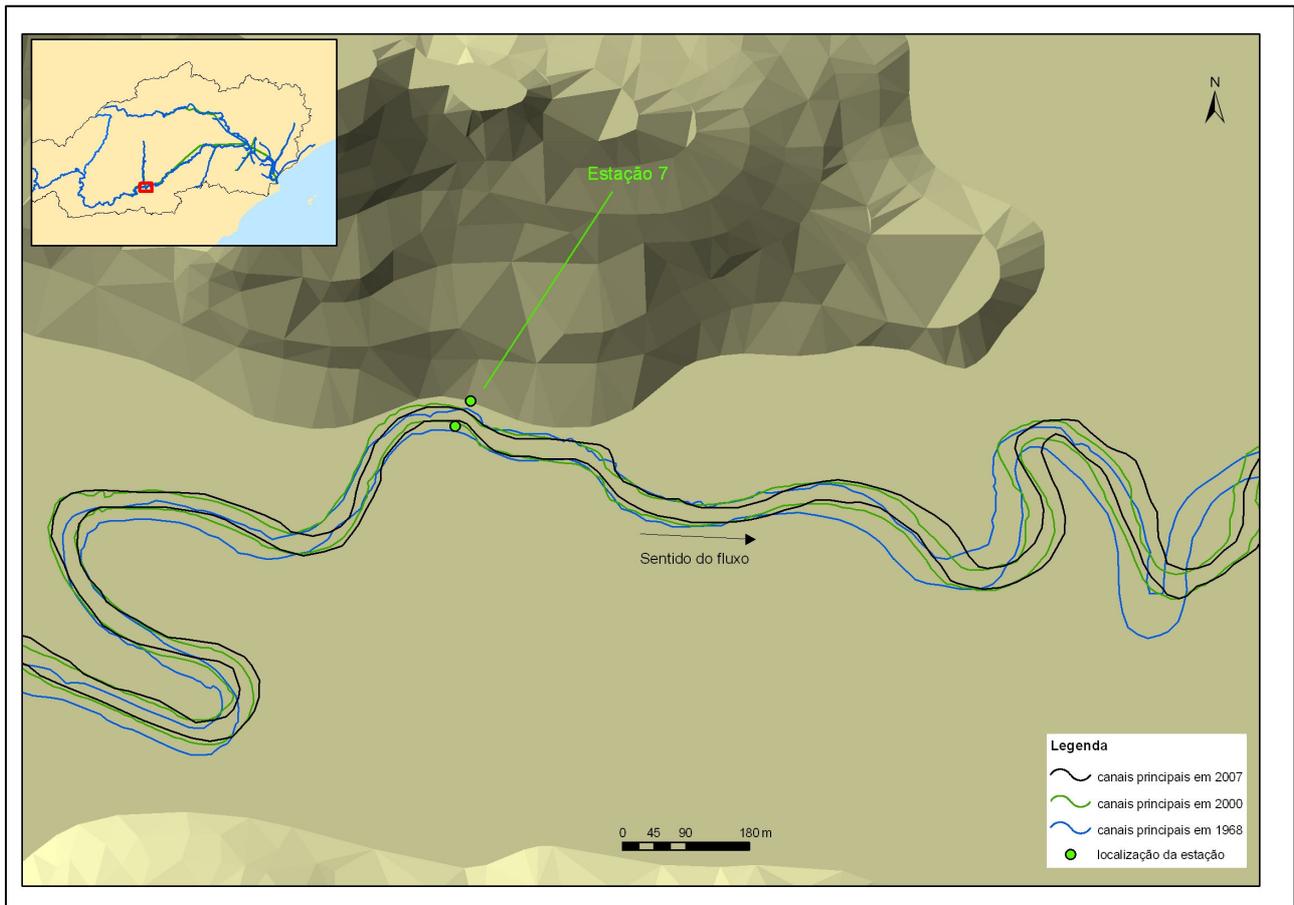


Figura.7.46: Migração do canal do rio Macaé nas proximidades da estação 7.

Na seção transversal 8 (Figura 7.47), é interessante observar que houve uma intensa erosão do canal em seu lado esquerdo entre outubro de 2007 e março de 2008. No primeiro gráfico nota-se que a profundidade, em relação ao cabo de aço, é de cerca de 3,5 metros e a lâmina d'água é de 50 cm, decorrente da baixa vazão proporcionada pela estação seca, o que também acarreta na deposição de sedimentos. Em março de 2008, a elevação do volume de águas no canal do rio Macaé levou a um aumento da velocidade do fluxo e, conseqüentemente à erosão do fundo, no lado côncavo da seção, o lado esquerdo (ver Figura 7.47), aprofundando o canal em cerca de 1,5 metros. Devido a esse aumento da vazão, houve, também, erosão da margem côncava do rio neste trecho (Figura 7.49). Nos meses subseqüentes, após a alta da vazão, percebe-se que a diferença entre o lado direito e o

esquerdo continua, sendo que se reduz progressivamente até que, em março de 2009, após a volta da estação chuvosa, ocorre erosão no lado direito do canal, a margem convexa. Vale destacar que a vazão registrada neste mês foi maior do que a registrada no verão anterior (ver Tabela 7.2) para esta estação de monitoramento, o que explica a altura da lâmina d'água (1,7 m em relação ao cabo de aço) e a ocorrência da erosão também na margem convexa, onde deveria haver deposição.

Novamente, observa-se uma elevada amplitude entre a vazão máxima e a vazão mínima, como foi registrada na confluência com o rio São Pedro. Apesar de não haver trecho do rio Macaé retificado à montante deste ponto, é importante lembrar que o canal do rio D'Antas, cuja foz se encontra pouco antes, também foi retificado. Nesse sentido, destacamos a influência da retificação desse canal sobre a amplitude entre as vazões máximas e mínimas registradas pelo monitoramento no canal principal. É provável que, nas estações secas, a aceleração do fluxo dada pela retificação não seja suficiente para aumentar a vazão e provoque deposição. Porém, em eventos chuvosos mais acentuados, o volume das águas elevado, somado à velocidade maior em trechos retificados, leva a um aumento maior na vazão que, conseqüentemente, provoca erosão.

