

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



RENATO DE LIMA HINGEL

**SEDIMENTAÇÃO FLUVIAL QUATERNÁRIA NA BACIA DO RIO MACAÉ (RJ):
ANÁLISE MORFOESTRATIGRÁFICA DE TERRAÇOS FLUVIAIS**

RIO DE JANEIRO

2012

RENATO DE LIMA HINGEL

**SEDIMENTAÇÃO FLUVIAL QUATERNÁRIA NA BACIA DO RIO MACAÉ (RJ):
ANÁLISE MORFOESTRATIGRÁFICA DE TERRAÇOS FLUVIAIS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia

Orientador(a): Mônica dos Santos Marçal

Rio de Janeiro (RJ)

2012

Hingel, Renato de Lima

Sedimentação fluvial quaternária na bacia do rio Macaé (RJ):
análise morfoestratigráfica de terraços fluviais / Renato de Lima
Hingel. -- 2012.

109f.: il.

Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do
Rio de Janeiro – UFRJ, Programa de Pós-Graduação em Geografia
(PPGG), Rio de Janeiro, 2012.

Orientador(a): Mônica dos Santos Marçal

1. Quaternário. 2. Morfoestratigrafia. 3. Terraços fluviais. 4. Bacia do rio Macaé. – Dissertação. I. Mônica dos Santos Marçal (Orient.). II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG). III. Título.

RENATO DE LIMA HINGEL

**SEDIMENTAÇÃO FLUVIAL QUATERNÁRIA NA BACIA DO RIO MACAÉ (RJ):
ANÁLISE MORFOESTRATIGRÁFICA DE TERRAÇOS FLUVIAIS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia

Aprovada em: 06/10/2012

Prof^a Dr^a Mônica dos Santos Marçal (Dept. de Geografia/IGEO/UFRJ) – Orientadora

Prof^a Dr^a Telma Mendes da Silva (Dept. de Geografia/IGEO/UFRJ)

Prof^o Dr. Claudio Limeira Mello (Dept. de Geografia/IGEO/UFRJ)

Prof^o Dr. Renato Rodriguez Cabral Ramos (Dpt. de Geologia e Paleontologia – Museu Nacional/UFRJ)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por tudo que tem proporcionado em minha vida, dando-me sabedoria para lidar com os desafios, força para superar os obstáculos e mantendo-me firme na jornada em busca de meus objetivos.

Quero agradecer em especial a minha orientadora Professora Dr^a Mônica dos Santos Marçal por todos os ensinamentos e por ter me acompanhado e ajudado em toda a minha jornada científica dentro da universidade, da graduação ao mestrado. Foram nos momentos mais difíceis da minha vida acadêmica que me estendeu a mão e me ajudou, influenciando diretamente no profissional que me tornei. Muitas pessoas não sabem da minha jornada e o quão difícil foi obter cada título que conquistei dentro desta universidade. Talvez mesmo até você não saiba da grande importância que teve durante todo esse processo. Cabe comentar dois destes muitos momentos que foram fundamentais para eu poder concluir esta pesquisa. Primeiro, no momento em que já havia até pensado em desistir da Geografia e seguir um caminho diferente, pois não tinha muito tempo para me dedicar aos estudos, pois tinha que trabalhar para me sustentar, você abriu as portas do laboratório (LAGESOLOS) e me ofereceu uma bolsa de Iniciação Científica. Isto proporcionou a condição que precisava para largar o emprego e me dedicar à Academia, terminando minha graduação. Em segundo lugar, quando pensei em não tentar o processo seletivo do mestrado a qual passei por ainda estar fazendo muitas matérias da graduação, além da monografia e do projeto de mestrado, você não me fez desistir e me apoiou, dando força, sim, para seguir em frente e realizar o processo. Então, se hoje termino mais essa etapa na minha vida é porque devo muito isso a você, assim como as pessoas queridas que citarei abaixo.

À minha família sou grato pelo apoio que sempre me deram ao longo de toda a minha caminhada, desde que nasci até hoje. Agradeço também pela pessoa que me tornei, pelo caráter que possuo, pela educação que me foi oferecida, pelo carinho, pela atenção, pelas palavras de conforto, puxões de orelha, e por muitas outras coisas que não acabaria nunca de escrever se fosse falar de todas. Devo tudo que tenho a vocês e se não fosse pela formação que meus pais me proporcionaram, pela ajuda emocional e financeira da minha Irmã no momento decisório de me dedicar à Geografia, como também da minha Tia e Avó que juntamente com minha irmã me ajudaram a fazer um curso superintensivo de inglês para passar na prova de línguas do mestrado. Tenho todos vocês em meu coração, e são em vocês que me seguro para me dar forças e atingir minhas metas. Por mais longe que estejam sempre carregue todos vocês comigo. Dedico essa dissertação a vocês, em especial a minha querida

vózinha que torceu tanto para eu entrar no mestrado. Infelizmente por conseqüências da vida não foi possível comemorarmos juntos minha entrada no Mestrado, mas sei que estava lá, vibrando comigo e chorando de emoção.

Agradeço aos amigos de toda hora Fred (sósia do *spider*) e Fellipe (mais conhecido como Bolinho) que além da amizade dentro e fora do laboratório me ajudaram em trabalhos de campo, abrindo trincheira, coletando sedimentos, discutindo sobre processos sedimentológicos, fazendo anotações, ... , isso tudo embaixo de sol forte, sofrendo picada de mosquito, acordando de madrugada, almoçando banana passa, e muitas outras coisas. E como esquecer do “atolamento” da Van na vala, numa estradinha de terra que não passava ninguém e já no fim de tarde com o sol se pondo, com o medo de ter que dormir na Van. Mas como Deus é muito bom com a gente, tiramos força do Universo e conseguimos suspender a Van, e com a maestria do motorista Edinaldo conseguimos desatolar e prosseguir viagem. Agradeço também as boas risadas (gargalhadas no caso do Fred) e boas conversas, fundamentais para aliviar nos momentos de tensão e quando o prazo ficava apertado (não é Fred, foram muitas conversas e crises existenciais né, rs).

Aos professores Telma Mendes e Renato Ramos pela amizade, explicações, idas a campo, sugestões, esclarecimentos, e por compartilharem seus conhecimentos nas disciplinas que tive a felicidade de poder participar. Vocês foram importantíssimos no desenvolvimento desta pesquisa. E como se esquecer dos campos. Foram boas risadas, muita ralação e muito conhecimento adquirido.

Ao Professor Claudio Limeira agradeço enormemente pelo conhecimento adquirido em suas aulas e nos trabalhos de campo de disciplina, além de fazer parte integrante da banca de defesa e contribuir enormemente com idéias e sugestões.

Aos amigos de laboratório Guilherme Hissa e Raphael Nunes que me acompanharam durante todo o processo, seja participando dos campos da dissertação, sejam nas discussões do laboratório e nas conversas de corredor, seja com idéias, sugestões e críticas. O meu muito obrigado e saibam que foram bastante importantes para minha formação.

Aos demais amigos do laboratório, Pila Amadeu, Hugo Alves, Juliana Sessa e Pedro Henrique Casimiro, o meu muito obrigado pela amizade e por compartilharem comigo momentos e experiências durante os trabalhos de campo e nos trabalhos científicos.

Por fim agradeço ao CNPq pela bolsa de estudo de Mestrado, assim como pelo financiamento de projetos do LAGESOLOS/UFRJ que contribuíram para a compra de equipamentos e realização de trabalhos de campo que proporcionaram a coleta de dados desta pesquisa.

RESUMO

HINGEL, Renato de Lima. Sedimentação fluvial quaternária na bacia do rio Macaé (RJ): análise morfoestratigráfica de terraços fluviais. Rio de Janeiro, 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

Estudos que buscam integrar aspectos geomorfológicos e estratigráficos constituem importante forma de se investigar a dinâmica evolutiva quaternária, na tentativa de compreender processos pretéritos responsáveis pela dinâmica de evolução da paisagem. Neste intuito, a abordagem morfoestratigráfica se apresenta como uma valiosa proposta no reconhecimento e mapeamento de depósitos quaternários, estabelecendo uma correlação genética direta entre a forma topográfica e o depósito sedimentar. No intuito de contribuir com as pesquisas sobre a sedimentação quaternária na bacia do rio Macaé, localizada no norte do Estado do Rio de Janeiro, visando o entendimento de fenômenos pretéritos relacionados à dinâmica fluvial, a presente pesquisa consiste em representar e caracterizar os depósitos sedimentares de terraços fluviais identificados ao longo do rio Macaé. O mapeamento das feições morfoestratigráficas foi realizado com base na fotointerpretação de imagens aéreas ortorretificadas, na escala 1:10.000 e 1:25.000, e a partir de análises estratigráficas de detalhe, com a confecção de perfis e seções estratigráficas. Foram reconhecidas diferentes unidades morfoestratigráficas: Terraço Reafeiçoado; Terraço de Acumulação; e Planície de Inundação. Estas se encontram distribuídas ao longo do vale do rio Macaé de forma fragmentada e descontínua sobre as diferentes formas de relevo, em geral com pacote sedimentar pouco espesso. Foram selecionadas 4 áreas para análise, onde a ocorrência dessas feições é mais significativa, levando em consideração a expressividade areal e a existência de diferentes níveis. Os depósitos associados ao Terraço Reafeiçoado foram caracterizados por apresentarem arcabouço arenoso e cascalhoso, pobremente selecionado, gerados por processos trativos de alta energia. O Terraço de Acumulação possui arcabouço sedimentar arenoso e areno-argiloso, relacionados a processos sedimentares fluviais mais recentes de incisão generalizada dos canais fluviais. A partir do mapeamento realizado, foi observado que a configuração espacial dos níveis de terraços fluviais não ocorre de forma similar ao longo de todo o vale do rio Macaé. Há áreas onde ocorrem os 3 níveis de terraços fluviais, enquanto que em outras áreas, apenas 1 ou 2 níveis de terraços foram identificados. Estão distribuídos

em ambas as margens do rio Macaé, ocorrendo preferencialmente pela margem esquerda do canal em seu alto curso. Foi também neste trecho onde foram identificadas as feições de terraços reafeiçoados mais bem preservados. Por estes e outros fatores, interpreta-se que a formação destas feições ocorre de forma diferenciada ao longo da bacia, resultado da dinâmica evolutiva da paisagem durante o período do Quaternário, fruto de intensas e rápidas modificações ocorridas durante este período, influenciadas por fatores estruturantes locais, como os níveis de bases. Diante da complexidade sobre a sedimentação quaternária e da carência de estudos para a região sobre o tema, não foi possível, nessa etapa da pesquisa, estabelecer uma correlação direta entre os eventos ocorridos durante este período e a formação das diferentes feições morfoestratigráficas. Contudo ressalta-se que os resultados aqui coligidos contribuem para a discussão à cerca da sedimentação quaternária na bacia do rio Macaé, assim como na dinâmica de evolução do sistema fluvial.

Palavras-chave: Quaternário; Morfoestratigrafia; Terraços Fluviais; Bacia do rio Macaé.

ABSTRACT

HINGEL, Renato de Lima. Sedimentação fluvial quaternária na bacia do rio Macaé (RJ): análise morfoestratigráfica de terraços fluviais. Rio de Janeiro, 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

Studies that aim to integrate geomorphological and stratigraphic aspects are important forms of research on the evolution of quaternary dynamics, because they enable us to comprehend past processes responsible for the evolution of the landscape. The morphostratigraphical approach is a valuable proposition in the direction of recognizing and mapping quaternary deposits. It enables the establishment of a direct genetic correlation between topographic form and sedimentary deposit. This research's main objective is to contribute with wider studies on the Macaé river basin quaternary sedimentation, located in the north of Rio de Janeiro State, by unfolding past phenomena related to fluvial dynamics. More specifically, it aims representing and characterizing sedimentary deposits of terraces identified along the Macaé river. The mapping of morphostratigraphic unit was realized with basis on the photointerpretation of aerial photography orthorectification, in the scale of 1:10.000 and 1:25.000, and on detailed stratigraphic analysis, undertaken through the production of stratigraphic section and sections. Different morphostratigraphic units were recognized: "Terraço Reafeiçoado"; "Terraço de Acumulação"; e "Terraço Baixo" ou floodplan. These units are distributed along the Macaé river valley in a fragmented manner and discontinuously above different terrain types, generally in thin sedimentary layers. Four areas were selected for analytical purposes, where the occurrence of these forms is more significant, if area and the existence of different levels are taken into consideration. The deposits associated to "Terraço Reafeiçoado" were characterized by poorly sorted sandy and gravel sedimentary framework generated by high energy tractive processes. The "Terraço de Acumulação" has sandy and gravel sedimentary framework, related to more recent fluvial sedimentary processes of generalized incision of fluvial channels. It was observed with basis on the mapping process realized, that the spatial configuration of the levels of terraces does not occur in a similar form along the whole Macaé river valley. There are areas where the three levels of terraces exist, whereas in other areas only one or two of them were identified. Moreover, they are distributed in both margins of the Macaé river, but with more incidence in the left margin's high flow. It was also within this stretch that the best preserved "Terraços Reafeiçoados" were identified. For these and other factors, it can be interpreted that the

formation of these forms occur in a differentiated manner along the basin, as a result of the dynamic evolution of the landscape through intense and quick modifications which happened during the quaternary period, influenced by local structuring factors, such as baselevels. Due to the complexity of quaternary sedimentation and the lack of studies about the region, in this stage of the research it was not possible to establish a direct correlation between events which occurred during this period and the formation of different morphostratigraphic forms. However, it can be underlined that the findings of this research contribute to the discussion concerning quaternary sedimentation in the Macaé river basin, as to the evolutionary dynamics of the fluvial system.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1. Objetivo Geral.....	4
2.2. Objetivos Específicos	4
3. EMBASAMENTO TEÓRICO E CONCEITUAL.....	5
3.1. Aspectos gerais sobre o Quaternário	5
3.2. Abordagem geomorfológica e estratigráfica no estudo do Quaternário	6
3.3. Morfoestratigrafia	8
3.4. Feição geomorfológica de terraços fluviais	10
3.5. Estratigrafia de depósitos sedimentares fluviais	12
4. MÉTODOS, TÉCNICAS E MATERIAIS.....	19
4.1. Etapa 1: Levantamento de informações referentes à caracterização geológica-geomorfológica.....	19
4.2. Etapa 2: Análise morfoestratigráfica	23
4.3. Etapa 3: Integração das informações	31
5. CONTEXTO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO	33
5.1. Contexto Geológico	33
5.2. Contexto Geomorfológico	39
6. UNIDADES MORFOESTRATIGRÁFICAS NO VALE DO RIO MACAÉ (RJ).....	49
6.1. Área de Sedimentação 1 (AS-1)	52
6.2. Área de Sedimentação 2 (AS-2)	60
6.3. Área de Sedimentação 3 (AS-3)	66
6.4. Área de Sedimentação 4 (AS-4)	72
7. ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA DOS DEPÓSITOS SEDIMENTARES FLUVIAIS	79
7.1. Fácies sedimentares	79
7.2. Associação de fácies	90

8. CONCLUSÃO	102
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105

1. INTRODUÇÃO

No Período Quaternário, apesar de seu pequeno intervalo de tempo, abrangendo os últimos 2,6 milhões de anos, ocorreram grandes modificações no modelado terrestre, visíveis na paisagem atual. Muitas mudanças ocorridas nas taxas de erosão e sedimentação durante este período, sejam elas causadas pelas oscilações climáticas, mudanças no nível do mar, tectonismo, estão registradas na paisagem atual através dos registros sedimentares dos depósitos quaternários (MOURA, 2003). Estes depósitos se distribuem sobre as diversas formas do relevo, apresentando uma estreita relação genética com as feições geomorfológicas presentes na paisagem atual.

Estudos que buscam integrar aspectos geomorfológicos e estratigráficos constituem importante forma de se investigar a dinâmica evolutiva quaternária, na tentativa de compreender processos pretéritos responsáveis pela dinâmica de evolução da paisagem. Diferentes são as abordagens nos estudos dos depósitos sedimentares quaternários que integram as perspectivas geomorfológicas e estratigráficas, contudo normalmente enfatizando os aspectos geomorfológicos e subordinando a esses a análise do registro sedimentar.

Bigarella *et al.* (1965) já apontavam em seus estudos sobre evolução da paisagem no Quaternário brasileiro, a necessidade de se ter uma abordagem integrada com intuito de melhor conhecer os processos da dinâmica de evolução da paisagem.

Nesse sentido, faz-se necessária a aplicação de uma metodologia adequada ao estudo dos depósitos sedimentares quaternários, que integrem as abordagens geomorfológicas e estratigráficas, de forma que se complementem sem subordinação de um pelo outro.

Neste intuito, a abordagem morfoestratigráfica se apresenta como uma valiosa proposta no reconhecimento e mapeamento de depósitos quaternários, estabelecendo uma correlação genética direta entre a forma topográfica e o depósito sedimentar.

Essa abordagem tem ganhado grande expressividade nos estudos do Quaternário no Sudeste do Brasil através dos trabalhos desenvolvidos, principalmente, por Meis e colaboradores (MEIS, 1977; MEIS & MOURA, 1984), Moura e colaboradores (MOURA, 1990; MOURA & MELLO, 1991) e Mello e colaboradores (MELLO, 1992 e 1997).

Para a região norte do estado do Rio de Janeiro, região onde se desenvolve a presente pesquisa, ainda há pouquíssimos estudos sobre o Quaternário continental, destacando o trabalho de Silva (2006) na bacia do rio Macabu e o trabalho de Fevrier (2012) sobre depósitos sedimentares de terraço fluvial localizados no alto curso do rio Macaé. É neste

intuito de contribuir com as pesquisas sobre a sedimentação quaternária na região que a presente pesquisa se desenvolve.