Observando-se os gráficos referentes à granulometria dos sedimentos de fundo desta estação de monitoramento (Figura 7.48), percebe-se que, na composição do leito, predominam areia grossa e muito grossa, havendo também um pouco de grânulos e areia média. Acredita-se que essa composição grosseira do fundo se deva às elevadas taxas de erosão dos solos existentes na bacia do rio D'Antas e também do rio Macaé.

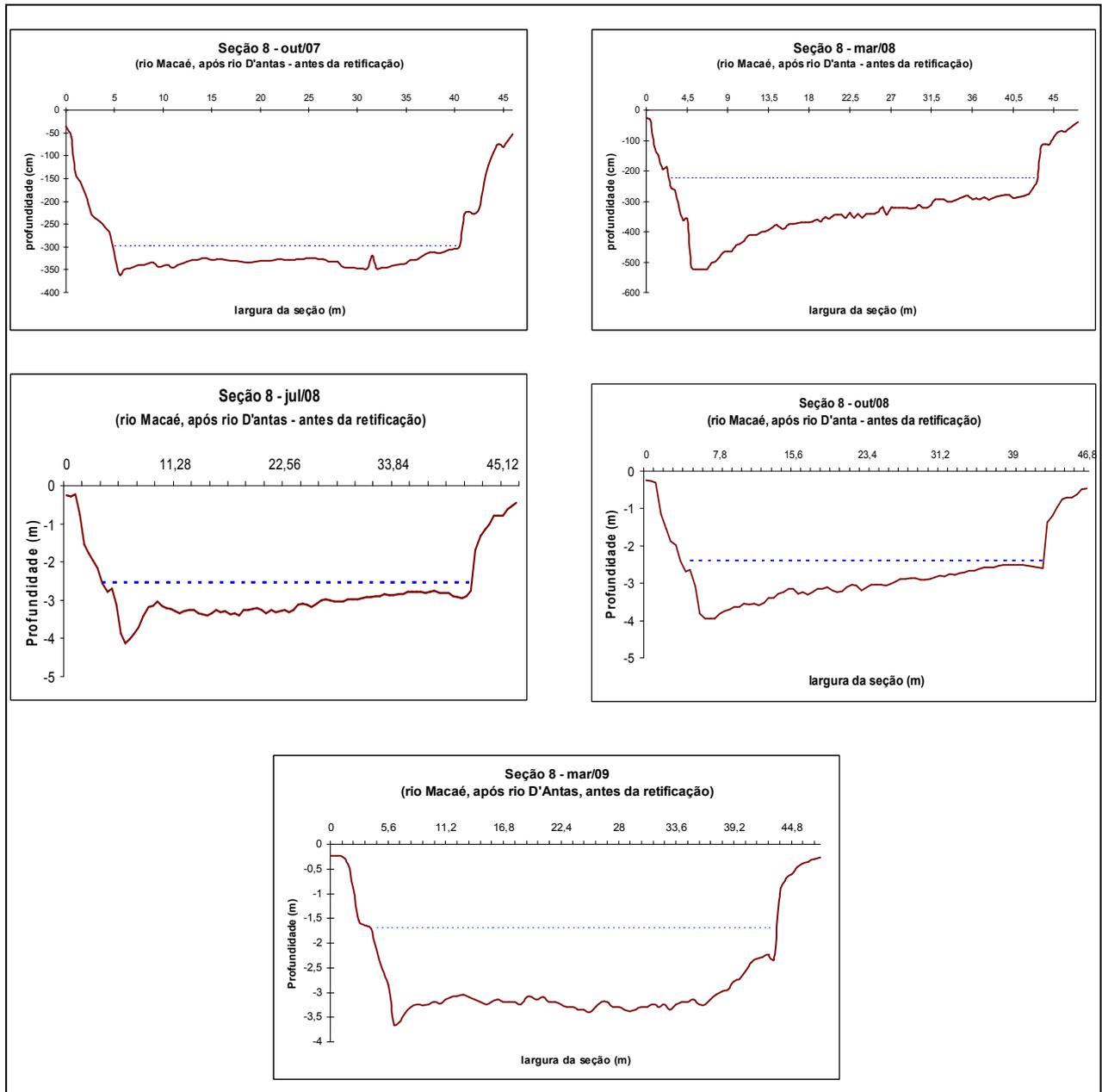


Figura 7.47: Seção transversal nº 8 – após a confluência com o rio D'Antas

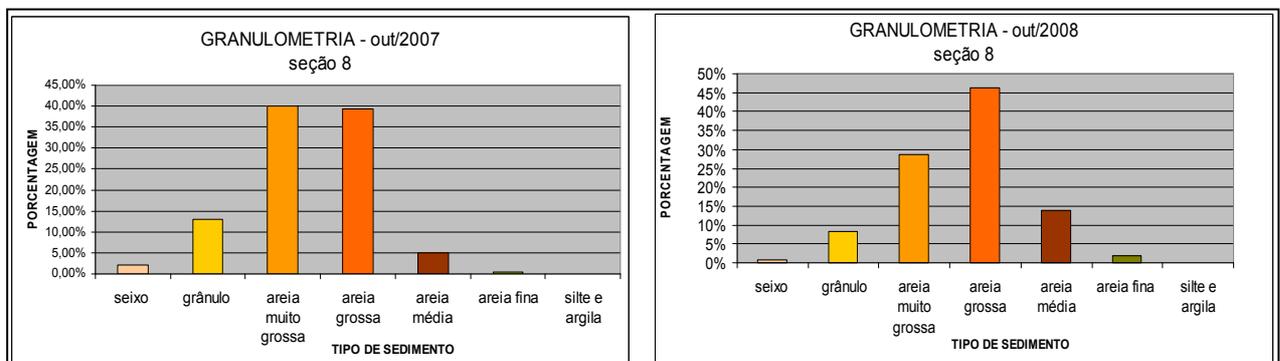


Figura.7.48: Composição granulométrica da seção transversal nº 8 – após a confluência com o rio D'Antas



Figura.7.49: Erosão da margem esquerda e deposição na margem direita do rio Macaé, à jusante da estação 8, antes do trecho retificado. (Fonte: Acervo Lagesolos)

A confluência com o rio Sana (estações de monitoramento 5 e 6)

O rio Sana é um afluente pela margem esquerda do rio Macaé, no médio curso da bacia, e representa uma das sub-bacias com maior amplitude altimétrica na bacia do rio Macaé, estando em área de serras escarpadas, como mostra a Figura 6.2. Os gráficos das seções 5 e 6 (Figuras 7.51; 7.52; 7.53; 7.54) apresentam a forma da calha do rio Macaé e os percentuais dos tipos de sedimento de fundo, à montante e à jusante, respectivamente, da sua confluência com o rio Sana.

Os gráficos referentes à seção transversal 5 (Figura 7.51) mostram que o nível das águas não variou tanto nesse trecho quanto variou no trecho retificado do canal. A lâmina d'água variou menos de um metro e a área da seção molhada também não apresentou muitas variações.

No mês de julho de 2008, o fundo do leito apresentou um período de deposição no lado esquerdo da calha, já que a seção foi instalada pouco antes de uma curva do rio cuja convexidade está na margem esquerda, como mostra a Figura 7.50. Porém, de forma geral apresentou uma tendência à erosão, já que no mês de março de 2009, houve um aumento da profundidade, ultrapassando a faixa de 5 metros em relação ao cabo de aço (Figura 7.51).

Destaca-se, nessa estação de monitoramento, a presença da fração mais grosseira na composição do leito, como mostram os gráficos da Figura 7.52. Pode-se perceber que há uma predominância de areia muito grossa, além da ocorrência maior de grânulos que a observada nas estações localizadas no baixo curso. Além disso, nota-se uma menor seleção na carga sedimentar, uma vez que há sedimentos de todas as frações granulométricas, inclusive de silte e argila, que quase não aparecem nos gráficos das outras estações.



Figura7.50: Foto da área da estação 5 (Fonte: Acervo Lagesolos)