Esta pesquisa se insere nos estudos desenvolvidos pelo grupo de geomorfologia fluvial do LAGESOLOS (Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos) que vem investigando a dinâmica de evolução do sistema fluvial, procurando integrar informações geomorfológicas sobre o sistema encosta e calha. Tais estudos, em sua grande maioria, abrangem análises regionais envolvendo diversos parâmetros ambientais e outros se relacionam aos processos geomorfológicos que estão sendo monitorados desde 2007 envolvendo a dinâmica atual do canal nas suas desembocaduras.

Os estudos na região norte do estado Rio de Janeiro vêm sendo desenvolvidos na bacia do Macaé, na perspectiva tanto de análises das formas e processos fluviais atuais (MARÇAL *et al.*, 2009; ASSUMPCÃO, 2009; LIMA, 2010), como também pretéritas relacionadas à dinâmica fluvial (HINGEL *et al.*, 2011; FEVRIER, 2012).

A bacia do rio Macaé, localizada na região norte do Estado do Rio de Janeiro, engloba praticamente toda a área dos limites territoriais do município de Macaé (1.448 km²), parte dos municípios de Rio das Ostras (11 km²) e Carapebus (11 km²), além dos municípios de Nova Friburgo (142 km²) onde estão localizadas as nascentes, Casimiro de Abreu (83 km²) e Conceição de Macabu (70 km²) (FIGURA 1). Limita-se a norte pela bacia do rio Macabu, a sul pela bacia do rio São João, a oeste pela bacia do rio Macacu, e a leste pelo Oceano Atlântico. Drena uma área de aproximadamente 1.765 km², onde rio principal, que dá nome a bacia, percorre cerca de 136 km até desaguar no Oceano Atlântico, sendo considerado o maior rio em extensão dentro do estado.

Ressalta-se que a temática abordada nesta pesquisa, a respeito da sedimentação quaternária fluvial, ainda é pouco discutida e abordada para a área estudada. Assim, os resultados aqui encontrados constituem uma etapa inicial das pesquisas desenvolvidas pelo grupo de estudo de Geomorfologia Fluvial do LAGESOLOS. Acredita-se que as informações geradas serão relevantes para as pesquisas em andamento na área e que poderão somar-se a outras, tanto nas análises de encostas como de canais fluviais.

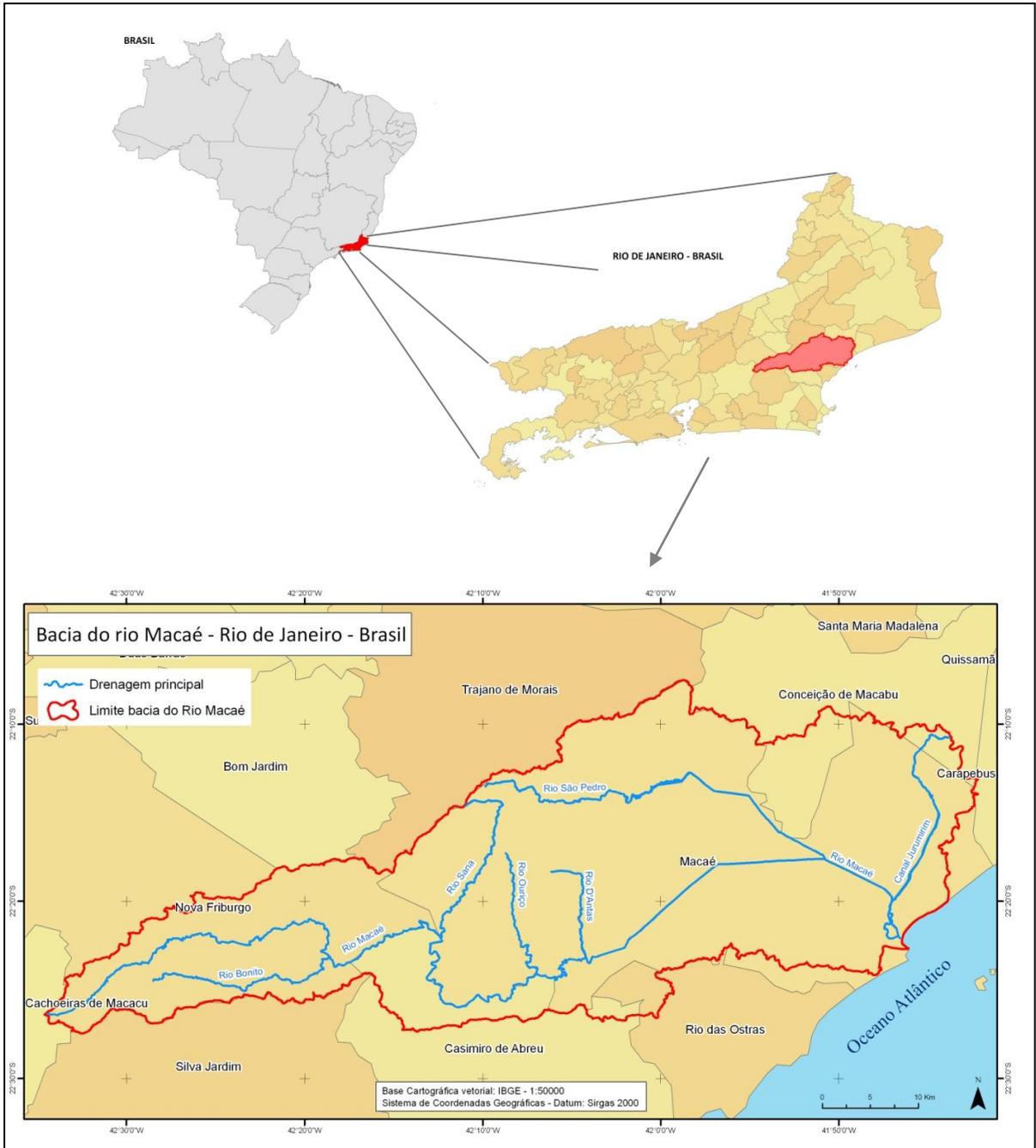


Figura 1.1: Mapa de localização da bacia do rio Macaé, Rio de Janeiro - RJ.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

A fim de levantar informações que corroborem com a discussão da sedimentação quaternária na porção continental do Norte do Estado do Rio de Janeiro, o objetivo geral que norteia esta pesquisa consiste em reconhecer e caracterizar os depósitos sedimentares de terraços fluviais identificados ao longo do rio que dá nome à bacia do rio Macaé (RJ).

2.2. Objetivos Específicos

- Reconhecer diferentes unidades morfoestratigráficas nos trechos de sedimentação fluvial ao longo do rio Macaé (RJ), cuja gênese esteja relacionada diretamente com a história de evolução do canal principal;
- Realizar o mapeamento das feições morfoestratigráficas identificadas;
- Caracterizar as sequências deposicionais relacionadas às feições morfoestratigráficas, com base na descrição de litofácies;
- Definir com base nas associações de fácies os sistemas fluviais pretéritos.

3. EMBASAMENTO TEÓRICO E CONCEITUAL

3.1. Aspectos gerais sobre o Quaternário

O Quaternário, período mais recente na escala de tempo geológico (cerca de 2,6 milhões de anos), refere-se às últimas mudanças na paisagem, caracterizado por rápidas e intensas flutuações climáticas, marcado por eventos glaciais (avanço das calotas de gelo por fase de resfriamento) e interglaciais (reco das calotas de gelo por fase de aquecimento).

As oscilações climáticas provocaram mudanças ambientais globais, absorvidas de forma diferenciadas pelas paisagens continentais, onde algumas sofreram grandes modificações da cobertura vegetal, com a perda das florestas impulsionando intensos processos morfogenéticos (resistasia), enquanto outras se mantiveram estáveis, sem perda significativa das florestas, desenvolvendo espessos mantos de intemperismo e formação de solos lateríticos (biostasia) (SOUZA *et al.*, 2005).

Momentos de estabilidade ambiental (biostasia) contínua ou de intercalações de períodos de estabilidade e de instabilidade (resistasia) ficam registrados na paisagem, que de acordo com Bigarella & Andrade (1965) tem na sua compreensão aspecto fundamental para avaliar a sequência evolutiva das paisagens. Moura (2003) aponta que a análise geomorfológica constitui a base para a compreensão da sequência evolutiva da paisagem no passado geológico recente. Johson (1982) complementa que a associação do registro sedimentar aos estudos geomorfológicos é essencial no entendimento da dinâmica de evolução da paisagem, visto que o registro sedimentar preserva informações sobre as distintas fases de erosão e deposição.

Porém, nem sempre os registros sedimentares encontrados na paisagem apresentam as condições ideais para sua interpretação e análise. Moura (1990) aborda uma das dificuldades na compreensão da sedimentação quaternária, que é resultado de uma distribuição espacial muito irregular sobre as múltiplas variações do relevo e pelas frequentes recorrências. Ainda, Moura (2003) chama a atenção para a natureza incompleta do registro sedimentar, relacionada à sedimentação episódica, pontuada por eventos catastróficos, onde apenas uma pequena quantidade dos eventos deposicionais é preservada, dominado por eventos raros de alta magnitude.

O registro sedimentar possui informações sobre a dinâmica de evolução da paisagem, contudo, denota a uma natureza incompleta, inerente à sedimentação episódica (SCHUMM, 1977). A preservação de tal registro irá variar de acordo com cada ambiente, conforme sua

capacidade em preservar tais registros, dependendo de fatores como intensidade e duração dos processos de erosão e sedimentação.

Nas áreas tropicais e subtropicais é ainda mais difícil de os depósitos manterem o registro sedimentar em boas condições de serem interpretados e analisados. Os processos de intemperismo são muito mais intensos, acarretando em perda parcial ou completa de tais registros, tornando difícil o levantamento de depósitos quaternários e, conseqüentemente, o estabelecimento de um quadro evolutivo do ambiente estudado (SOUZA *et al.*, 2005).

Por esses motivos, as abordagens utilizadas no estudo e na análise estratigráfica dos depósitos sedimentares quaternários apresentam várias limitações, esbarrando em sua natureza pouco espessa e numa distribuição descontínua (MELLO, 1992). Por outro lado, a adoção de uma análise pautada apenas na perspectiva geomorfológica, na tentativa de compreensão da dinâmica de evolução da paisagem e dos depósitos correlatos, também apresentará limitações em seu uso.

Ou seja, o estudo dos depósitos quaternários apresenta uma série de desafios quanto as suas abordagens metodológicas. Diversos autores, como Moura (1990) e Mello (1997), ressaltam que o entendimento das relações entre depósitos sedimentares e formas de relevo torna-se de grande importância para o estudo do registro sedimentar quaternário, onde se faz necessária a integração entre as abordagens geomorfológicas e estratigráficas.

3.2. Abordagem geomorfológica e estratigráfica no estudo do Quaternário

O fato de os depósitos quaternários encontrarem-se distribuídos sobre as diversas formas de relevo, demonstrando uma estreita relação genética com as feições morfológicas da paisagem atual, evidencia a abordagem geomorfológica como importante ponto de partida no estudo do Quaternário. Para Moura (1990), os dados de maior significado são os fornecidos pela sucessão variada de sedimentos preservados na sequência estratigráfica. No entanto, a mesma autora afirma que uma sequência sedimentar quaternária continental completa será dificilmente encontrada, pois a ocorrência dos depósitos é caracteristicamente descontínua e fragmentada espacialmente, controlada pelas irregularidades do relevo.

Apesar da já evidenciada necessidade em se abordar, para o estudo dos depósitos quaternários, aspectos de sua morfologia, bem como aspectos do registro sedimentar, a partir de estudos estratigráficos, algumas abordagens metodológicas enfatizam os aspectos geomorfológicos e subordinam a estes a análise do registro sedimentar.

Estudos como os desenvolvidos por Bigarella e colaboradores (BIGARELLA & MOUSINHO, 1965; BIGARELLA *et al.* 1965), para o Quaternário brasileiro, enfatizavam essa abordagem, integrando a perspectiva morfoclimática na compreensão da evolução do modelado terrestre, feita através da correlação entre as superfícies aplainadas (pediplanos e pedimentos) e os terraços fluviais. A alternância entre climas semi-áridos e úmidos seria o agente responsável pelo modelado da paisagem.

Estes autores apontavam para a deficiência fundamental das concepções anteriores que não consideravam as variações climáticas como tendo sido capazes de dar origem ao aparentemente contraditório aspecto da paisagem. Os processos de agradação e degradação são interpretados, nestes estudos, em relação às variações climáticas, onde as superfícies e os depósitos sedimentares correlativos seriam formados em climas secos com chuvas concentradas, enquanto que em climas úmidos ocorreria maior atividade dos processos de encaixamento fluvial, sendo correlacionáveis, respectivamente, aos glaciais e interglaciais do Hemisfério Norte. As superfícies aplainadas (pediplanos e pedimentos) seriam formados em climas mais secos (semi-árido), porque, com a diminuição da precipitação, a vegetação tornaria-se menos densa, o que ocasionaria no aumento da carga de sedimentos para dentro dos canais, onde o canal já com capacidade reduzida por causa do clima mais seco, ocorreria a agradação do fundo de vale. Já em períodos de climas mais úmidos predominariam os processos de degradação pela incisão fluvial. Ocorreria o aumento da descarga do canal, aumentando a capacidade de incisão, e, concomitantemente, o avanço da colonização das vertentes pela vegetação ocasionaria na diminuição do fornecimento de carga detrítica para o canal (BIGARELLA & MOUSINHO, 1965).

Com o mesmo olhar das mudanças climáticas, Blum & Törnqvist (2000) reportam-se a três principais tipos de respostas fluviais, porém sendo também passíveis de serem associados a atividades tectônicas: agradação, degradação e migração lateral. Essas respostas acompanham alterações na geometria do canal e no estilo deposicional, e resultam em modificações no armazenamento de sedimentos ao longo do vale, associadas à dinâmica fluvial. A agradação acontece quando o suprimento de sedimentos excede a taxa máxima de transporte da carga de fundo; a degradação ocorre quando há menor quantidade de sedimentos disponíveis em relação à taxa máxima de transporte da carga de fundo; e a migração lateral do canal surge do balanço entre energia do fluxo e suprimento de sedimentos (BLUM & TÖRNQVIST, 2000). Segundo os mesmos autores, devido à complexidade das possíveis respostas fluviais aos controles climáticos e tectônicos, essas respostas devem ser sustentadas por evidências de alterações na forma dos depósitos sedimentares fluviais.

O modelo proposto pelos autores acima supracitados proporcionou um grande avanço nos estudos de estratigrafia do Quaternário brasileiro, assim como na integração entre geomorfologia e estratigrafia. Contudo, segundo Mello (1997), é de difícil aplicação nos dias atuais, visto que:

a) o reconhecimento em campo das diferentes superfícies e de suas relações com os depósitos sedimentares não é fácil; b) não existe uma correlação cronogeológica bem definida, estando envolvidos, na realidade, depósitos sedimentares terciários; c) o escalonamento das superfícies identificadas pode ser, pelo menos em parte, devido à atuação de mecanismos tectônicos. Questiona-se a ênfase atribuída a superfícies erosivas e a interpretação paleoclimática, o que restringe a um caráter secundário a análise do registro sedimentar. (Mello, 1997, p.53-54)

3.3. Morfoestratigrafia

Na tentativa de operacionalizar o enfoque que visa integrar as abordagens geomorfológicas e estratigráficas na classificação do registro sedimentar quaternário, Frye & Willman (1962) propuseram as unidades morfoestratigráficas. Na definição desses autores, as unidades morfoestratigráficas corresponderiam a corpos sedimentares identificáveis primeiramente pela forma apresentada na superfície, distinguindo-se ou não pela litologia e/ou idade das unidades adjacentes.

Meis & Moura (1984) destacam que por essa definição, torna-se evidente a subordinação da estratigrafia dos depósitos quaternários à percepção das formas de relevo. Ressaltam duas grandes limitações dessa proposta, onde a primeira seria que diferentes unidades estratigráficas sob uma única forma de relevo não podem ser distinguidas, e a segunda sugere que formas distintas geradas por erosão corresponderiam a diferentes unidades estratigráficas, a despeito de nenhum registro deposicional ter sido produzido.

Buscando uma melhor utilização desse conceito, onde não aconteça a subordinação da estratigrafia às formas de relevo, Meis & Moura (1984) sugeriram que este conceito fosse restrito às condições em que seja possível detectar, com base na estratigrafia, uma relação genética direta entre a forma topográfica e o depósito. Explica ainda que as formas topográficas são pobres indicadores da dinâmica do relevo, e que a interpretação dos padrões evolutivos será possível se realizadas análises estratigráficas, ou seja, através de relações morfoestratigráficas.

Esta perspectiva morfoestratigráfica teve sua primeira aplicação nos estudos desenvolvidos por Meis e colaboradores para a região do médio vale do rio Doce, no Estado

de Minas Gerais, na análise de formas típicas de fundo de vale, terraços fluviais e rampas de colúvio (Meis, 1977; Meis & Machado, 1978; Meis & Monteiro, 1979). Esses trabalhos basearam-se na relação entre as formas e as características dos corpos sedimentares a elas associados, onde identificaram três níveis de rampas de colúvio e três de terraços fluviais, além do nível de planície de inundação (FIGURA 3.1).

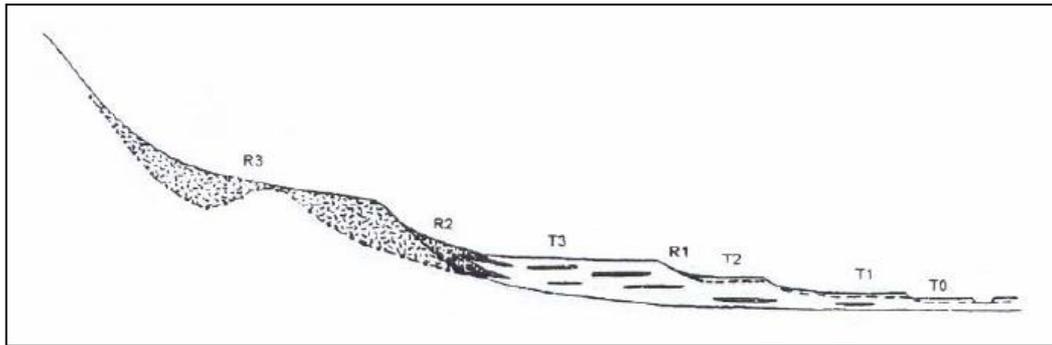


Figura 3.1: Esquema de unidades morfoestratigráficas quaternárias identificadas por Meis (1977) para a região do médio vale do rio Doce (MG).