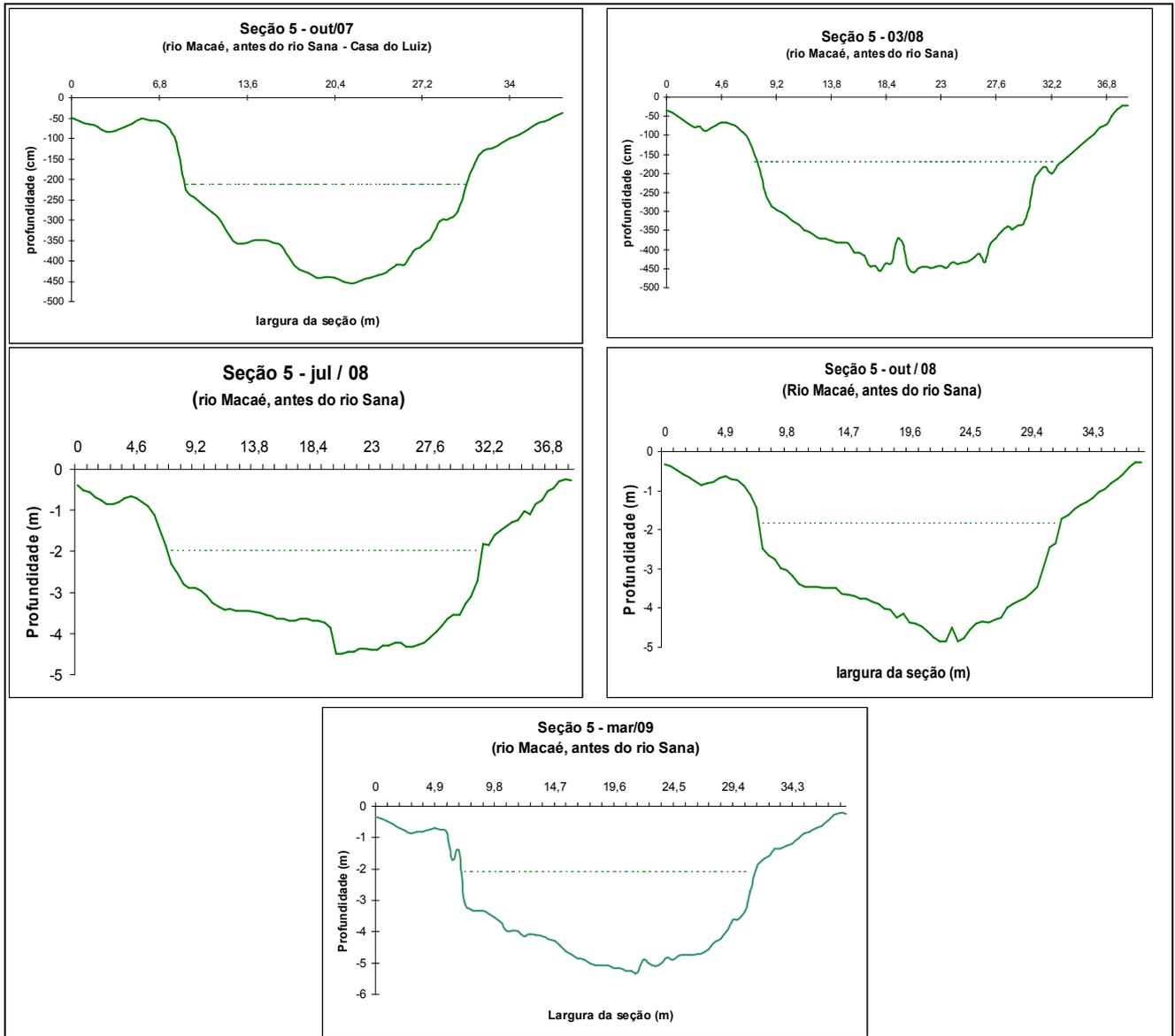


Figura.7.51: Seção transversal nº 5 – antes da confluência com o rio Sana.

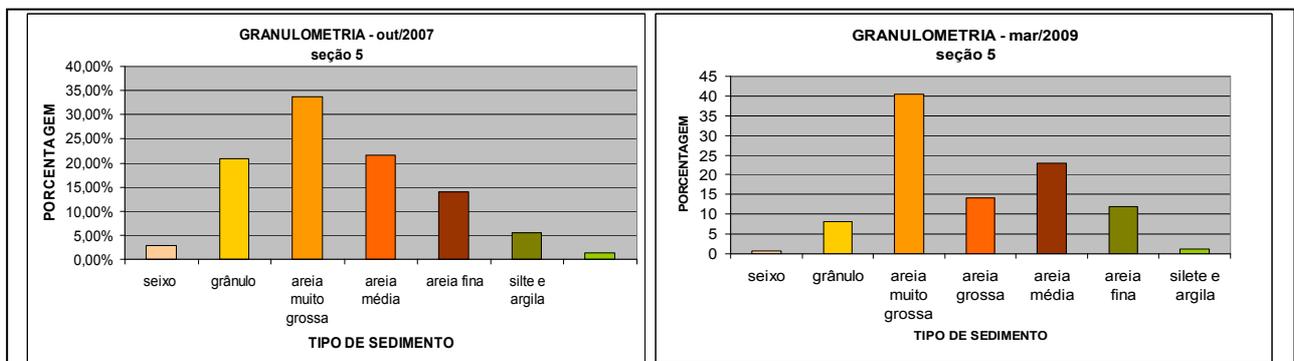


Figura.7.52: Composição granulométrica da seção transversal nº 5 – antes da confluência com o Rio Sana

Nos gráficos da seção transversal 6 (Figura 7.53), observa-se que não houve uma variação significativa da forma da calha. É possível apenas notar a variação da lâmina d'água, que de julho de 2008 a março de 2009 elevou-se cerca de 1 metro. Como mostra Figura 7.36, esta estação encontra-se após uma ilha composta por blocos, seixos e uma grande variedade granulométrica, que pode ser observada nos gráficos da Figura 7.54. Tal característica se deve, provavelmente, às elevadas amplitudes altimétricas encontradas na sub-bacia do rio Sana, que proporcionam o desmoronamento de blocos, posteriormente carregados pelo canal, em períodos de alta pluviosidade, até a confluência com o rio Macaé, onde são depositados. Nota-se, além da grande variabilidade granulométrica, a presença de areia muito grossa, grânulos e seixos na composição do fundo.

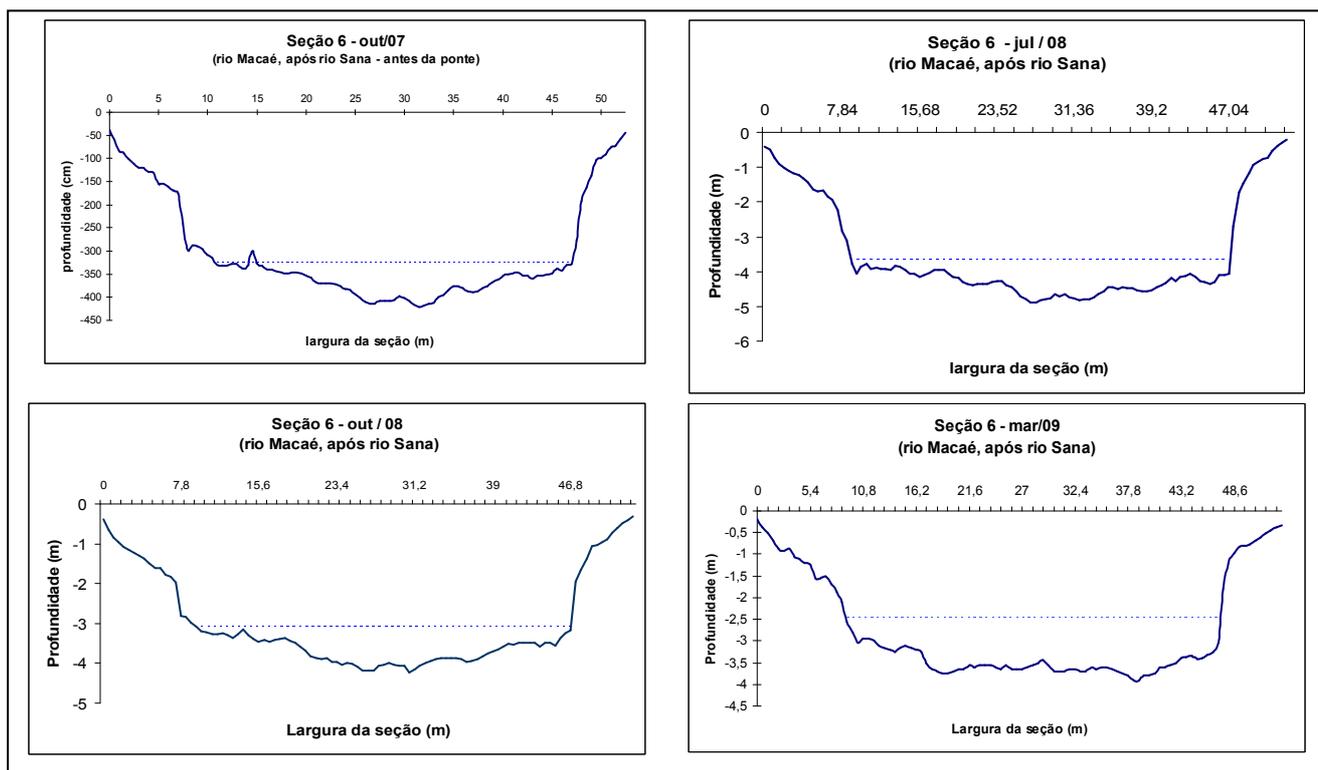


Figura.7.53: Seção transversal n° 6 – após a confluência com o rio Sana

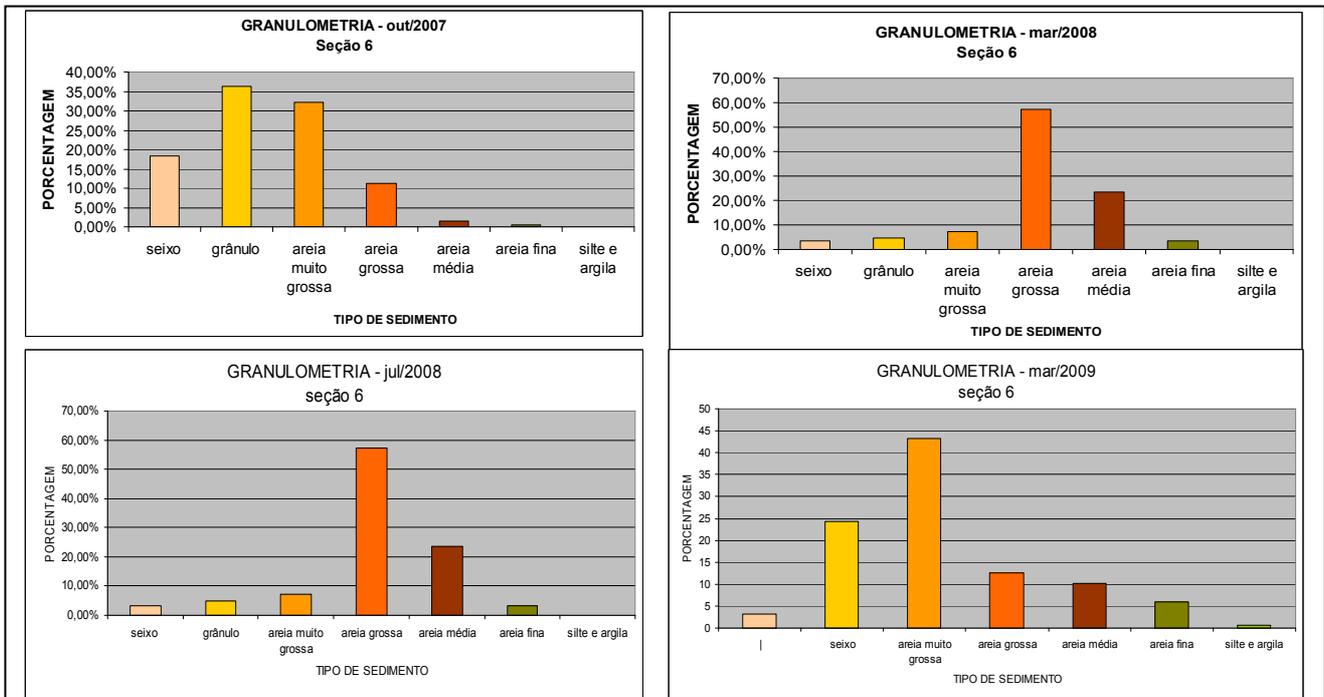


Figura 7.54: Composição Granulométrica da seção transversal nº 6 – após a confluência com o rio Sana.

7.3 A interferência das obras de retificação na dinâmica da bacia

As obras de retificação na bacia do rio Macaé foram realizadas pelo extinto DNOS com o intuito de evitar a ocorrência de enchentes nas planícies de inundação dos rios e a proliferação de doenças, como a malária, transmitidas por mosquitos, que se reproduzem em ambientes úmidos e alagadiços, como era o baixo curso da bacia em estudo antes das intervenções. A retificação dos canais provocaria o escoamento mais rápido das águas para os trechos mais à jusante e evitaria o alagamento da planície nos trechos retificados. Esse fenômeno efetivamente ocorre, atualmente, porém, tem como efeito adverso a transferência das enchentes para as áreas mais próximas à cidade de Macaé, como a ocorrida em 2005, causando perdas materiais à população que vive nas áreas mais baixas da cidade.

Portanto, apesar de serem evitadas as enchentes nas áreas onde os canais foram modificados, permitindo a manutenção das culturas agrícolas e das pastagens, as águas dos fenômenos chuvosos mais intensos escoam rapidamente para o nível de base da bacia, o mar. É, então, na foz que a água se acumula, devido ao encontro com as águas do mar, ocasionando as enchentes.

O mesmo fenômeno ocorre, em menor escala, nas desembocaduras dos rios São Pedro e D'Antas, também retificados, sobre o rio Macaé. Como se pôde observar com a caracterização hidrossedimentológica do rio Macaé, o nível das águas, nos períodos de maiores índices pluviométricos (fim de verão), sobe significativamente nas estações de monitoramento localizadas à jusante das desembocaduras destes canais. Já nos períodos mais secos, pôde-se perceber que são registrados níveis bem mais baixos da lâmina d'água, nessas estações. Ou seja, observou-se que, entre as vazões máximas e mínimas registradas para cada estação, há uma amplitude maior nas estações localizadas à jusante dessas confluências do que nas outras estações de monitoramento, nas quais a amplitude não é tão grande.