Desta forma, as feições geomorfológicas de rampas de colúvio e terraços fluviais de acumulação, formas topográficas associadas, respectivamente, à deposição de sedimentos colúviais e aluviais, surgem como importantes elementos morfoestratigráficos no contexto geomorfológico que caracteriza o sudeste do Brasil (Moura, 2003) (FIGURA 3.2).

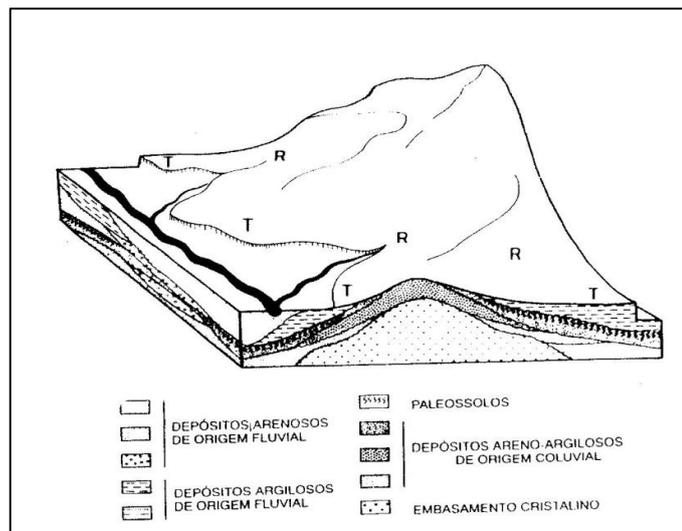


Figura 3.2: Reprodução esquemática de relações alo-morfo-pedestratigráficas quaternárias em feições geomorfológicas características do relevo de colinas do Sudeste do Brasil (R - rampas de colúvio; T - terraços de acumulação) (Moura, 2003).

3.4. Feição geomorfológica de terraços fluviais

As feições geomorfológicas de terraços fluviais são consideradas relevantes no estudo da dinâmica de evolução do sistema fluvial durante o Período Quaternário, contribuindo não só para a compreensão dos principais controles que regulam esses sistemas, bem como sobre os controles estruturais locais, uma vez que correspondem a importantes áreas de retenção de sedimentos e níveis de base locais (LEOPOLD *et al.*, 1964; SUMMERFIELD, 1991; SCHUMM, 2005). Além disso, como já mencionado anteriormente por Moura (2003), surgem como importantes elementos morfoestruturais no contexto geomorfológico que caracteriza o sudeste do Brasil.

Leopold *et al.* (1964) definem os terraços fluviais como sendo correspondentes de antigas planícies aluviais que foram abandonadas devido a processo de erosão fluvial e encaixamento do talvegue. São compostos por material detrítico aluvial, cujas estruturas sedimentares refletem os mecanismos e os processos deposicionais do leito fluvial e das feições geomorfológicas fluviais como barras de pontal, dique marginal, elementos da planície de inundação, dentre outros.

A origem dos terraços pode estar relacionada a várias causas, como por exemplo, as flutuações climáticas, mudança do nível do mar e do nível de base, e por processos tectônicos (Leopold *et al.*, 1964; Suguio & Bigarella, 1979; Christofolletti, 1980, 1981; Summerfield, 1991; Schumm, 2005; Brierley & Fryirs, 2005). Leopold *et al.* (1964) enfatizam o desenvolvimento de terraços a partir dos controles tectônicos e climáticos. De acordo com os mesmos autores, as forças tectônicas provocam mudança no gradiente do canal, colocando os divisores de água em meio climático diferente, bem como modificam as formas das vertentes e o fornecimento de sedimentos para o rio. Contudo, Bigarella & Mousinho (1965) discordam dessa opinião, pois dizem que os movimentos tectônicos são extremamente lentos o que não acarretaria em notável mudança de altitude de relevo e das condições hidrológicas da bacia em curto intervalo de tempo, sendo necessário um longo período para que isso ocorra. Ou seja, independentemente da sua origem, os terraços correspondem a importantes testemunhos acerca da história de evolução da paisagem em bacias hidrográficas.

Sobre a perspectiva da abordagem geomorfológica, os terraços fluviais podem ser classificados de acordo com sua gênese e seu arranjo.

De acordo com a gênese, Cotton (1940, *apud* Christofolletti, 1981:254) sugere dois tipos: cíclicos e os não cíclicos (FIGURA 3.3). Os primeiros, também chamados de parelhados, são formados quando o aprofundamento do vale é interrompido, passando a

dominar a erosão lateral. Implicam em epirogênese positiva intermitente ou oscilações eustáticas. São caracterizados por extensões contínuas, refletindo longa aplainação lateral seguida de rápido entalhe no sentido vertical. Os terraços não cíclicos são formados em altitudes diferentes em cada margem do vale, por erosão lateral do rio meândrico durante seu aprofundamento, acompanhado por deslocamento contínuo. Podem ser chamados de terraços isolados por se apresentarem descontínuos ao longo do perfil longitudinal do rio.

Em relação ao arranjo, Christofolletti (1981) destaca dois tipos de terraços: terraço embutido e terraço encaixado (FIGURA 3.3). O primeiro é quando não ocorre o entalhamento da calha fluvial no embasamento rochoso do fundo de vale e tanto a várzea como o terraço repousam sobre a mesma calha rochosa. O segundo é quando a várzea e os diferentes níveis de terraço repousam sobre o embasamento rochoso e por ele são separados.

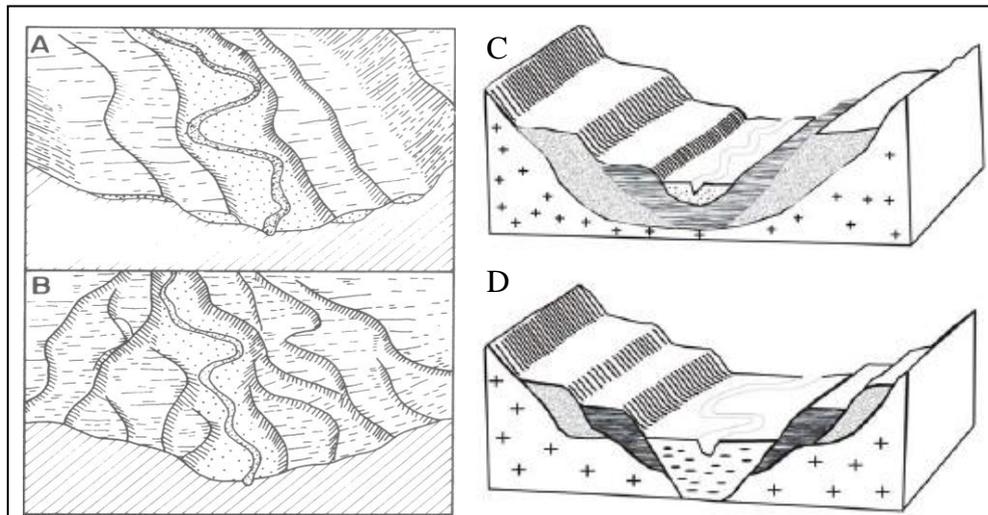


Figura 3.3: Modelos de terraços fluviais segundo sua gênese – (a) terraços cíclicos ou parelhados; (b) terraços não cíclicos ou isolados - e quanto ao seu arranjo - (c) terraços embutidos; (d) terraços encaixados. (Adaptado de Christofolletti, 1981).

Sobre a perspectiva da abordagem morfoestratigráfica, resolveu-se adotar a nomenclatura usada por Mello (1997) para classificar os terraços fluviais associados aos pacotes sedimentares identificados na região do médio vale do rio Doce (MG): Terraços Reafeiçoados como interfúvios; Terraço de Acumulação; Terraços Erosivos; Terraços Baixos e Planície de Inundação.

Os *Terraços Reafeiçoados como Interflúvios* correspondem a feições de fundo de vale, suavemente inclinadas ao interior dos vales fluviais, apresentando topos achatados com contorno ligeiramente arredondados, servindo, eventualmente, como divisores de pequenos tributários. Encontram-se topograficamente acima do *Terraço de Acumulação*. Podem ser

relacionadas à primeira geração de rampas de colúvio (Rampa 3) reconhecidas por Meis (1977).

O *Terraço de Acumulação* constitui uma superfície plana marcante de entulhamento dos vales fluviais. Corresponde a uma antiga planície aluvial, elevada em relação ao nível da drenagem e da planície de inundação, apresentando traços de canais abandonados e paleocanais. Corresponde ao nível de terraço superior (T3) descrito por Meis (1977).

Os *Terraços Erosivos* correspondem, em geral, a um ou dois níveis escalonados de terraços fluviais situados topograficamente abaixo do Terraço de Acumulação e lateralmente adjacentes. São interpretadas como o resultado de retrabalhamento erosivos do *Terraço de Acumulação*, em fase de encaixamento da drenagem subsequente ao evento de intensa sedimentação que deu origem ao entulhamento dos vales. Os níveis escalonados indicam o sentido do encaixamento fluvial, podendo estar relacionado aos mecanismos de migração lateral registrado pelas marcas de paleocanais identificados sobre os terraços de acumulação. Correspondem ao Terraço 2 descrito por Meis (1977).

Os *Terraços Baixos e Planícies de Inundação* constituem feições principalmente deposicionais, a poucos metros acima dos canais fluviais, acompanhando os principais cursos d'água. Representam as unidades morfoestratigráfica Terraço Inferior (T1) e Degraus de Várzea (T0) descrita por Meis (1977).

3.5. Estratigrafia de depósitos sedimentares fluviais

A estratigrafia, por sua vez, apresenta-se indispensável para a análise e interpretação dos depósitos sedimentares, assim como dos processos envolvidos em sua gênese. De acordo com a *International Stratigraphic Guide* (Hedberg, 1976), esta é a ciência que estuda, não só a sucessão original e a idade das rochas sedimentares, como também, da sua forma, distribuição, composição litológica, conteúdo paleontológico, buscando inferir seus ambientes de origem e sua história geológica. Objetiva a correlação entre os processos e eventos geológicos no tempo e no espaço, visando compreender o ambiente de origem. Possui como principal ferramenta o levantamento de perfis estratigráficos de detalhe, onde se torna possível estudar a sucessão temporal e espacial das rochas, buscando o conhecimento dos ambientes de origem e mecanismos de formação e da história geológica de uma determinada região. Em síntese a estratigrafia se pauta na leitura de fácies sedimentares em afloramentos e testemunhos para a interpretação do registro sedimentar.

O termo fácies surgiu, dentro da comunidade geológica, numa tentativa de padronizar e simplificar as informações obtidas nas descrições de campo, de modo a permitir a fácil comunicação entre os pesquisadores da área e evitar a profusão de nomes e conceitos que versassem sobre um mesmo tema (Ferreira & Castro *apud* Ramos, 2003). No presente trabalho, entende-se como fácies a definição dada por Selley (1985), na qual uma fácies sedimentar representa uma massa de rocha sedimentar que pode ser definida e distinguida das demais por sua geometria, litologia, granulometria, grau de seleção, estrutura sedimentar, direção de paleocorrentes e conteúdo fossilífero. A litologia do depósito oferece informações sobre a área fonte, ao passo que a granulometria, grau de seleção e estruturas sedimentares fornecem indícios sobre o transporte e a deposição, refletindo o nível de energia e os processos sedimentares envolvidos.

Mendes (1984) complementa o termo fácies como produto resultante da atuação de processos físicos, químicos e biológicos nos diferentes ambientes deposicionais., refletindo as condições atuantes no momento da deposição sedimentar. Reading & Levell (1996) definem fácies sedimentar como um corpo de rocha com características específicas, como cor, composição, textura, fósseis e estruturas sedimentares, podendo ser dividida em sub-fácies ou agrupada em associações de fácies. Estas fácies devem ser interpretadas num contexto ambiental, com referência às fácies vizinhas e, conseqüentemente, agrupadas como associações de fácies que são geneticamente relacionadas. Ao enfatizar a litologia como característica principal para a distinção de fácies, acompanhado das estruturas sedimentares, da textura e da geometria, utiliza-se o termo litofácies.

Selley (1985) define como sendo uma massa de rocha sedimentar que pode ser definida e distinguida das demais por sua geometria, litologia, granulometria, grau de seleção, estrutura sedimentar, direção de paleocorrentes e conteúdo fossilífero. A litologia do depósito oferece informações sobre a área fonte, ao passo que a granulometria, grau de seleção e estruturas sedimentares fornecem indícios sobre o transporte e a deposição, refletindo o nível de energia e os processos sedimentares envolvidos.

Walker & Cant (1984) entendem que a simples definição e reconhecimento de uma determinada fácies não é suficiente para inferir o seu ambiente de formação, citando, por exemplo, uma fácies de arenito com estratificação cruzada que pode ser formada em ambiente fluvial meândrico ou entrelaçado, em canal de maré ou até mesmo em área *off-shore* dominadas por correntes costeiras. Indicam que é necessário estabelecer a forma com que as fácies se associam, em uma sucessão vertical, com referências às fácies vizinhas por terem sido geradas em ambientes deposicionais lateralmente contíguos, agrupadas em associações

de fácies geneticamente e ambientalmente relacionadas. Segundo os mesmo autores, em uma sucessão vertical, uma passagem gradacional entre duas fácies sugere que elas estão associadas, tendo sido geradas em ambientes deposicionais lateralmente contíguos, ao passo que um contato abrupto ou erosivo pode indicar intervalos de não deposição ou mudanças significativas no ambiente deposicional.

Os perfis estratigráficos de detalhe são considerados instrumentos importantíssimos na caracterização de uma sucessão de fácies, que, segundo Borghi (2000), consiste na relação unidimensional entre fácies onde podem ser reconhecidas associações de fácies. Contudo, segundo o autor, cabe ressaltar que essa técnica possui algumas limitações, devido a sua perspectiva bidimensional dos pacotes sedimentares, não contemplando importantes variações laterais. O mesmo autor entende associação de fácies como “uma relação tridimensional de fácies, ou seja, uma relação espacial elaborada ou expressa, por exemplo, por correlações de perfis ou por seções sedimentográficas”.

Segundo Walker & Cant (1984), a partir de uma sucessão vertical de fácies que mostre uma relação genética e ambiental é possível estabelecer, através das associações de fácies, um modelo de fácies que represente seu sistema deposicional. Selley (1985) define como sendo uma representação gráfica do pacote sedimentar em forma de coluna, no qual configuram componentes litológicos de uma seção aflorante, seu arcabouço sedimentar, forma, cor, espessura, textura, composição mineralógica, estruturas internas e tipos de contatos entre as camadas. Em um dos estudos de Walker & Cant (1984) observaram a sucessão vertical de fácies em depósitos sedimentares fluviais e formularam uma sequência idealizada para canais entrelaçados e meandantes (modelos teóricos).

O sistema fluvial do tipo entrelaçado, conforme figura 3.4, é caracterizado por mosaico de barras sedimentares e canais rasos, ocorrência diversos canais e na apenas um único principal, com grande suprimento de material detrítico grosso, ocorrendo descargas com flutuações bruscas (Walker & Cant, 1984). Este modelo é marcado por uma complexidade de feições deposicionais, com barras de canal orientando-se longitudinalmente, transversalmente ou obliquamente ao sentido do fluxo. As formas de leito são marcadas por migração de dunas de crista reta ou sinuosa formando estrutura cruzada tabular ou acanalada, respectivamente. São marcadas por sucessão de fácies em caixote, predominando sedimentos de fração areia e cascalho, sendo típicos de ambientes com excesso de carga de fundo em relação à descarga líquida.

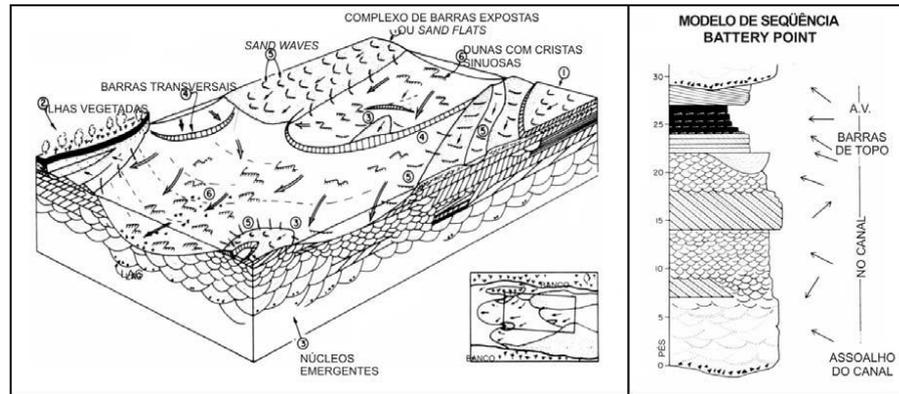


Figura 3.4: Modelo deposicional de sistema fluvial entrelaçado e seção colunar esquemática (Fonte: Walker & Cant, 1984)

O sistema fluvial meandrante seria composto por um canal meandrante ativo, meandros abandonados e uma série de outros depósitos como barras de acreção lateral, diques marginais e depósitos de transbordamento. Segundo este modelo, as sequências deposicionais completas representativas de sistemas meandrantentes apresentariam uma sucessão de fácies com granodrecrescência ascendente, composta por depósitos de fração cascalho na base (depósitos residuais), sucedidos por sequências arenosas da acreção lateral da barra de pontal, pelos depósitos de diques marginais e pelitos da planície de inundação no topo (FIGURA 3.5).