Nesse sentido, vale ressaltar que a retificação dos canais supracitados pode ser responsável pelo aumento da erosão do leito do rio Macaé registrados nas estações 3 e 8, em períodos de elevação da vazão, proporcionados pelas chuvas. Por outro lado, é também nos trechos retificados dos canais que foi observada a maior deposição de sedimentos em períodos secos.

A partir do mapeamento das feições fluviais foi possível perceber que um menor número de feições, como *point bars* e ilhas fluviais é encontrado nos canais, atualmente. Desta forma, é possível que os sedimentos arenosos que, no passado, eram depositados nas margens convexas, atualmente sejam depositados no fundo dos canais, o que foi constatado através do tipo arenoso de sedimentos encontrados no fundo do rio Macaé.

No entanto, constatou-se que algumas feições deposicionais são encontradas no rio Macaé e São Pedro. Estas feições se estabeleceram nas desembocaduras de pequenos canais retificados e após as curvas que separam trechos retilíneos dos rios. Tal ocorrência se deve, provavelmente, à diminuição da velocidade do fluxo dada pela mudança de direção do mesmo, ocasionando a perda de energia, que se torna insuficiente para carrear os sedimentos maiores, havendo, portanto, deposição.

Observou-se que os talwegues dos rios Macaé e São Pedro são sinuosos, demonstrando um reajuste do canal ao fluxo helicoidal da água e às condições do ambiente. A composição basicamente arenosa dos canais torna mais lenta a migração dos meandros, uma vez que, segundo Christofolletti (1990), a sinuosidade diminui conforme aumenta a granulometria dos sedimentos e a quantidade da carga detrítica.

Constatou-se que a retificação do rio D'Antas provocou diversos impactos sobre a forma do rio Macaé nas proximidades da confluência desses canais. Houve uma progradação intensa da praia fluvial encontrada no rio Macaé à jusante dessa confluência e, conseqüentemente, a migração do canal do rio Macaé, provocado pelo aumento da carga de sedimentos despejada, no rio principal, pelo afluente. Ademais, observou-se uma intensa

deposição de sedimentos na desembocadura do rio D'Antas, que, em apenas sete anos, mudou a forma do rio Macaé nesse trecho. É provável que este fenômeno tenha ocorrido devido à recente modificação do canal, com a contribuição de um inadequado manejo do solo na região.

Nesse sentido, é importante ressaltar que o uso do solo na região pode ser responsável por grande parte da quantidade de carga arenosa encontrada nos canais, uma vez que a ausência completa de mata ciliar em todo o trecho retificado contribui para a erosão das margens, bem como permite o fluxo de sedimentos erodidos das vertentes desmatadas para o canal.

Foi possível perceber que, durante o período de monitoramento, houve erosão da margem do rio Macaé, após a confluência com o rio São Pedro, constatada através da remoção da margem onde se encontrava a estação de monitoramento 1. Tal erosão talvez não ocorresse se houvesse mata ciliar e se o canal do rio São Pedro não fosse retilíneo, uma vez que a forma retilínea do canal é responsável pelo aumento da vazão em períodos chuvosos e, conseqüentemente, pela erosão.

8. CONCLUSÃO

Com base nos dados apresentados e nas análises desenvolvidas no trabalho, algumas conclusões podem ser aqui apresentadas:

A partir dos métodos aqui utilizados, foi possível perceber que as obras de retificação influenciaram nas alterações ocorridas no sistema fluvial da bacia do rio Macaé. De forma geral, observou-se que as modificações realizadas na forma em planta dos canais fluviais em estudo proporcionaram mudanças nas feições morfológicas encontradas nos mesmos e podem, também, haver influenciado nas mudanças sobre as características hidrossedimentológicas do rio Macaé, uma vez que as formas estão intimamente associadas às características do fluxo e da carga sedimentar do canal.

Apesar de não ter sido possível adquirir e analisar dados hidrossedimentológicos do período anterior às intervenções do DNOS na bacia pesquisada, pôde-se perceber que as características dos parâmetros vazão, granulometria e forma da seção fluvial do rio Macaé revelam semelhanças às alterações provocadas por retificação de canais em outras regiões do mundo. Tal percepção indica a contribuição do processo de retificação sobre as características hidrossedimentológicas encontradas e sobre os problemas ambientais relacionados.

Nesse sentido, com o intuito de evitar a continuidade de enchentes e assoreamento dos canais estudados, é importante ressaltar que não devem ser feitas novas modificações diretas sobre a calha dos rios sem a orientação de especialistas, que envolvem geógrafos, biólogos e engenheiros. A cada ação direta sobre os rios em questão, modificando o curso dos mesmos, um novo período de ajuste do canal se inicia, com alterações à montante e à jusante da intervenção.

Apesar de haver uma tendência natural dos rios no sentido de se ajustarem às condições ambientais impostas pela ação humana, estudos ainda devem ser realizados para

buscar a renaturalização dos canais retificados na bacia, no intuito de acelerar esse processo, reduzindo milhares de anos a alguns anos ou décadas, uma vez que seria conveniente reduzir ou eliminar a ocorrência de enchentes o quanto antes na cidade de Macaé e seus arredores.

Como proposta para conter o assoreamento dos canais dos rios Macaé, São Pedro e outros afluentes, recomenda-se, inicialmente, a recomposição da mata ciliar, que conteria a erosão das margens e o aporte de sedimentos das vertentes para o canal, conjugada com o adequado manejo do solo pelos proprietários de terras em toda a bacia e, principalmente, às margens dos referidos canais. Além disso, é importante que se realize um planejamento ambiental na bacia do rio Macaé, com a participação das diferentes esferas de governo, uma vez que com ações integradas dos diferentes municípios abarcados pela bacia e do Governo do Estado do Rio de Janeiro, seria possível um zoneamento da bacia, priorizando áreas para uso agrícola, pastoril, industrial e urbano, e outras para a preservação e o turismo sustentável. Neste sentido, seria importante a participação do Comitê da Bacia do rio Macaé, como fomentador, articulador e, principalmente, orientador do planejamento ambiental na região, através da Agência de Bacia, viabilizando uma gestão com base em pesquisas científicas com resultados efetivos.

O presente trabalho demonstra a importância da abordagem geomorfológica na realização de pesquisas que analisem os problemas ambientais de forma sistêmica, principalmente em estudos relativos a processos fluviais, e contribui para o entendimento dos efeitos de obras de engenharia realizadas sem esta perspectiva sobre sistemas fluviais. As obras realizadas sob uma perspectiva imediatista, sem considerar a escala de tempo geomorfológica, requerem constante e onerosa manutenção, já que desencadeiam efeitos não previstos sobre a bacia hidrográfica.

A comparação das características hidrossedimentológicas obtidas por meio do monitoramento atual do rio Macaé com as características encontradas antes do processo de

retificação haveria sido de grande valia para a análise elaborada. No entanto, não há dados disponíveis daquela época que permitam este confronto. Nesse sentido, destaca-se a importância da pesquisa aqui realizada como contribuição à realização de diagnósticos futuros.

Muitos estudos ainda devem ser realizados na bacia do rio Macaé para que se possa compreender melhor os efeitos da retificação dos canais sobre a hidrodinâmica dos mesmos, a partir da mensuração de outros parâmetros que possam complementar esta pesquisa. Contudo, esta dissertação proporcionou a visualização das alterações realizadas sobre a forma dos canais fluviais pela retificação, bem como a identificação dos possíveis impactos sobre as características hidrossedimentológicas dos rios estudados.

9. Referências Bibliográficas

ALMEIDA, F.F.M. (1967) **Origem e evolução da plataforma brasileira**. DNPM/DGM, Rio de Janeiro, 36p. (boletim 241).

ALMEIDA, F.F.M. & CARNEIRO, C.D.R. (1998) **Origem e Evolução da Serra do Mar**. Revista Brasileira de Geociências, Rio de Janeiro, v. 28, p 135-150.

ASMUS, H.E., FERRARI, A.L. (1978). **Hipótese sobre a causa do tectonismo cenozóico na Região Sudeste do Brasil**. Série Projeto REMAC, Rio de Janeiro, 4:75-88.

ASSUMPCÃO, A.P.; MARCAL, M.S. (2006). **Anomalias de Drenagem na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Sana (RJ)**. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia / Regional Conference on Geomorphology, Goiânia. v.2. p.1-10.

BERTALANFFY, L. von (1968). **General System Theory: Foundations, Development, Applications**. Revised edition. New York:George Braziller.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. (2005) **Conservação do Solo**. Ícone. 5ª edição. São Paulo. 355 p.

BINDER, W. (1998). **Rios e córregos: preservar, conservar e renaturalizar**. SEMADS. Rio de Janeiro, 39p.

BOTELHO, R.G.M. e SILVA, A.S. (2004) **Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental** In: GUERRA, A.J.T. & VITTE, A.C. (orgs.). Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro. p.153-224.

BROOKES, A. (1988). **Channelized Rivers: Perspectives for environmental management**. Wiley – Interscience. 326p.

_____. (1994). **Geomorphology/Geology**. In: GARDINER, J. L. (org.) River Projects and Conservation: A Manual for Hollistic Appraisal. John Wiley & Sons. Chichester. p. 57-66.

_____. (1996). **River channel change**. In: Petts G E and Calow P (eds) River Flows and Channel Forms. Oxford, Blackwell Science. p. 221-242.

CANTER, L.W. (1985). **Environmental impacts of water resources projects**. Lewis Publishers. Chelsea. 352p.

CARVALHO, N.de O. (1994). **Hidrossedimentologia prática**. CPRM / ELETROBRÁS. Rio de Janeiro. 372 p.

CHORLEY, R.J. (1962). **Geomorphology and general systems theory**, U.S. Geol. Survey Prof. Paper, 500-B, 10pp. (Transcrito em Notícias Geomorflógicas, 11 (21), pp. 3-22, 1971).

CHORLEY, R. J. & KENNEDY, B. A. (1971) **Physical geography: a systems approach**. London: Prentice-Hall. 370p.

CHRISTOFOLETTI, A. (1979) **Análise de Sistemas em geografia**. Hucitec, EDUSP. São Paulo. 106 p.

_____. (1981). **Geomorfologia Fluvial**. E. Blucher, São Paulo, 313 p.

_____. (1999) **Modelagem de sistemas ambientais**. E. Blucher, São Paulo. 236 p.

COELHO NETO, A.L. (1994). **Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia**. In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. (orgs.). Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro. p. 96-148.

COLLINS, M.J. & KNOX, J.C. (2003) **Historical Changes in Upper Mississippi River Water Areas and Islands**. In: Journal of The American Water Resources Association. American Water Resources Association. p. 487-500

COSTA, H. (1999). **Subsídios para a gestão dos recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Macacu, São João, Macaé e Macabu**. SEMA: Rio de Janeiro. 280p.

COX, R. T. (1994) **Analysis of Drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: An example from the Mississippi Embayment**. Geological Society of American Bulletin, University of Coluymbia, Missouri, v. 106, 571-581.