Os depósitos residuais correspondem à fração mais grossa entre os sedimentos fluviais, geralmente com granulometria do tipo cascalho e areia, preenchendo as depressões dos leitos fluviais e ocupando as porções basais de sequências de barras de pontal (Suguio, 2003). Apresentam fácies areno-conglomeráticas com estratificações cruzadas acanaladas de médio a grande porte, sendo comum a presença de clastos de argilas. As barras de pontal são tipicamente compostas de areias finas à média com estratificação cruzada acanalada e cruzadas tabulares. Os depósitos de diques marginais são caracterizados por apresentarem estruturas sedimentares similares àquelas encontradas na parte superior das barras de pontal, porém com granulometria mais fina. Os depósitos de transbordamento de canal apresentam extensos pacotes de siltitos e argilitos com presença bastante comum de marcas de raízes e gretas de dissecação (Walker & Cant, 1984).

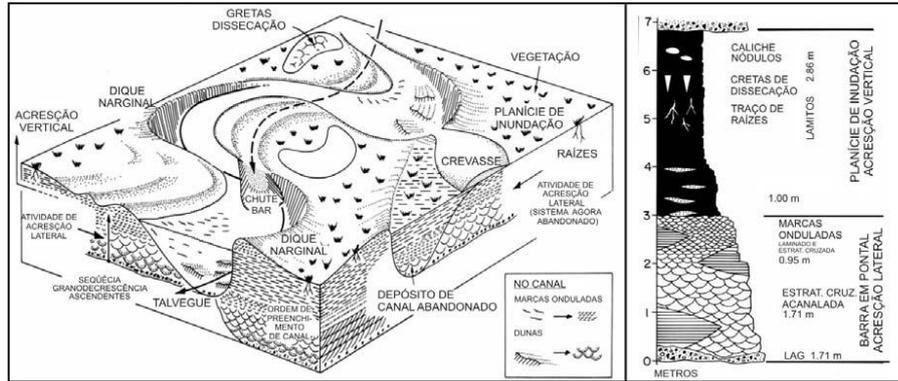
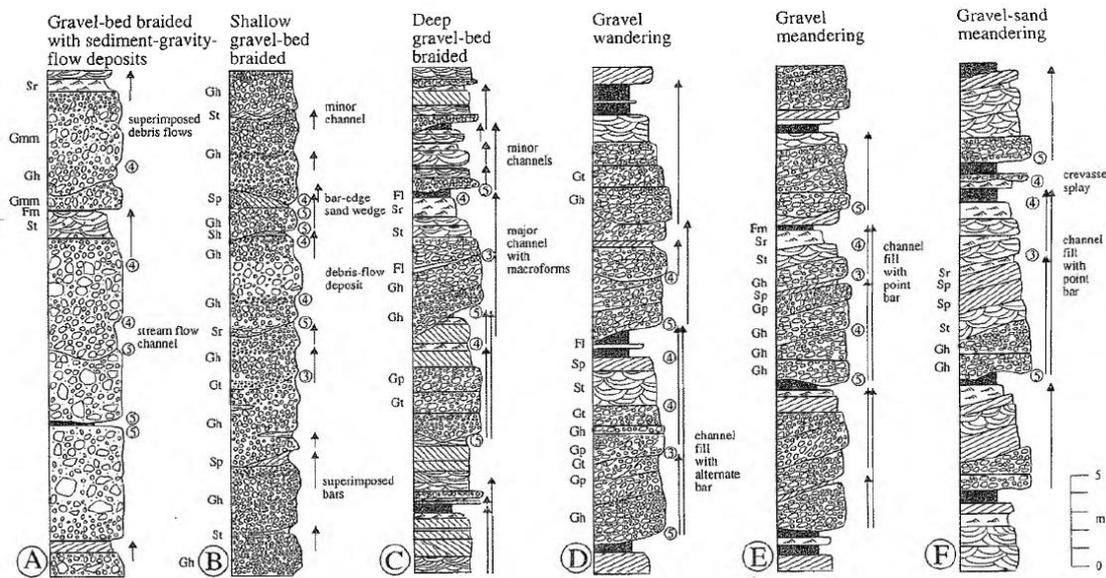


Figura 3.5: Modelo deposicional de sistema fluvial meandrante e seção colunar esquemática representada por depósito de acreção lateral e vertical (Fonte: Walker & Cant, 1984).

Os modelos supracitados são considerados como os padrões típicos de sistemas fluviais, entretanto, na realidade, os ambientes são bem mais complexos e dotados de particularidades que os diferem dos demais ambientes que lhe são afins. Dentro desse contexto, Miall (1996) propõe um rol de 16 modelos de associação fácies, que possuem em sua essência os modelos de fácies padrões de ambientes meândricos e entrelaçados (FIGURA 3.6).



depósitos desenvolvidos nas barras longitudinais e barras de pontal. De modo geral, de acordo com Miall (1996), estas feições são comuns em ambientes meandriformes quanto em entrelaçados, formadas por uma mesma associação de fácies arenosas, diferindo na forma como se desenvolvem a partir da migração das formas de leito, se lateral ou para jusante no canal principal. A barra longitudinal, forma de leito de acreção a jusante, normalmente correspondendo à feição típica de canais entrelaçados, pode apresentar durante o seu desenvolvimento migração lateral, que já seria típico das barras de pontal dos modelos de padrão meândrico (Miall, 1996).

4. MÉTODOS, TÉCNICAS E MATERIAIS

Os procedimentos metodológicos utilizados nesta pesquisa visam atender aos objetivos propostos na pesquisa, pautando-se na análise integrada de dados geomorfológicos e estratigráficos acerca dos depósitos sedimentares quaternários aluviais (terraços fluviais e planície de inundação).

A base conceitual sobre a qual se assenta esse trabalho está no conceito de unidades morfoestratigráficas, utilizando para tal fim a proposta de Meis & Moura (1984). Segundo as autoras, as unidades morfoestratigráficas se estabelecem pela relação genética direta entre a forma topográfica e o depósito sedimentar, com base na lito- ou aloestratigrafia, sendo necessário o reconhecimento de superfícies deposicionais, assim como a realização de análises estratigráficas detalhadas. Moura (1990) destaca que a morfoestratigrafia torna-se um valioso instrumento no reconhecimento e mapeamento de depósitos quaternários.

Assim, os produtos deste trabalho resultaram essencialmente do mapeamento de unidades morfoestratigráficas realizadas em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) e de atividades de campo para levantamento de seções e perfis estratigráficos de detalhe.

Os procedimentos utilizados foram sistematizados em três etapas distintas, sendo: a 1ª etapa consistiu na compilação e elaboração de dados referentes à caracterização geológica e geomorfológica; a 2ª etapa corresponde à análise morfoestratigráfica, com o mapeamento da forma em planta dos terraços fluviais e da análise faciológica dos depósitos sedimentares; e a etapa 3ª onde há a integração das informações, provenientes das duas etapas anteriores, para fins de análise e discussão. Todas as etapas e procedimentos utilizados serão a seguir melhor descritos.

4.1. Etapa 1: Caracterização geológico-geomorfológica.

Buscou-se, na primeira etapa da pesquisa, obter informações de âmbito regional que dessem subsídio à análise da sedimentação quaternária na bacia do rio Macaé. Foram, assim, levantadas informações referentes à **contextualização geológica e geomorfológica** da área de estudo, como também dos **aspectos morfológicos e morfométricos**.

Para a **contextualização geológica** da área de estudo foi confeccionado o mapa geológico das unidades lito-estratigráficas da bacia do rio Macaé a partir da compilação da base cartográfica de unidades lito-estratigráficas, na escala 1:100.000, contidas no banco de

dados GEOBANK¹ do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, referentes às folhas Nova Friburgo (SF23-Z-B-II), Casimiro de Abreu (SF23-Z-B-III), Cabo Frio (SF23-Z-B-IV), Macaé (SF24-Y-A-I) e Rio das Ostras (SF24-Y-A-IV). Para a caracterização e descrição das unidades litoestratigráficas apresentadas no mapa geológico, utilizou a definição de Silva & Cunha (2001), no Projeto Rio de Janeiro – CPRM. Contudo, algumas unidades litoestratigráficas não foram abarcadas na pesquisa devido à diferenciação de escala, que no caso deste utilizou escala 1:400.000. Nestes casos, só se utilizou a definição contida nas folhas geológicas supracitadas.

Para a **contextualização geomorfológica** da área de estudo foram compilados dois mapas temáticos com bases conceituais diferenciadas. O primeiro foi o mapa de unidades geomorfológicas de Dantas (2000) e o outro o mapa de compartimentos geomorfológicos de Silva (2002).

O mapa de unidades geomorfológicas de Dantas (2000) baseou-se na metodologia de Ross (1990), norteado pelos conceitos de morfoestrutura e morfoescultura, a partir da interpretação de imagens de satélite Landsat TM (bandas 3, 4 3 5) na escala 1:250.000, com apoio de cartas topográficas na escala de 1:50.000 e de fotos aéreas na escala de 1:60.000. A taxonomia aplicada refere-se apenas aos dois primeiros táxons da proposta de Ross (1990), referentes às unidades morfoestruturais e morfoesculturais, onde para cada unidade morfoescultural delimitada, foram identificados os sistemas de relevo existentes no estado do Rio de Janeiro. O critério de individualização dos sistemas de relevo consistiu no agrupamento em relevos de agradação, onde predominam os processos deposicionais, e em relevos de degradação, onde predominam os processos erosivos. Como complemento à caracterização dos distintos sistemas de relevo reconhecidos, realizou-se uma amostragem com cálculo dos seguintes parâmetros morfométricos: amplitude altimétrica, gradiente de encosta, geometria de topos e encostas, densidade de drenagem e coberturas inconsolidadas.

O mapa de compartimentos geomorfológicos de Silva (2002) tem como base a técnica desenvolvida por Meis *et al.* (1982), onde o conceito de bacia de drenagem é utilizado como unidade básica para o cálculo do desnivelamento altimétrico. Foi realizado com base nas cartas topográficas na escala de 1:50.000, e agrupadas para a escala 1:250.000 no mapa regional que recobre todo o estado do Rio de Janeiro. Esta abordagem concebe que em bacias formadoras da rede de drenagem o valor entre a cota superior e a inferior, antes de atingir a

¹ Banco de dados projetado e desenvolvido em plataforma Oracle® para dar suporte ao Projeto GIS Brasil do Serviço Geológico do Brasil –CPRM objetivando o cumprimento de sua missão institucional. Pode ser acessado pelo site <http://geobank.sa.cprm.gov.br> em downloads > arquivos vetoriais.

drenagem coletora, corresponde ao trabalho de dissecação do relevo efetuado pela atuação de agentes erosivos ao longo do tempo geológico (Silva, 2002). Este índice (FIGURA 4.2) é calculado com base no desnivelamento altimétrico, $\Delta h = h_{\text{máx}} - h_{\text{mín}}$, que reflete o grau de encaixamento fluvial ou entalhamento erosivo das encostas, variando de acordo com a litologia e/ou com as diferentes histórias de movimentação geológica, refletindo, no modelado, domínios de relevo distintos resultantes de dinâmicas diferenciadas (SILVA, 2002).

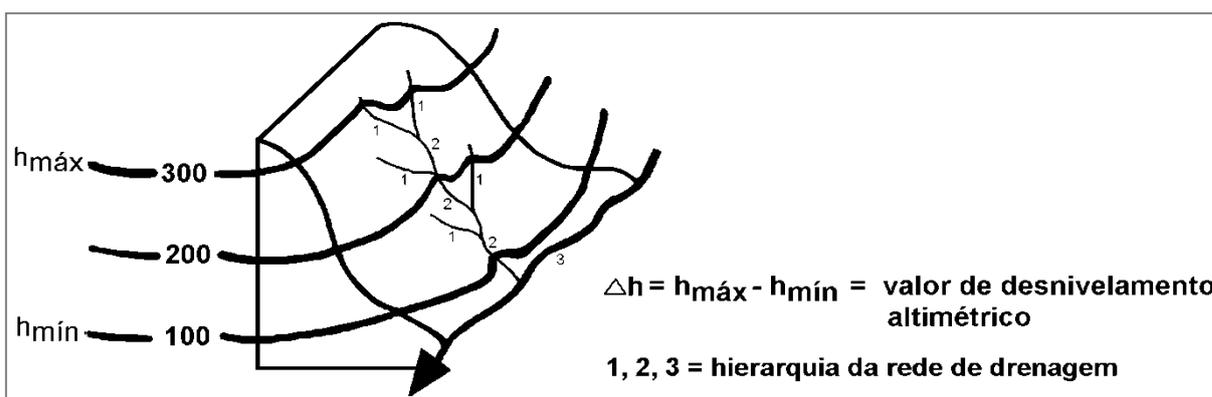


Figura 4.1: Bloco diagrama esquemático para cálculo do índice de dissecação do relevo (SILVA, 2002).

Na obtenção dos **aspectos morfológicos** da área de estudo, buscou-se levantar informações topográficas (hipsometria, declividade, perfis longitudinal e transversal). A base de dados utilizada para tal finalidade é proveniente das cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do modelo digital de elevação (MDE) proveniente das imagens do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*).

As cartas topográficas utilizadas, na escala 1:50.000, são referentes às folhas Nova Friburgo (SF-23-Z-B-II-4), Trajano de Moraes (SF-23-Z-B-III-2), Quartéis (SF-23-Z-B-III-3), Casemiro de Abreu (SF-23-Z-B-III-4), Conceição de Macabu (SF-24-Y-A-I-1), Carapebus (SF-24-Y-A-I-2), Macaé (SF-24-Y-A-I-3), e Cabiúnas (SF-24-Y-A-I-4). Todos os dados foram tratados e manipulados no ambiente do ArcGis 9.3.

As informações topográficas (hipsometria, declividade e perfil topográfico) foram obtidas a partir do modelo digital de elevação (MDE) gerado a partir dos dados provenientes do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*)². O MDE foi tratado e manipulado dentro do

² O projeto SRTM faz parte de um programa que visa examinar a superfície terrestre, oceanos, atmosfera, gelo e a vida como um sistema integrado. Os dados da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) são o resultado de um projeto cooperativo entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*), DLR (Agência Espacial Alemã) e ASI (Agência Espacial Italiana) com o objetivo de gerar um Modelo Digital de Elevação (MDE) da Terra usando a interferometria.

programa *ArcGis 9.3*, passando por processo de refinamento da resolução espacial, de 90 para 30 metros, e correções de erros. Para geração da hipsometria, foi primeiramente extraído do MDE as curvas de nível, com intervalo de 20 metros, e a partir deste, foi realizada a triangulação com base na estrutura de grade triangular, mais conhecida como TIN (*Triangular Irregular Network*). O TIN representa a superfície por meio de um conjunto de faces triangulares interligadas. Para cada um dos três vértices da face do triângulo são armazenadas as coordenadas de localização (x, y) e o atributo z correspondente. Com o mapa hipsométrico pronto, foi gerado o mapa de declividade utilizando para tal a ferramenta *3D Analyst – slope* (FIGURA 4.3).

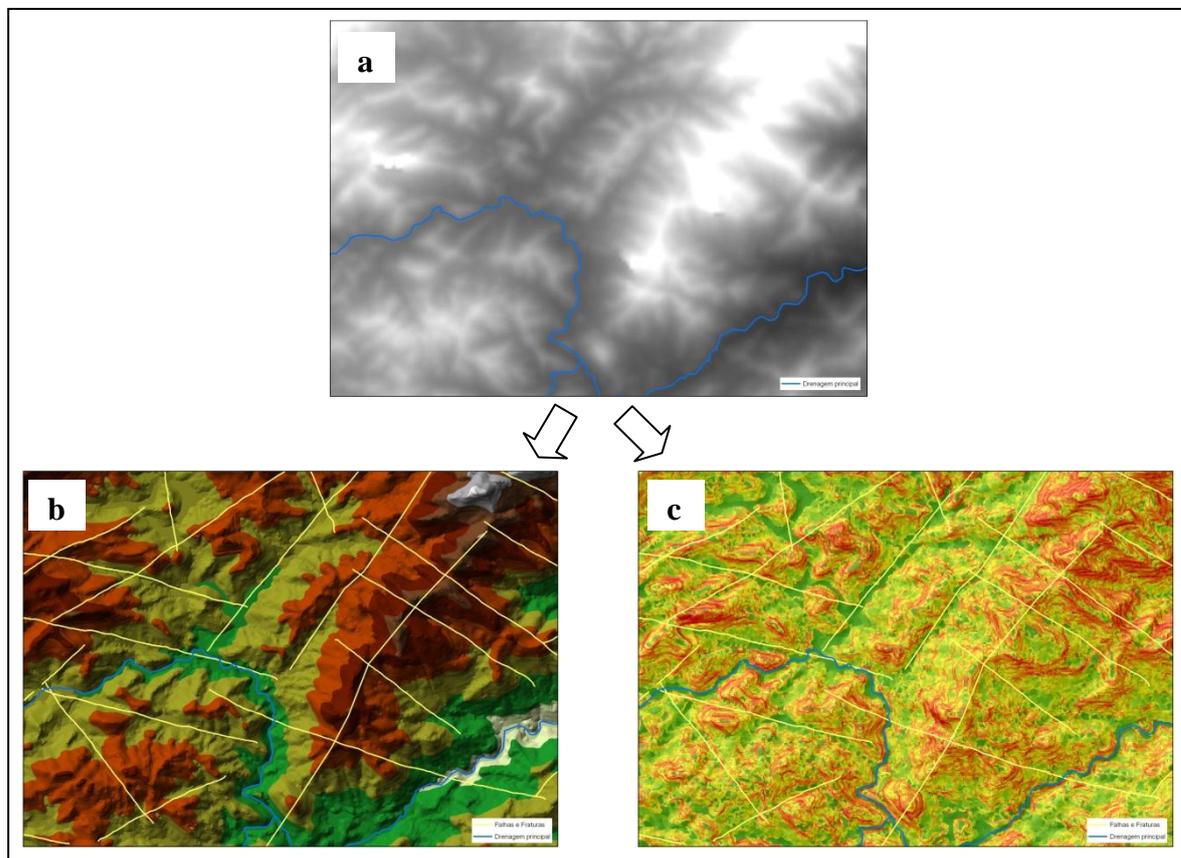


Figura 4.2: Extração de mapa hipsométrico (b) e mapa de declividade (c) a partir de dados do SRTM (a).

O perfil longitudinal do rio Macaé foi elaborado a partir das cartas topográficas do IBGE, na escala de 1:50.000, já elencadas anteriormente, dado pelo comprimento do canal e sua altitude correspondente obtida pelo cruzamento com as curvas de nível.

O perfil longitudinal representa a relação entre a altitude e o comprimento de determinado curso d'água da nascente à foz, expressa pelo gradiente do canal. O perfil característico é côncavo para cima, com declividades maiores na nascente e menores em

direção à jusante. Essa característica seria resultante de três regimes diferentes ao longo do curso d'água (LEOPOLD *et al.*, 1964). O alto curso, considerado como área de erosão; o médio curso, que se caracteriza por área de transferência de sedimentos; e o baixo curso, a área de acumulação ou sedimentação. Esse perfil foi descrito por G. K. Gilbert em 1877 (*apud* CHRISTOFOLETTI, 1981) como representativo do perfil de equilíbrio. Em síntese, segundo o mesmo autor, o rio estaria em equilíbrio quando a quantidade da carga de sedimentos fornecida aos canais for igual à quantidade que é transportada, não havendo entalhe do talvegue e nem agradação.

Esse conceito torna-se importante quando se quer analisar as anomalias no perfil longitudinal e associá-las com a espacialização dos terraços, pois modificações externas que provoquem alteração no perfil de equilíbrio causam reajustes em trechos do canal a fim de absorver essas mudanças e estabelecer um novo estado de equilíbrio. Desta forma, trechos do perfil com forma convexa podem expressar condições de desequilíbrio.

4.2. Etapa 2: Análise morfoestratigráfica

Buscou-se nesta etapa da pesquisa identificar os depósitos sedimentares fluviais quaternários presentes ao longo do vale do rio Macaé. Estes depósitos possuem estreita relação genética com as feições geomorfológicas. Estão distribuídos irregularmente, muitas vezes fragmentados e descontínuos sobre as múltiplas formas de relevo, observando forte relação entre os depósitos sedimentares quaternários e as diferentes formas do relevo. Possuem forma bastante singular, representando na topografia superfícies horizontais ou levemente inclinadas nos fundos de vale. Contudo as fracas declividades dos planos das rampas de colúvio podem confundir o pesquisador a partir da interpretação morfológica.

Bigarella & Mousinho (1965), em seu trabalho sobre a evolução das vertentes, já chamavam a atenção para a insuficiência de métodos puramente morfológicos para identificação de depósitos quaternários fluviais, devido ao fato de que épocas de colúviação extensiva tanto no Pleistoceno como o Holoceno obliteraram as feições originais daquelas formas.

Porém, apesar de morfológicamente poderem ser confundidos, os processos envolvidos em suas formações são bem distintas, um sendo fruto de processos de agradação e degradação fluvial, enquanto o outro é produto de carga sedimentar proveniente das encostas e depositado nos sopés das vertentes ou pouco distante destes (SCHUMM, 2005).

O entendimento das relações entre os depósitos sedimentares e as formas do relevo, integração entre geomorfologia e estratigrafia, se faz necessária e de grande importância no estudo do registro sedimentar quaternário. Essa integração se fez na presente pesquisa sobre a ótica do conceito de morfoestratigrafia de Meis & Moura (1984), onde sugerem que este conceito deve ser restringido a condições em que seja possível detectar com base na lito- ou aloestratigrafia, uma relação genética direta entre a forma topográfica e o depósito. Definem, então, as unidades morfoestratigráficas, onde propõem o **reconhecimento de superfícies deposicionais quaternárias** e a realização de **análises estratigráficas de detalhe**.

Para o **reconhecimento das superfícies deposicionais quaternárias** foi realizado o mapeamento destas em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) a partir de técnicas de fotointerpretação. Para tal, foram utilizadas fotografias aéreas ortorretificadas na escala 1:10.000 e 1:25.000, contando ainda com o auxílio de imagens de satélite provenientes do aplicativo *Google Earth 6*. As ortofotos na escala de 1:10.000 são do ano de 2000 e foram fornecidas pelo INEA (Instituto Estadual do Ambiente) pela parceria com o LAGESOLOS³ (Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos). As ortofotos na escala 1:25.000 são do ano de 2005 e foram baixadas, gratuitamente, do sítio do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)⁴. O tratamento e análise das imagens foi realizado dentro de ambiente SIG, através do *software ArcGis 9.3*, utilizando a ferramenta de edição vetorial, como pode ser visualizada pela figura 4.4.

Foram mapeadas feições morfoestratigráficas ao longo de todo o vale do rio Macaé, desde o alto curso até o baixo curso, perfazendo um total de 132 km de extensão. A identificação dessas feições deposicionais fluviais quaternárias foi norteadas por trabalhos como o de Moura (1990), Mello (1997) e Santos-Silva (2006), onde foram definidas para esta pesquisa três unidades morfoestratigráficas: (I) Terraço Reafeiçoado; (II) Terraço de Acumulação; e (III) Terraço Baixo / Planície de Inundação.

No processo de fotointerpretação das feições morfoestratigráficas baseou-se em elementos como a rede de drenagem, geometria das formas topográficas, variações de textura, tonalidade e cor da fotografia aérea (ocasionadas principalmente por mudanças da cobertura vegetal e umidade), posição altimétrica em relação à drenagem, padrão, contexto em que está inserida a feição, dentre outras.

³ Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos (LAGESOLOS) vinculado ao Departamento de Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IGEO/UFRJ).

⁴ www.ibge.gov.br > Downloads/Geociências > acessado em 02 de Junho de 2010.

Na escolha das áreas selecionadas para a apresentação nesta pesquisa, priorizaram-se os locais que possuíssem mais de uma unidade morfoestratigráfica, em que tivessem a maior quantidade de níveis deposicionais diferentes e onde houvesse maior expressividade areal das feições morfoestratigráficas. Assim, por serem distribuídas de forma descontínua e fragmentada na bacia, diversos locais não atendiam aos critérios acima elencados, havendo em muitos casos apenas a feição de Planície de Inundação, que é a mais expressiva na bacia, possuindo grandes extensões laterais no baixo curso do rio Macaé. Já os níveis de terraços fluviais (Terraço Reafeiçoado e Terraço de Acumulação) são encontrados em menor escala e localmente espacializados. Desta forma, foram elencadas algumas áreas que contemplassem estas unidades para reconhecimento estratigráfico em campo, em seções exposta e afloramentos. Por fim, propôs-se a elaboração de um mapa de feições morfoestratigráficas (FIGURA 4.4).

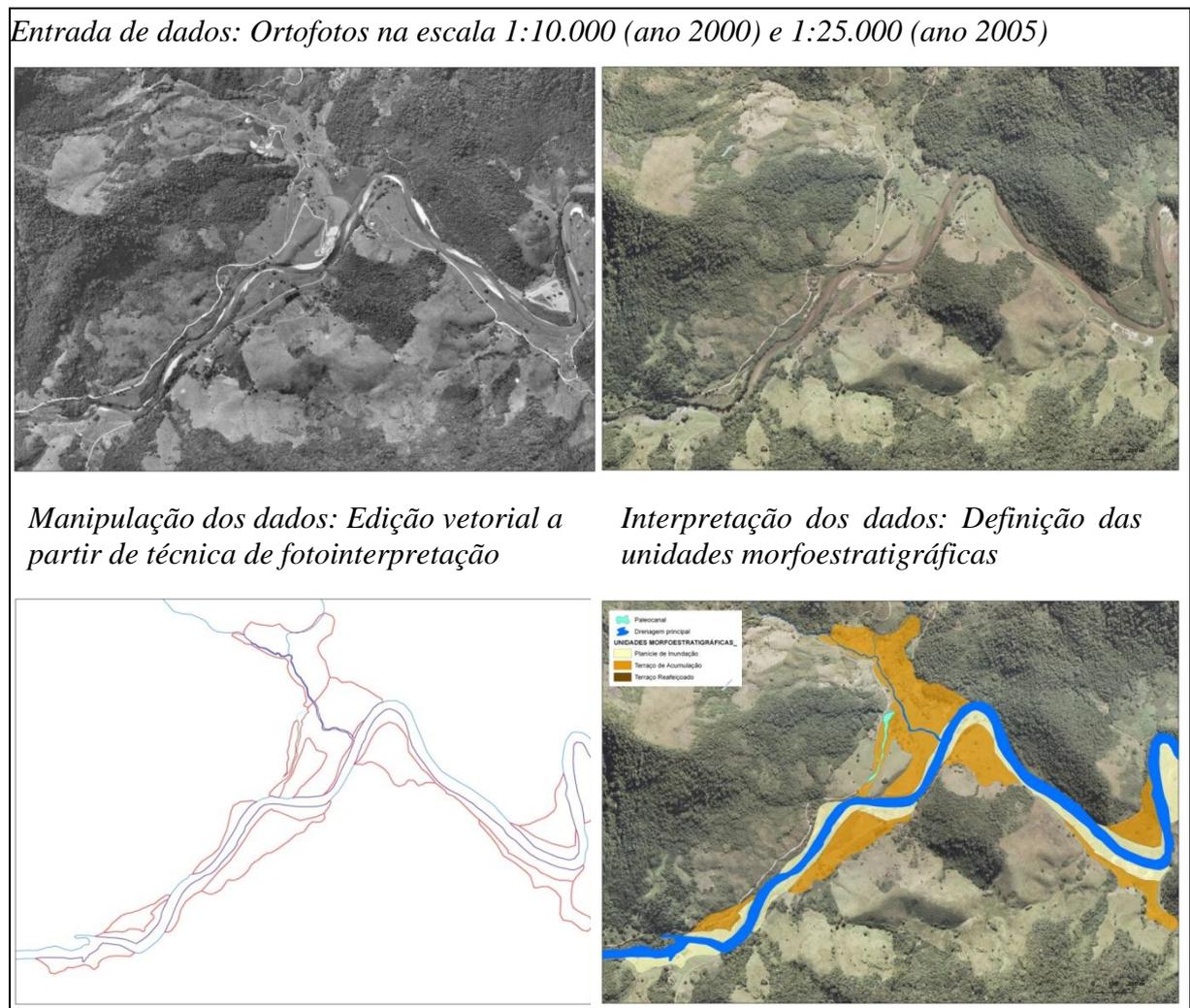


Figura 4.3: Exemplo dos procedimentos realizados em ambiente SIG, com auxílio do *software ArcGIS 9.3*, na confecção dos mapas das feições morfoestratigráficas identificadas ao longo do vale do rio Macaé.

Após o mapeamento das feições morfoestratigráficas pelo processo de fotointerpretação das imagens aéreas ortoretificadas, foi realizada visitas a campo nas áreas selecionadas para realização de **seções transversais esquemáticas** das áreas de sedimentação, **perfil altimétrico** dos diferentes patamares de terraços fluviais e **análises estratigráficas de detalhe** dos depósitos sedimentares fluviais quaternários a partir do reconhecimento de fácies sedimentares.

Foram confeccionados croquis das seções transversais das áreas de sedimentação mapeadas como forma de retratar os diferentes patamares de terraços fluviais em relação à calha do rio Macaé. Cabe ressaltar que, como a ideia de realizar tais perfis é de apenas representar esquematicamente a configuração altimétrica entre as feições morfoestratigráficas, os contatos representados entre as feições assim como a escala horizontal são apenas esquemáticos e não uma representação do real, visto que não foram utilizados sondas para tal finalidade.

Para a aquisição das informações altimétricas das diferentes feições morfoestratigráficas foi utilizado equipamento do tipo DGPS (*Differential Global Positioning System*) para obter com precisão o desnível entre os níveis de terraços fluviais quanto em relação à calha do rio Macaé.

Perfis e seções estratigráficas foram realizados para caracterizar estes depósitos além de servirem no estudo da sucessão vertical de fácies. Os perfis foram feitos em campo utilizando papel milimetrado e posteriormente digitalizados através do programa Corel Draw. Para a área pesquisada foi levantado um total de treze perfis e uma seção estratigráfica. A partir dos perfis estratigráficos foi possível identificar diferentes fácies sedimentares, classificadas de acordo com suas características litológicas e pelo tipo de estrutura sedimentar presente.

Miall (1996) propõe uma codificação para unificar e padronizar o conceito de fácies sedimentares, adotado nesta pesquisa, apresentando um conjunto com 20 fácies mais comuns de ocorrer em ambientes fluviais. Esse código é constituído por duas letras, onde a primeira, maiúscula, indica a granulometria do arcabouço sedimentar e a segunda, minúscula, uma característica que geralmente se refere à estrutura sedimentar (FIGURA 4.5). Cabe ressaltar que o próprio Miall (1996) assinala que essa codificação não representa todo o universo possível de tipos diferenciados de fácies sedimentares, motivo pelo qual não devem constituir uma nomenclatura rígida e inadequada.

Para a definição do arcabouço sedimentar, são muitas as propostas de escalas de classificação granulométrica. Em todas elas são definidas quatro classes texturais, com

propriedades físicas distintas, sendo elas: cascalho, areia, silte e argila. Porém não há consenso entre as propostas supracitadas em relação aos limites dimensométricos das classes texturais. As maiores divergências encontram-se nas classes mais grosseiras, havendo discordância tanto em termos de dimensionamento quanto em terminologia. As mais conhecidas são as escalas de Udden (1914) e Wentworth (1922). Para esta pesquisa foi utilizada a classificação granulométrica de Wentworth (1922), conforme figura 4.6

A partir da identificação das diferentes fácies sedimentares, foi realizado o reconhecimento das associações de fácies, que após serem interpretadas foram comparadas com os modelos de fácies propostos por Miall (1996), a fim de tentar determinar o sistema fluvial que as gerou. Miall (1996) define 16 modelos de estilos fluviais, agrupados em 3 grupos/partes com características comuns, são elas: (1) rios dominados por cascalho; (2) rios com alta sinuosidade dominados por carga arenosa; (3) rios com baixa sinuosidade dominados por carga arenosa.

A proposta de Miall (1996) de associar fácies e compará-los a modelos de fácies é bastante adotada por diversos autores por ser prática e de fácil aplicação. Porém não se deve buscar uma aplicação direta do código de fácies associada a uma interpretação de seu significado, pois, de acordo com Ferreira & Castro *apud* Ramos (2003), a validade das observações muitas vezes pode estar restrita apenas ao local em que elas se apresentam, fruto da própria dinâmica do meio e devem ser entendidas como uma variação peculiar aos modelos propostos. Ou seja, como cada ambiente pode apresentar características próprias que o difere de outros meios similares, é de se esperar que haja fácies diferentes das propostas por Miall (1996), já que é impossível universalizar uma codificação de fácies.

Código	Litofácies	Estruturas sedimentares	Interpretação
Gmm	Cascalho suportado pela matriz	Maciço com gradação incipiente	Fluxo viscoso de detrito (alta energia)
Gmg	Cascalho suportado pela matriz	Maciço com gradação inversa a normal	Fluxo viscoso de detrito (baixa energia)
Gci	Cascalho suportado pelos clastos	Gradação inversa	Fluxo de detritos com elevada concentração de clastos
Gcm	Cascalho suportado por clastos	Maciço	Fluxo turbulento
Gh	Cascalho suportado pelos clastos	Estratificação horizontal; imbricação	Formas de leito longitudinais (barras longitudinais); depósitos residuais
Gt	Cascalho estratificado	Estratificação cruzada acanalada	Preenchimento de canais secundários
Gp	Cascalho estratificado	Estratificação cruzada planar	Forma de leitos transversais (barras transversais)
St	Areia fina a muito grossa podendo ter grãos de cascalho (grânulos e seixos)	Estratificações cruzadas acanaladas isoladas ou agrupadas	Migração de dunas de crista sinuosa ou linguóide (Dunas 3D)
Sp	Areia fina a muito grossa podendo ter grãos de cascalho (grânulos e seixos)	Estratificações cruzadas planares isoladas ou agrupadas	Migração de dunas de crista reta (Dunas 2D)
Sr	Areia muito fina a grossa	Laminações cruzadas por <i>ripples</i>	Migração de ondulações (<i>ripples</i>)
Sh	Areia muito fina a grossa podendo ter grãos de cascalho (grânulos e seixos)	Laminações horizontais	Fluxos de leito plano
Sl	Areia muito fina a grossa podendo ter grãos de cascalho (grânulos e seixos)	Laminações de baixo ângulo (<15°)	Antidunas e preenchimento de sulcos (<i>scour</i>)
Ss	Areia fina a muito grossa podendo ter grãos de cascalho (grânulos e seixos)	Sulcos (<i>scour</i>) largas e rasos	Preenchimento de sulcos (<i>scour</i>)
Sm	Areia fina a grossa	Maciça ou laminação incipiente	Depósitos de fluxos gravitacionais
Fl	Areia, silte, argila	Laminação fina, ondulações (<i>ripples</i>) muito pequenas	Depósito de transbordamento, canais abandonados, ou fluxo decrescente
Fsm	Silte, argila	Maciço	Depósitos de bacias de inundação ou canais abandonados
Fm	argila, silte	Maciça com gretas de concreção	Depósito de planícies de inundação ou canais abandonados
Fr	argila, silte	Maciça, raízes, bioturbação	Solos
C	Carvão, argilas orgânicas	Plantas, filmes de argila	Depósito de brejos
P	Paleossolo carbonoso	Feições pedogenéticas, nódulos e filamentos	Solo com precipitação química

Figura 4.4: Classificação de litofácies de acordo com Miall (1996).