CUNHA, S. B. (1995). **Impactos das obras de engenharia sobre o ambiente biofísico da bacia do rio São João (Rio de Janeiro – Brasil)**. Editora do Instituto de Geociências da UFRJ: Rio de Janeiro. 378p.

CUNHA, S.B. (2003) **Geomorfologia Fluvial**. In: Guerra, A.J.T. e Cunha, S.B. Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos, Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro. 5ª edição. p. 211-252

DANTAS, M. E. (2000). **Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro**. CPRM, Brasília.

DAVIS, E.G. & NAGHETTINI, M.C. (2000). **Estudo de Chuvas Intensas no Estado do Rio de Janeiro**. CPRM, Brasília.

FGV Projetos (2004). **Projeto de Pesquisa de Estudo de Cheias no Baixo Curso do Rio Macaé, em Especial sobre o Núcleo Urbano**. Convênio SEMADUR/SERLA/UTE NORTE-FLUMINENSE S.A. 2º relatório. Diagnóstico da Situação Atual dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Macaé.

FRIEDENREICH, G. & PINHEIRO, A. (2002) **Transformações Geomorfológicas e Fluviais Decorrentes da Canalização do Rio Itajaí-Açu na Divisa dos Municípios de Blumenau e Gaspar (SC)** Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 3, nº 1, p. 1-9.

GUERRA, A. J. T. (2003). **A contribuição da geomorfologia no estudo dos recursos hídricos**. Bahia Análise & Dados Salvador, v. 13, n. especial, p. 385-389.

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, nº1: p. 1-31.

HEILBRON, M.; VALERIANO, C.M.; VALLADARES, C.S.; MACHADO, N. A (1995) **Orogênese Brasileira no segmento central da Faixa Ribeira, Brasil**. Revista Brasileira de Geociências, v. 25, n. 4, p. 249-266.

KELLER, E.A. (1978). **Pools, riffles and channelization**. Environmental Geology, 2: 119-127.

LEOPOLD, L. B.; Wolman, M.G. e Miller, J.P. (1964). **Fluvial processes in Geomorphology**. W. F. Freeman & Co. San Francisco, 552p.

LEOPOLD, L.B.; WOLMAN, M.G. (1960). **River Meanders**. Bulletin of the Geological Society of America - Geological Soc America

LUZ, L.M. (2003). **Suscetibilidade de Paisagem na zona costeira do município de Macaé e Indicadores de Qualidade Ambiental da Orla Marítima - Litoral Norte Fluminense**, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFRJ. Rio de Janeiro.

MARÇAL, M.S. & LUZ, L.M. (2003). **Geomorfologia aplicada à classificação de unidade de paisagem na bacia do rio Macaé – Litoral Norte Fluminense**. X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Rio de Janeiro:UERJ

MELLO, C. S. B. de (1996). **A Contribuição da Geologia e da Geoquímica na Avaliação Ambiental e no Prognóstico da Qualidade de Água de Abastecimento do Rio Macaé, RJ**. (Dissertação de Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFRJ, pp. 3-20.

MENDES, L.D. (2004) **Tectônica, rede de drenagem e sedimentação no Planalto Serrano do Estado do Rio de Janeiro: O caso da Bacia do Rio Bonito (Petrópolis, RJ)**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFRJ. Rio de Janeiro.

MUEHE, D. & VALENTINI, E. (1998). **O litoral do estado do Rio de Janeiro - uma caracterização físico-ambiental**. FEMAR. Rio de Janeiro. 99p.

NAKAMURA, F.; SUDO, T.; KAMEYAMA, S.; JITSU M. (1997) **Influences of channelization on discharge of suspended sediment and wetland vegetation in Kushiro Marsh, northern Japa**. Geomorphology. v. 18. p. 279-289.

NEWSON, M. (1992). **Land Water and Development – River Basin Systems and Their Sustainable Management**. Routledge. London. 351p.

ODUM, E. P. (1988) **Ecologia**. Ed. Guanabara. Rio de Janeiro. 434 p.

SAADI, A. (1990) **Elementos de discussão da neotectônica brasileira**. In: SICEG, Semana de Estudos Geológicos, 31, Belo Horizonte, Anais, 1-12.

SCHUMM, S. A. (1977). **The Fluvial System**. Wiley and Sons – Interscience, 338p.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. (2003). **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. Rima. 140p.

SILVA, L.C. & CUNHA, H.C.S. (2001) **Geologia do Estado do Rio de Janeiro**. CPRM, Brasília.

SILVA, T. M. (2002) **A Estruturação Geomorfológica do Planalto Atlântico no Estado do Rio de Janeiro**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Tese de Doutorado, 265 p.

STRAHLER, A. N. (1952) **Quantitative analysis of watershed Geomorphology**. Amer. Geoph. Union, v.38, p. 913-920.

SUGUIO, K. e BIGARELLA, J.J. (1990). **Ambientes fluviais**. 2ºed. Florianópolis: Ed.UFSC/ UFPR, 183p.

SUMMERFIELD, M. (1991). **Global Geomorphology**. John Wiley & Sons. New York, 245p.

TUCCI, C. E. M. & BERTONI, J. C. (2003). **Inundações urbanas na América do Sul**. Ed. Universidade, GWP WMO – ABRH. Porto Alegre. 150p.

VIEIRA, V.T. & CUNHA, S.B. (2005) **Mudanças na Rede de Drenagem Urbana de Teresópolis (Rio de Janeiro)** In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. (orgs.). Impactos Ambientais Urbanos no Brasil. Editora Bertrand Brasil: Rio de Janeiro. 3º ed. p.111-145.

WIZGA, B. (2001). **A Geomorphologist's Criticism of the Engineering Approach to Channelization of Gravel-Bed Rivers: Case Study of the Raba River, Polish Carpathians** Environmental Management. v 28, nº3, p. 341-358.