Tamanho da partícula (mm)	Classe	Fração	
256 a 4096	Matacão (Boulder)	Cascalho (Gravel)	Conglomerado (Conglomerate)
64 a 256	Calhau (Cobble)		
2 a 4	Seixo (Pebble)		
1 a 2	Areia muito Grossa	Areia (Sand)	Arenito (Sandstone)
0.50 a 1	Areia grossa		
0.25 a 0.50	Areia média		
0.125 a 0.25	Areia fina		
0.063 a 0.125	Areia muito fina		
0.031 a 0.063	Silte grosso	Lama (Mud)	Lamito (Mudstone)
0.015 a 0.031	Silte médio		
0.008 a 0.015	Silte fino		
0.004 a 0.008	Silte muito fino		
0.00006 a 0.004	Argila (Clay)		

Figura 4.5: Classificação granulométrica utilizada em campo para a descrição dos depósitos sedimentares (Wentworth, 1922).

A figura 4.7 apresenta uma síntese dos procedimentos metodológicos descritos nesta etapa da pesquisa, com as técnicas utilizadas na identificação dos depósitos sedimentares fluviais quaternários ao longo do vale do rio Macaé até se chegar à identificação do sistema deposicional que deu origem a estes depósitos. Essa reconstrução é feita a partir da caracterização das fácies sedimentares e do reconhecimento das associações de fácies, comparando-a com os modelos de fácies propostos por Miall (1996).

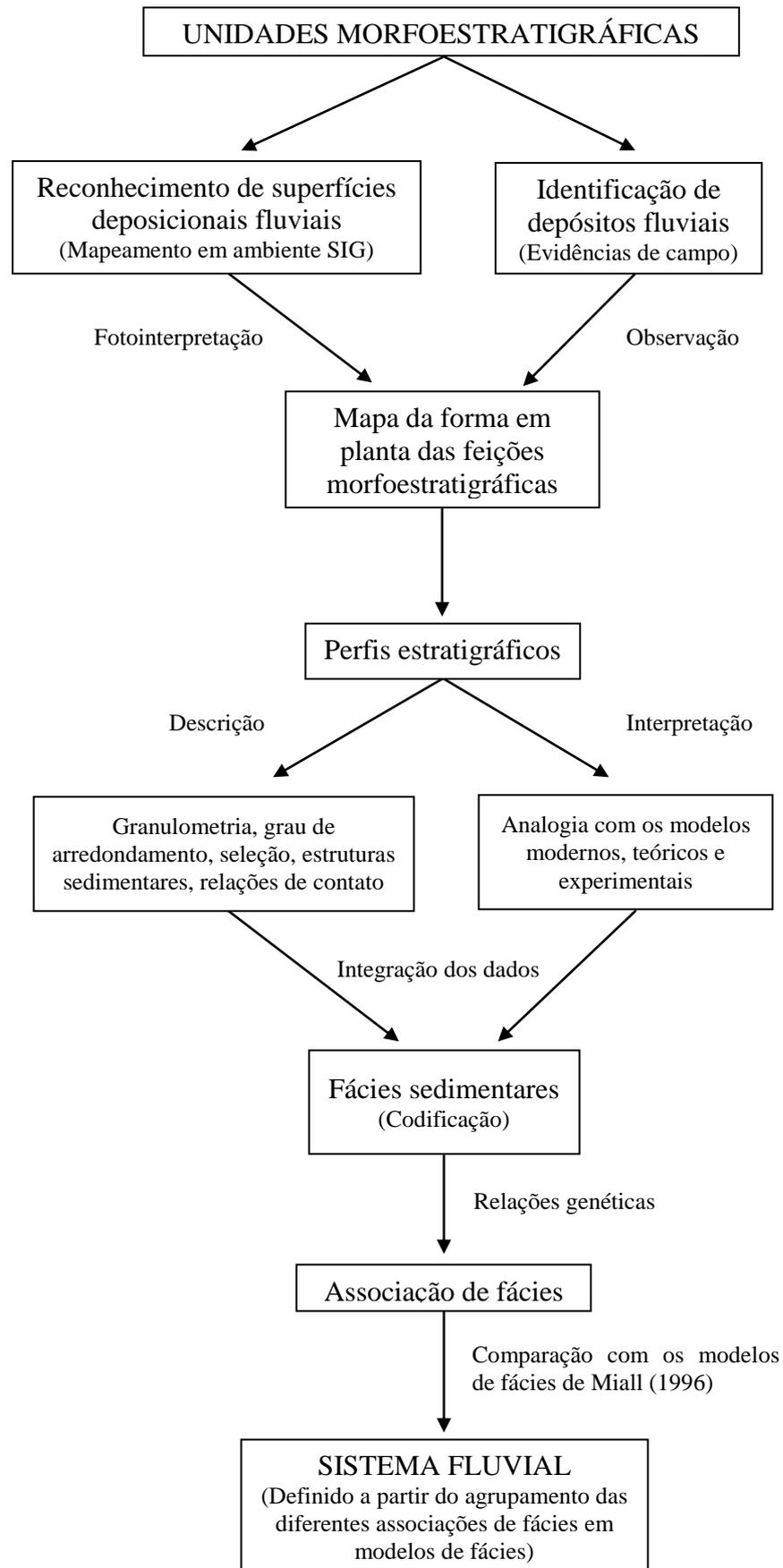


Figura 4.6: Fluxograma da Etapa 2 dos procedimentos metodológicos.

4.3. Etapa 3: Integração das informações

A etapa 3 da pesquisa consistiu na integração das informações geradas nas etapas anteriores, coligindo os dados da etapa 1, sobre geologia (litologia e estruturas geológicas), geomorfologia (dissecação do relevo) e parâmetros morfológicos (hipsometria, declividade, perfil longitudinal do rio Macaé, perfis transversais), com os da etapa 2, sobre a análise morfoestratigráfica (mapa da forma em planta das feições morfoestratigráficas, perfis estratigráficos, reconhecimento de fácies sedimentares e associação de fácies). Essa integração se faz necessária na medida em que os depósitos sedimentares quaternários estão inseridos num contexto regional, onde as informações geradas na etapa 1 fornecem subsídios para as análises realizadas na etapa 2.

As informações coligidas buscam uma primeira abordagem na discussão sobre a sedimentação quaternária na bacia do rio Macaé, contribuindo para a compreensão da dinâmica de evolução pretérita desta bacia.

A figura 4.8 apresenta, na forma de um fluxograma esquemático, a sistematização dos procedimentos metodológicos abordados nesta pesquisa, elencando as diferentes técnicas empregadas nas etapas desenvolvidas, assim como o suporte epistemológico empregado.

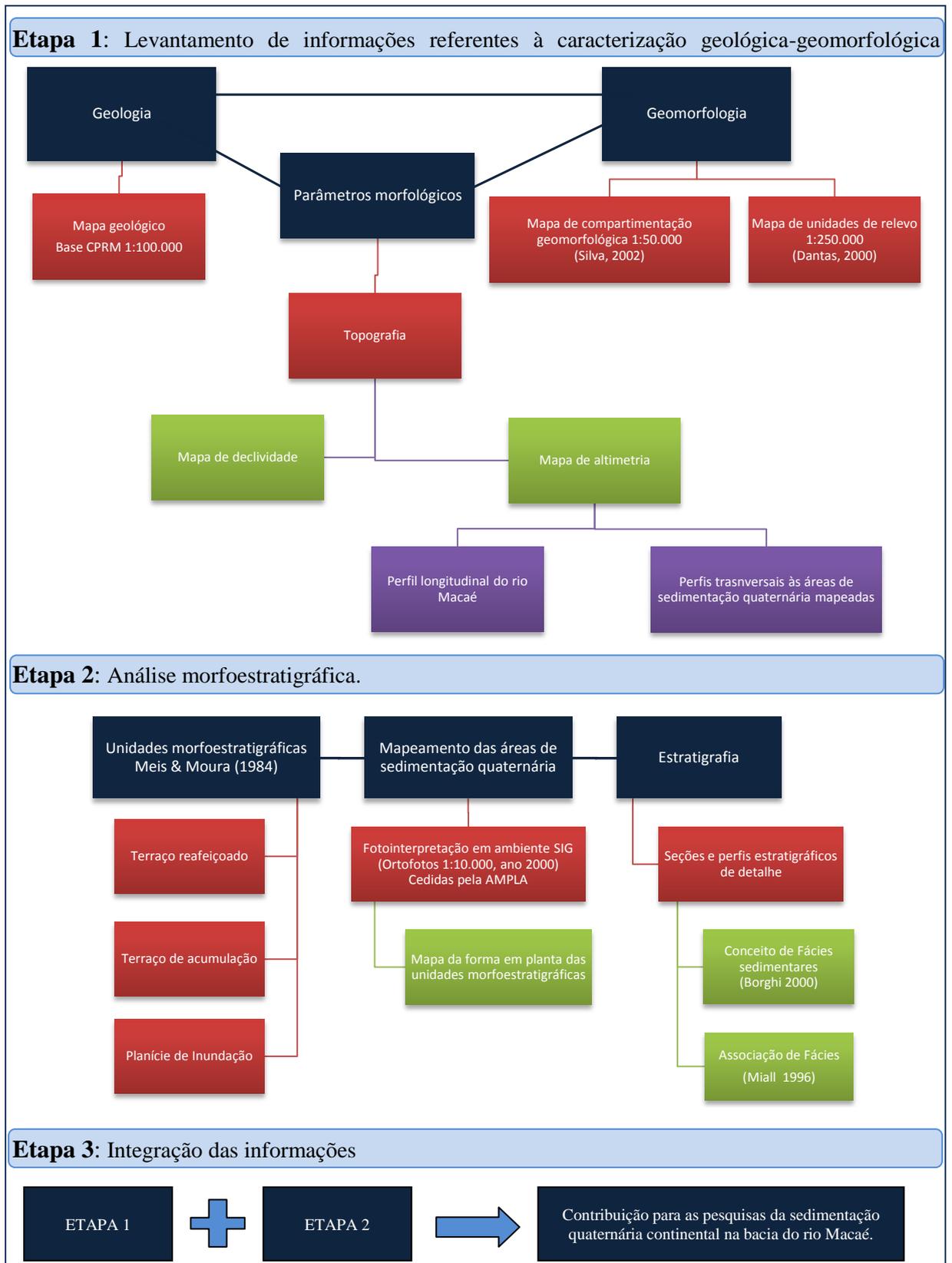


Figura 4.7: Fluxograma da metodologia de trabalho

5. CONTEXTO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO

5.1. Contexto Geológico

De acordo com a subdivisão do território brasileiro em províncias estruturais, segundo Almeida *et al.* (1977), o estado do Rio de Janeiro está contido na Província Mantiqueira. A província estende-se ao longo da costa brasileira, entre o sul do Rio Grande do Sul e da Bahia, junto à margem oriental do Cráton do São Francisco, com franca orientação NE-SW (SILVA & CUNHA, 2001).

Segundo os mesmos autores, a Província Estrutural Mantiqueira é considerada a mais complexa província afetada pelo Ciclo Orogênico Neoproterozoico/Cambriano (Brasiliano) na América do Sul, durante a amalgamação do Supercontinente Gondwana. Esse evento foi responsável pela deformação, metamorfismo e magmatismo dos diversos terrenos.

Os orógenos instalados ao Cráton do São Francisco, durante a orogênese Neoproterozoica Brasileira/Pan-Africana, foram inicialmente designados de Faixa Brasília, a oeste, Faixa Ribeira, a sul-sudeste, e Faixa Araçuaí, a leste (SILVA & CUNHA, 2001).

Segundo Almeida *et al.* (1977), o Rio de Janeiro está vinculado à evolução tectono-metamórfica da Faixa Ribeira. De acordo com Fonseca (1998), mais da metade do estado do Rio de Janeiro é formado por terrenos metamórficos de alto grau do Proterozoico, onde as principais unidades litológicas aflorantes correspondem a gnaisses, granitos e migmatitos.

Abaixo seguem descritas as unidades litológicas identificadas no mapa geológico da bacia do rio Macaé de acordo com o mapeamento elaborado pela CPRM – Serviço Geológico Brasileiro na escala 1:100.000 (FIGURAS 5.1 e 5.2).

- **Complexo Região dos Lagos:** constituído por ortognaisses bandados/dobrados, cinzentos, de composição tonalítica e granítica, com abundantes paleodiques anfibolíticos deformados, datados do Paleoproterozóico. Petrograficamente, correspondem a biotita-plagioclásio-microclina ortognaisses tonalíticos a graníticos, com variações portadoras de hornblenda. No mapa geológico, devido à possibilidade de mapeamento decorrente da escala, foram individualizadas outras duas unidades pertencente ao Complexo Região do Lagos: (1) metagrabos e metanoritos, isotrópicos, equigranular, com granulação média a grossa; (2) Granito Araruama – hornblenda metagranito com megacrístais de feldspato potássico. São encontrados no baixo curso do rio Macaé pela margem direita, nas proximidades da confluência com o rio São Pedro até a sua foz.

- **Grupo São Fidélis:** pertencente ao Complexo Paraíba do Sul, é constituído principalmente por diversos tipos de gnaisses e migmatitos com idades Meso/Neoproterozoico, de natureza metassedimentar – kinzigitos, sillimanita-granada-biotita gnaisses e paragnaisses quartzo-feldspáticos. Também estão presentes quartzitos, anfibolitos, rochas metacarbonáticas e calcissilicáticas. Há ocorrência generalizada de bolsões e veios de leucossomas graníticos derivados de fusão parcial *in situ* e injeções.

Esta unidade é predominante na área de estudo, abrangendo grande parte de sua extensão areal, estendendo-se por uma longa faixa de orientação NE-SW, desde o alto até o baixo curso da bacia do rio Macaé. Estendendo-se por toda porção norte da área de estudo, os kinzigitos compreendem majoritariamente esta unidade. São compostos por granada biotita gnaiss, bandado com intercalações de sillimanita-granito gnaiss, quartzito, anfibolito e rochas calcissilicáticas. Estendendo-se por toda porção sul da área de estudo encontram-se sillimanita-granada-biotita gnaiss bandado ou homogêneo. Já os quartzitos possuem ocorrência restrita na área, identificados em Macaé de Cima, no qual se apresentam como corpo delgado de aproximadamente 200 m de espessura intercalados nos gnaisses. Composta por rochas de granulação fina a grossa com excesso de sílica contendo teores variáveis de mica (biotita, muscovita e/ou sericita), feldspatos (frequentemente caulinizados), sillimanita e granada.

- **Grupo Búzios-Palmital:** constituído de paragnaisses de idade Meso/Neoproterozóico, podem ser divididos em três associações litológicas, segundo Rodrigues *apud* Silva (2001): metapelítica, calcissilicática e anfibolítica. A primeira consiste em sillimanita-biotita xisto, sillimanita-cianita-K-feldspato gnaiss, biotita gnaiss, granada-biotita gnaiss, granada-quartzo gnaiss e quartzito feldspático. A segunda compreende duas formas de ocorrência: níveis de até 20cm de espessura, boudinados e intercalados nas associações pelítica e anfibolítica; e níveis de biotita-diopsídio gnaiss com espessura de, no máximo, seis metros. A terceira associação é constituída de anfibolito, diopsídio-anfibólio gnaiss e granada-anfibólio gnaiss. Esta unidade é pouco expressiva na área de estudo, aflorando no distrito de Casemiro de Abreu, em grande parte já fora na bacia do rio Macaé.
- **Complexo Trajano de Morais:** plúton correlato à unidade Rio Negro, de idade Neoproterozoica/Cambriana, composto por hornblenda gnaisses mesocráticos exibindo foliação muito acentuada ou até mesmo fino bandamento de composição diorítica a

granítica. Na área de estudo, correspondem a uma faixa plutônica pouco espessa, aproximadamente 600 m de largura, alongada segundo a orientação NE-SW, ocupando as cabeceiras de drenagem no alto curso do rio Macaé pela sua margem direita.

- **Suíte Imbé:** posterior à formação das rochas do Complexo Trajano de Morais, compreende toda a parte noroeste da área de estudo, ocupando as cabeceiras de drenagem pela margem esquerda do rio Macaé, e parte das cabeceiras de drenagem do médio curso da bacia do rio São Pedro, na porção nordeste. Formada por ortognaisses mesocráticos com megacristais de feldspato, coexistindo minerais típicos de afiliação sedimentar (sillimanita e muscovita) e ígnea (horblenda e biotita parda). Apresentam na sua composição quartzo, pagioclásio, microlina e biotita como minerais essenciais.
- **Suíte Cordeiro:** ortognaisse leucocrático a hololeucocrático de composição granítica, com foliação fraca a bem desenvolvida, e arranjos locais diatexíticos. Na bacia do rio Macaé não são encontradas rochas pertencentes a essa unidade, estando localizada na região de Cordeiro e Duas Barras.
- **Suíte Suruí:** Localmente denominado Granito Sana, são corpos de granito pós-tectônico de granulação fina, isotrópico, maciço, equigranular, com biotita e muscovita. Estão associados como produtos finais da granitogênese brasiliana, cambriano, e apresentam-se como formas circulares discordantes das estruturas regionais NE-SW das encaixantes. Ocupa grande parte do médio e alto curso da bacia do rio Macaé, onde os principais afluentes do rio Macaé (rios Sana, Ouriço e D'antas) nascem e escoam por longos trechos até parte de seu médio/baixo curso.
- **Enxame de diques da Serra do Mar:** diques de diabásios, gabros e basaltos de afinidade toleítica. Estão associados à Reativação Wealdeniana ao final do Paleozoico e início do Mesozoico quando da separação das placas tectônicas Sul-Americana e Africana. Há pouca ocorrência desta unidade dentro da área de estudo, sendo localizada na Serra de São Pedro na bacia do rio São Pedro com o mesmo alinhamento NE-SW que das escarpas serranas.

- **Grupo Barreiras:** de acordo com Ferrari *apud* Silva (2001), pacote sedimentar constituído de três unidades: areias grossas a conglomeráticas, com matriz caulínica, com estratificação cruzada planar na base do pacote; unidade intermediária composta interlaminações de areias grossas quartzosas com matriz areno-argilosa e argilas arroxeadas; e, no topo do pacote, nível de argila de cores vermelha e branca. Segundo Martin *apud* Silva (2001), a sedimentação desses depósitos teria ocorrido provavelmente durante o Plioceno, durante chuvas torrenciais associados a ambientes de leques aluviais. Tais depósitos foram mapeados próximos à foz do rio Macaé pela margem direita.
- **Depósitos quaternários:** coberturas sedimentares quaternárias de origem colúvio-aluvionar, formadaS por depósitos cascalhosos, argilo-arenosos e areno-argilosos, de grande variação composicional e granulométrica. Junto à base e meia encosta são formados por fluxos gravitacionais, movimento de massa do tipo rastejo ou escorregamento, formando rampas de colúvio e depósito de tálus. Ao longo das drenagens prevalecem os depósitos fluviais, podendo ser depositados no canal, nas margens do canal e na planície de inundação. Esses depósitos têm ocorrência em toda a área de estudo, preenchendo fundoS de vales e ocupando áreas ao sopé de encostas.

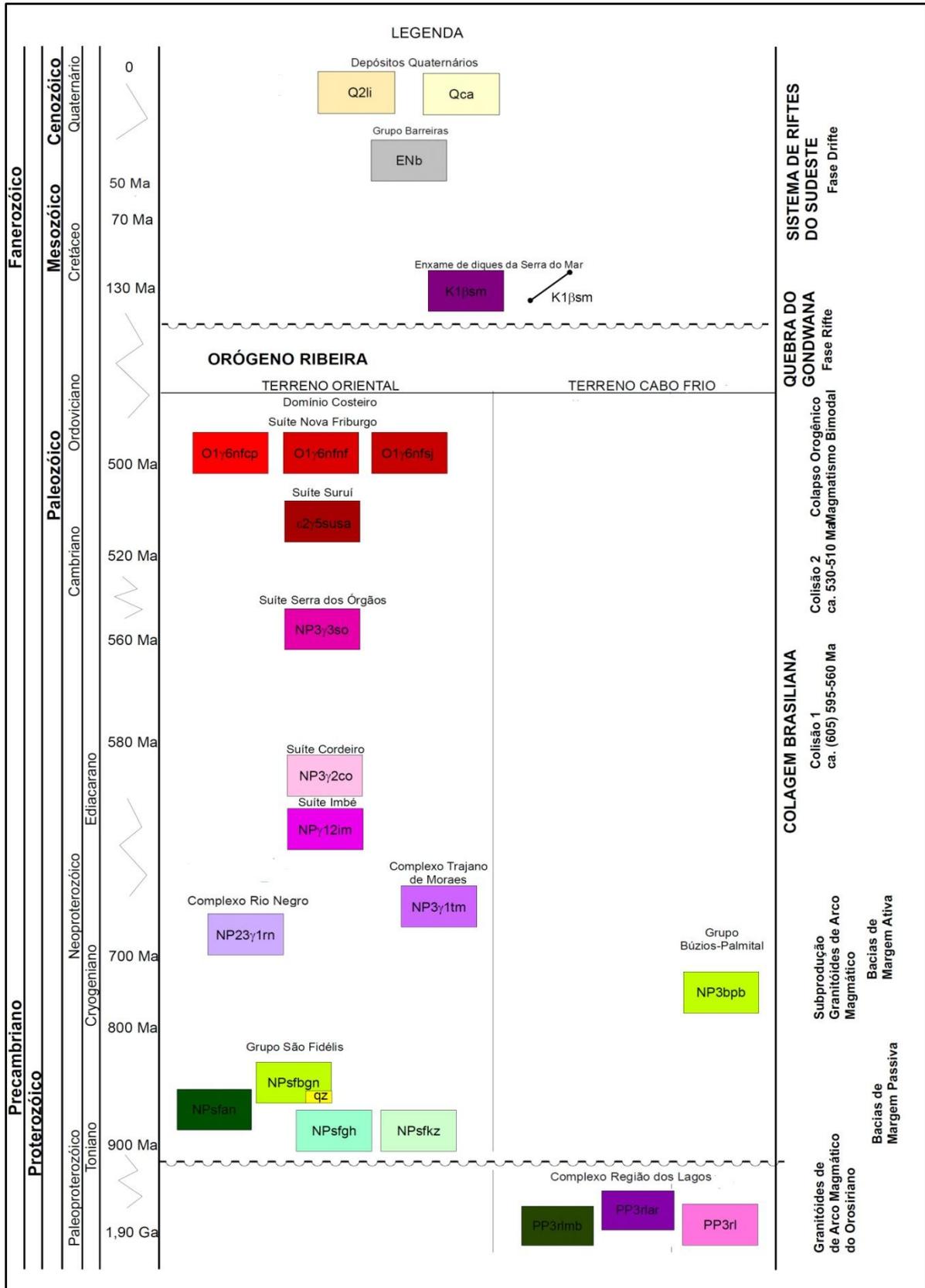


Figura 5.1: Coluna litoestratigráfica da bacia do rio Macaé (RJ). Adaptado de Silva & Cunha (2001).

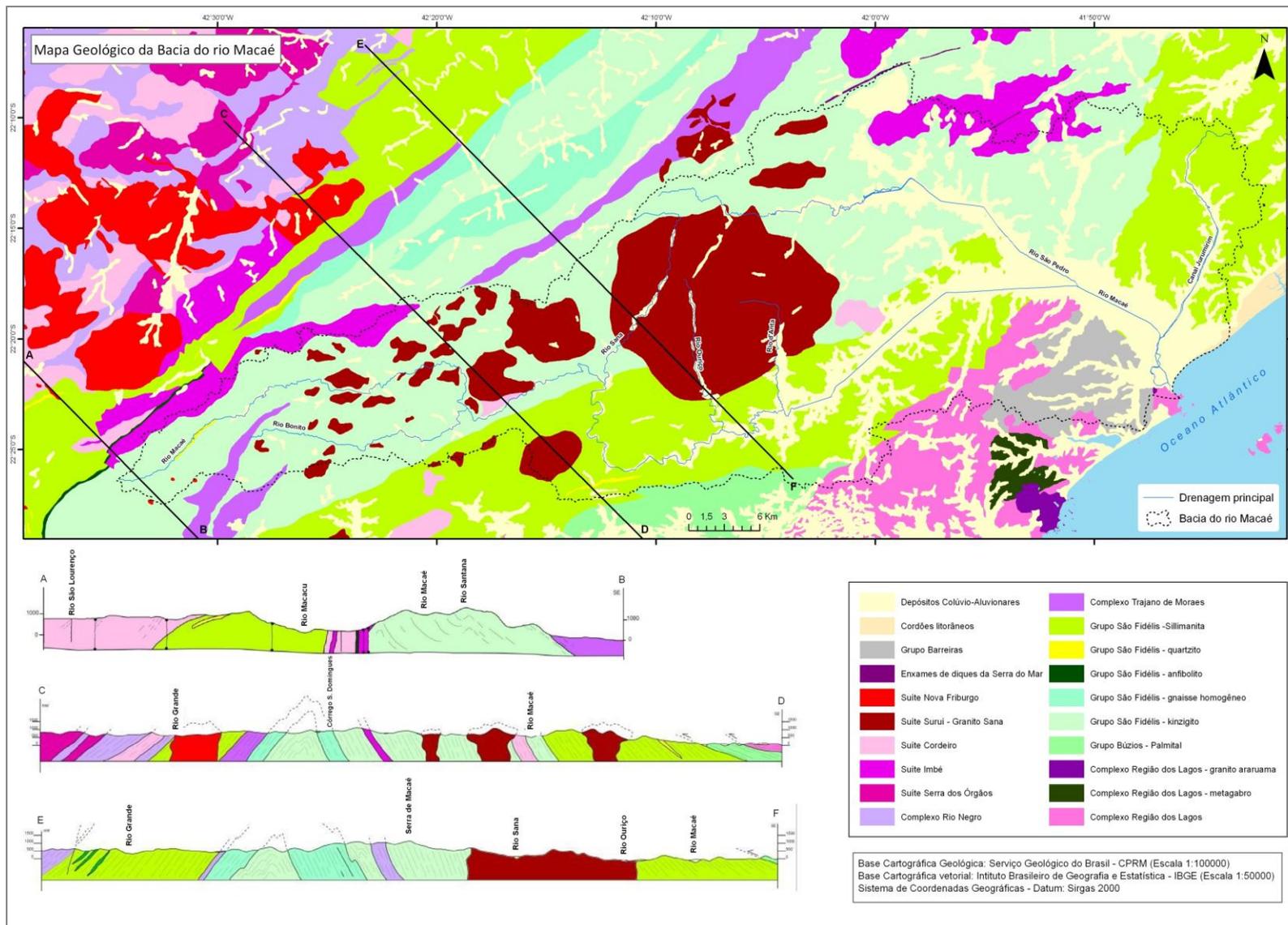


Figura 5.2: Mapa litológico da bacia do rio Macaé (RJ)

5.2. Contexto Geomorfológico

Algumas são as propostas de mapeamentos geomorfológicos, em escala regional, para a região em que está inserida a bacia do rio Macaé. Optou-se por utilizar o trabalho de compartimentação geomorfológica realizado por Silva (2002) para o Estado do Rio de Janeiro, por atender melhor aos objetivos da pesquisa. Segundo Silva (2007), o reconhecimento de compartimentos de relevo realizado a partir da técnica de desnivelamento altimétrico, calculada pela diferença entre a cota superior e inferior antes de atingir a drenagem coletora, indica o trabalho de dissecação do relevo efetuado pela atuação de agentes erosivos ao longo do tempo geológico. O índice de dissecação topográfica reflete o grau de encaixamento fluvial ou entalhamento erosivo das encostas, associada a variações litoestruturais e/ou tectônicas, refletindo, no modelado, domínios de relevo distintos e que correspondem a ambientes de dinâmicas também diferenciadas (SILVA, 2007). Mello (1997) ressalta para a presença de controles do substrato geológico-estrutural na estruturação do relevo e orienta áreas favoráveis ao acúmulo e preservação das sucessões sedimentares cenozoicas. O mapa apresentado pela figura 5.10, mostra os compartimentos geomorfológicos identificados na área da bacia do rio Macaé, são eles: Degraus Escarpados, Degraus e/ou Serras Reafeiçoados, Morros, Colinas, Planícies Flúvias e Flúvio-Marinhas.

Os compartimentos geomorfológicos descritos acima, segundo Silva (2002), possuem os seguintes significados geomorfológicos: Planícies Flúvias e Flúvio-Marinhas corresponde a superfícies horizontais a sub-horizontais, localizadas em diferentes altitudes e com gradiente suave, compreendendo os depósitos sedimentares quaternários do tipo planície de inundação e terraços flúvias; Colinas são caracterizadas pelo entulhamento dos vales, através da sedimentação de colúvios e alúvios, e das reentrâncias das cabeceiras de drenagem; Morros isolados com vales mais encaixados e sedimentação de colúvios e alúvios; Serras Locais ou Morfologias de Transição marcam degraus ou serras bastantes reafeiçoados com depósitos de colúvios, alúvios e tálus; Serras Escarpadas correspondem a degraus extremamente acidentados e gradiente muito elevado, com ocorrência de colúvio, tálus, solos rasos e afloramento rochoso.

Com base na orientação e contiguidade espacial dos compartimentos geomorfológicos suprecitados, Silva (2002) identificou para o Estado do Rio de Janeiro dois grandes domínios morfoestruturais, que estão associados às principais estruturas geológicas regionais: Domínio Morfoestrutural do Planalto Atlântico e o Domínio Morfoestrutural das Depressões Tectônicas Mesozóica-Cenozóicas (FIGURA 5.3). Estes dois domínios foram ainda

subdivididos em unidades menores, denominadas de Regiões Morfoestruturais (feições de relevo identificadas que possuem significado morfoestrutural).

A área de estudo abrange 3 das Regiões Morfoestruturais definidas por Silva (2002) (FIGURA 5.3): (I) **Região do Planalto e Escarpas da Serra dos Órgãos**; (II) **Região de Colinas e Morros do Leste**; e (III) **Região dos Terraços e Planícies Fluviais e/ou Flúvio-marinhas**.

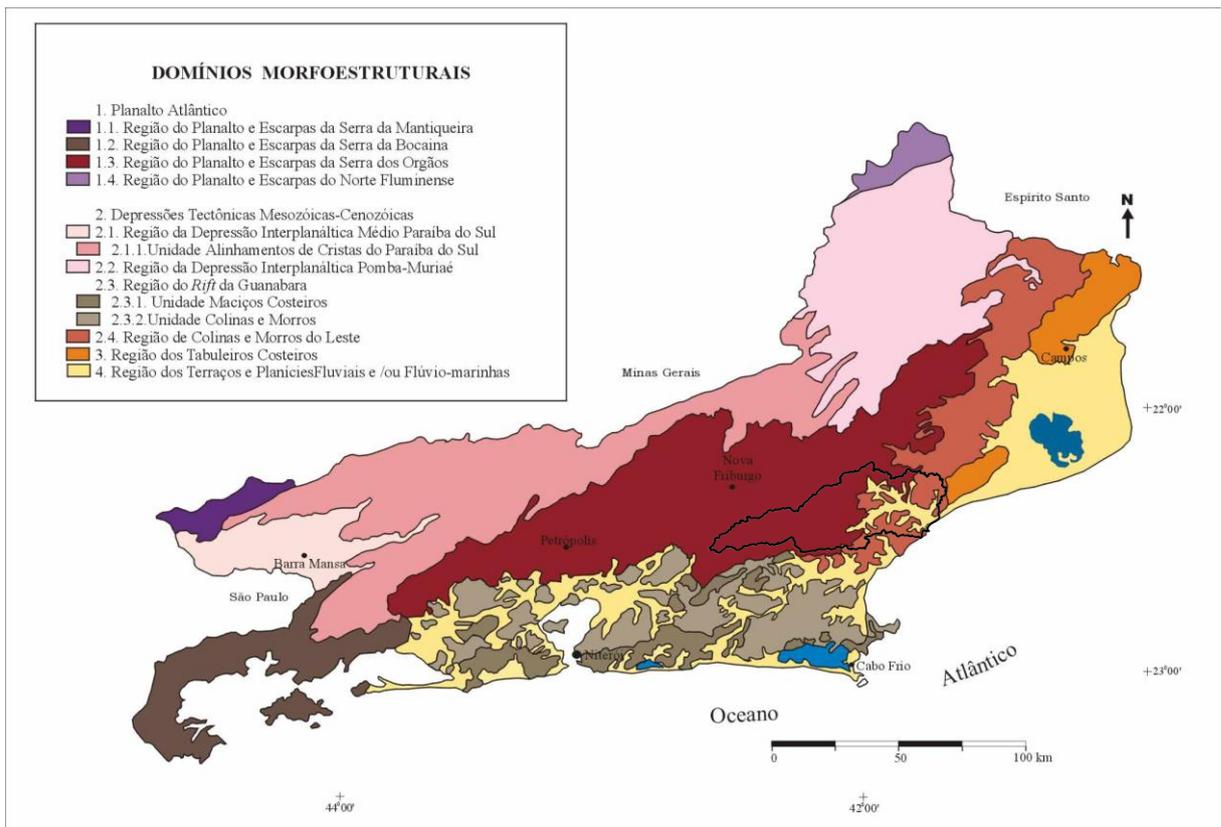


Figura 5.3: Mapa esquemático dos Domínios e Regiões Morfoestruturais do Estado do Rio de Janeiro (Fonte: Silva, 2002).

A unidade morfoestrutural **Planalto e Escarpas da Serra dos Órgãos** compreende grande parte da área de estudo, abrangendo o alto e médio curso da bacia do rio Macaé, desde o distrito de Muri (município de Nova Friburgo), a oeste da bacia, estendendo-se até Cachoeiro de Macaé (município de Macaé), a leste. Esta unidade caracteriza-se por um conjunto paralelo de cadeias serranas escarpadas com orientação preferencial NE-SW, cuja gênese está diretamente relacionado ao sistema de falhas normais originado na formação da Serra do Mar. Esta foi formada na fase de rifteamento decorrente do último grande evento tectônico associado à separação das placas tectônicas Sul-americana e Africana, no período denominado reativação Wealdeniana. A tectônica extensional gerou uma série de falhamentos

normais ao longo das linhas de fraqueza do Pré-Cambriano, dando origem a Serra do Mar no início do Paleógeno (Almeida, 1977; Asmus & Ferrari, 1978; Riccomini, 1989; Saadi, 1990).

Esse conjunto de escarpas serranas, localmente chamado de Serra de Macaé de Cima, é sustentado por rochas pertencentes ao Grupo São Fidélis (Complexo Paraíba do Sul), vide figuras 5.2 e 5.10, caracterizado pela forte influência litoestrutural, condicionando a rede de drenagem, assim como o trabalho de dissecação do relevo. Apresenta orientação preferencial NE-SW ou ENE-WSW, sendo todo entrecortado por vales estruturais orientados N-S e NW-SE, onde extensos tributários do rio Macaé, como os rios Sana, Ouriço e D'Antas, drenam a escarpa da Serra de Macaé de Cima seguindo essa mesma orientação (FIGURAS 5.4, 5.5 e 5.6). Já os rios Bonito e Macaé cortam esse conjunto serrano no sentido W-E, assim como o rio São Pedro que vai dismantelandando-o gradualmente, pela ação erosiva, em direção à localidade de Córrego do Ouro. As localidades de Cachoeiro de Macaé e Glicério encontram-se na base desses escarpamentos, na transição com os relevos planos e de colinas isoladas da planície fluvial do rio Macaé, situada na porção leste da bacia.

Destaca-se pelas grandes variações altimétricas, guardando características de cadeias orogênicas, apesar das longas fases erosivas a qual estiveram expostas, chegando a atingir picos com 1.800m de altitude (vide figuras 5.10 e 5.11). A linha de cumeada a norte da bacia do rio Macaé, sustentadas por rochas da Suíte Imbé, possui altitudes variando entre 1.200m e 1.700m. Já a linha de cumeada a sul da bacia possui divisores com altitudes menos elevadas, variando em torno de 850m a 1.200m (vide figuras 5.4, 5.5, 5.6 e 5.11).

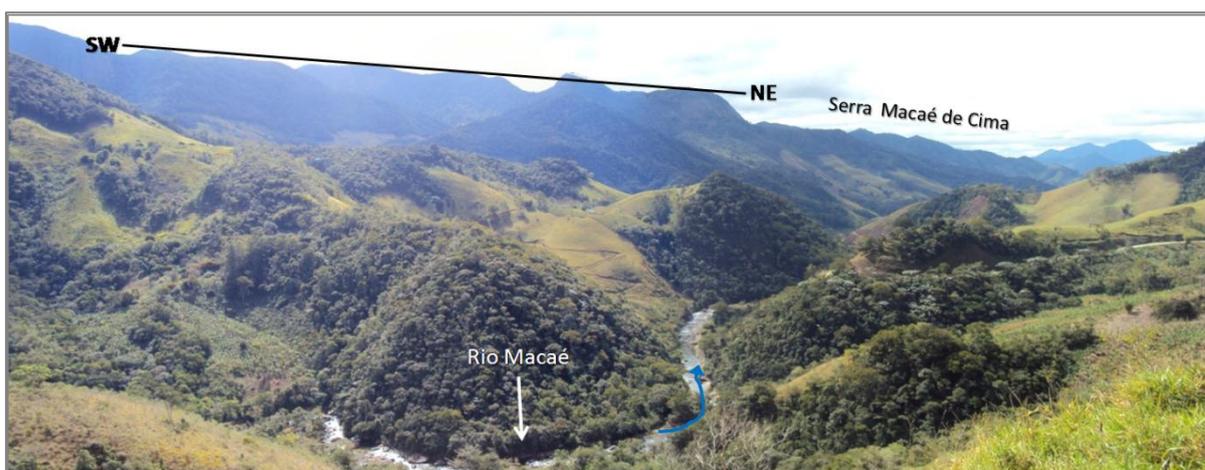


Figura 5.4: Visão do vale do rio Macaé em seu médio curso, à jusante, mostrando claramente forte alinhamento serrano com orientação preferencial NE-SW. Vertentes íngremes e dissecadas, com elevada amplitude altimétrica, superior a 700m. Fotografia tirada na RJ-142 (Estrada Serramar), próximo à localidade de Cascata em Casimiro de Abreu.

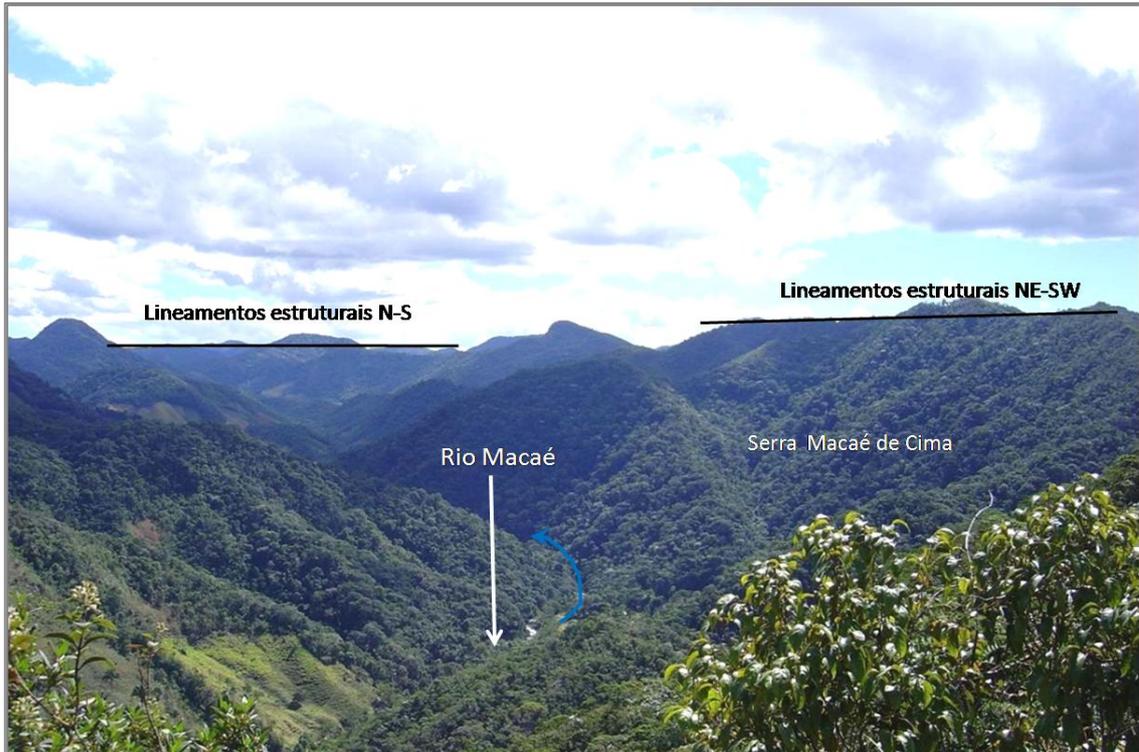


Figura 5.5: Visão do relevo formado por serras locais no alto curso da bacia do rio Macaé.

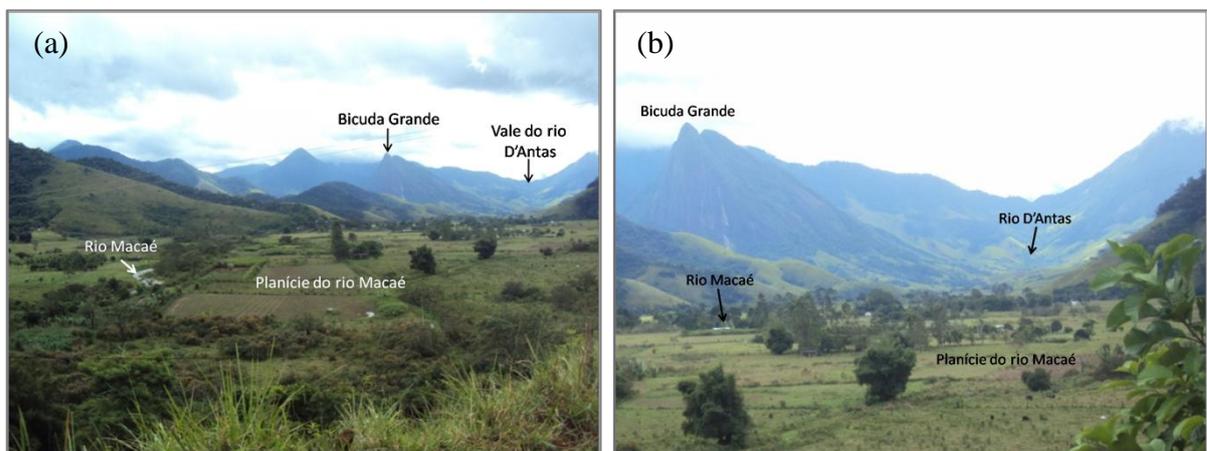


Figura 5.6: (a) Visão da área de transição entre os compartimentos de serras escarpadas e o de planície fluviais do rio Macaé, já em seu baixo curso. (b) Vale estrutural do rio D'Antas com divisores formados por rochas do Granito Sana. Na foto é possível visualizar o pico Bicuda Grande que dá nome a localidade.

Observando a figura 5.10, nota-se que os compartimentos geomorfológicos de maior amplitude altimétrica, serras escarpadas, estão localizados principalmente na parte central da bacia. São onde também ocorrem as maiores taxas de declividade, associadas aos corpos graníticos pós-tectônicos da Suíte Suruí, representadas pelos picos da Bicuda Grande e Bicuda Pequena (FIGURAS 5.7 e 5.12). Já na parte oeste da bacia, em seu alto curso, o desnivelamento altimétrico é menor, predominantemente em torno de 200m a 400m,

correspondentes ao compartimento de serras locais ou morfologias de transição, e vertentes com declividades médias.

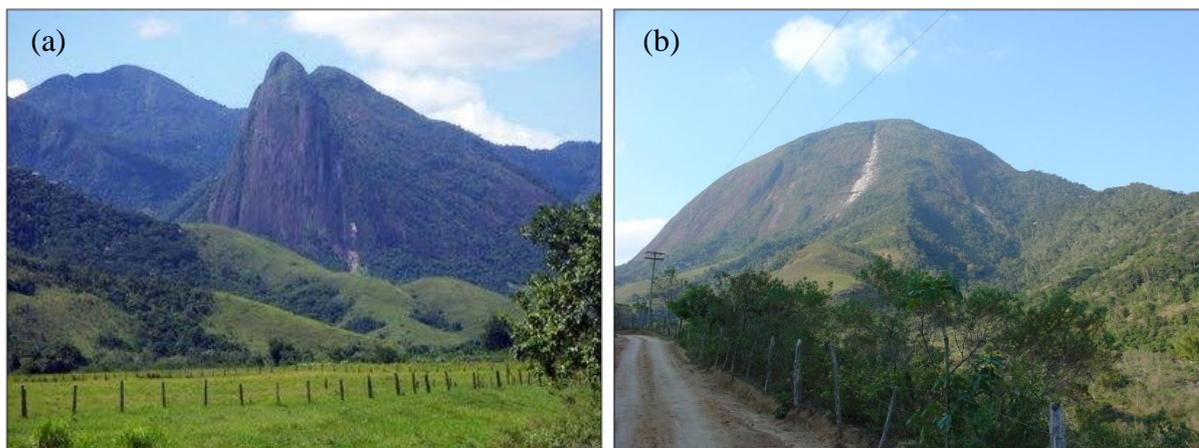


Figura 5.7: Relevo com elevada amplitudes altimétricas e vertentes com alta declividade, relacionados aos corpos graníticos da Suíte Suruí . (a) Bicuda Grande; (b) Bicuda Pequena.

Numa escala de maior detalhe, é possível observar no alto curso do rio Macaé uma morfologia com certa variedade, demonstrando diferenciação no trabalho de dissecação do relevo pela rede de drenagem. A vertente norte do vale do rio Macaé, pela sua margem esquerda, possui divisores mais elevados, atingindo amplitudes altimétricas de 600m, marcados pelos compartimentos de serras escarpadas e serras locais ou morfologia de transição, extremamente acidentados, com declividades médias. Já a vertente sul apresenta divisores rebaixados com declividades altas em determinados trecho, apresentando desnivelamento em torno de 200m, representados pelos compartimentos serras locais ou morfologia de transição e de morros. De acordo com Silva *et al.* (2006), esse tipo de feição de divisores rebaixados pode estar associado à dinâmica de alteração da paisagem ocorrida durante o Holoceno, envolvendo fenômenos associados a eventos neotectônicos.

A unidade morfoestrutural de **Colinas e Morros do Leste Fluminense** abrange grande parte do baixo curso da bacia do rio Macaé, se caracterizando como relevo de transição entre os terrenos elevados, a oeste, - marcado por relevo acidentado, escarpado, com vertentes íngremes, vales com alto grau de confinamento do canal escarpado, com forte controle estrutural, referentes aos compartimentos de serras escarpadas e serras locais ou morfologias de transição - e os terrenos baixos, a leste, - marcado por relevo plano, associado a extensa planície de inundação dos rios Macaé e São Pedro, referente ao compartimento de planícies fluviais e flúvio-marinhas (FIGURA 5.8).

Os compartimentos geomorfológicos reconhecidos nesta área de colinas e morros, vide figura 5.10, estão orientados preferencialmente de acordo com os lineamentos regionais que cortam a área (NE-SW ou ENE-WSW), e secundariamente pelos lineamentos NW-SE e E-W, com altimetrias bastante baixas e uniformes, de 20 a 200m (FIGURA 5.11). Caracterizam-se por relevo de topos ondulados, poucos dissecados, vales abertos e largos, gradiente extremamente suaves, onde o canal do rio Macaé torna-se bastante sinuoso, apresentando padrão meândrico.



Figura 5.8: Relevo colinoso e de morros no baixo curso da bacia do rio Macaé.

Ocorrem, também, compartimentos de degraus reafeiçoados (degraus de transição entre compartimentos diferentes) com orientação preferencial segundo a estruturação NE-SW e ENE-WSW, estendendo-se por todo o distrito de Córrego do Ouro. Estão predominantemente situados na base dos escarpamentos serranos, na transição com o relevo de morros e colinas no baixo curso da bacia. Também ocorrem na forma de alinhamentos serranos isolados, circundados pelo relevo colinoso da superfície aplainada do litoral fluminense (Figura 5.9).



Figura 5.9: Visão dos degraus escarpados com vertentes íngremes no baixo curso do rio Macaé. Vista da BR-101 da Serra do Segredo em Macaé. Imagem obtida a partir do *Street View - Google Earth*.

A unidade morfoestrutural **Terraços e Planícies Fluviais e/ou Flúvio-marinhas** é bastante extensa na área de estudo, compreendendo grande parte do baixo curso da bacia, porção leste, estendendo-se pelo litoral, associada às planícies de inundações dos principais rios que drenam a área, como os rios Macaé e São Pedro. Correspondem a superfícies sub-horizontais, com gradientes extremamente suaves, ocupando os fundos de vales, por entre o compartimento de colinas, e a faixa litorânea, preenchidos por sedimentos de origem fluvial e flúvio-marinha. Delimita-se a leste pelo litoral e, bruscamente, a oeste com as escarpas serranas e os degraus escarpados reafeiçoados. Por apresentar contiguidade lateral, os rios que correm por esse compartimento apresentam comportamento meândrico com alta sinuosidade.

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 lagunas foram ressecadas e parcialmente recobertas por sedimentos aluviais até os dias atuais, caracterizando as planícies fluviolagunares. (DANTAS, 2000, p.55)

Em resumo, a bacia do rio Macaé possui morfologia bastante diversificada, que inclui desde ambientes serranos escarpados e reafeiçoados em seu alto curso, com altitudes que podem atingir os 1.800m, passando por morros e colinas no baixo curso, até atingir as extensas e largas planícies fluviais e flúvio-marinhas, de baixa declividade, que se seguem até a faixa litorânea (FIGURAS 5.10 e 5.11).

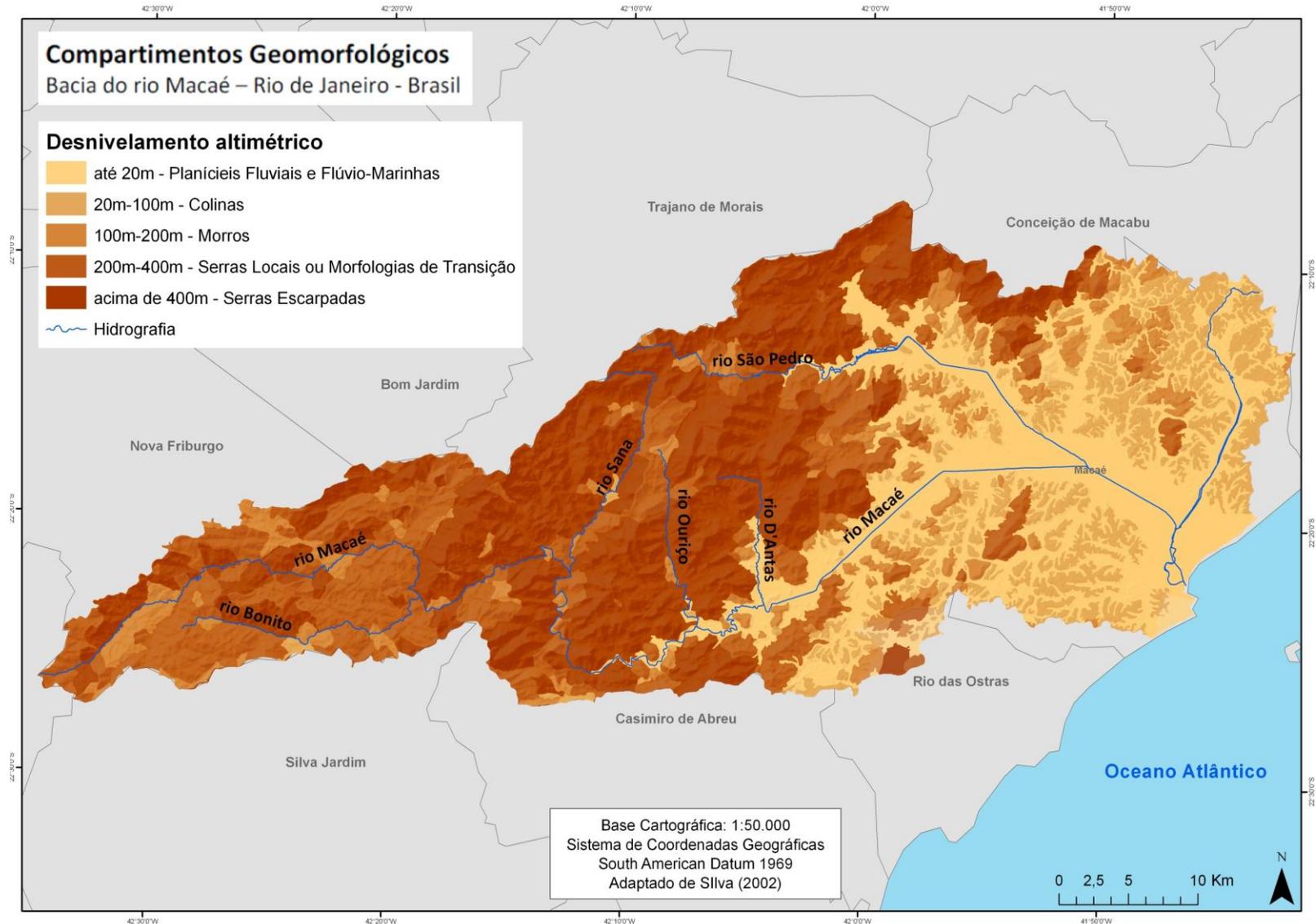


Figura 5.10: Mapa de Compartimentos Geomorfológicos da bacia do rio Macaé (Silva, 2002)

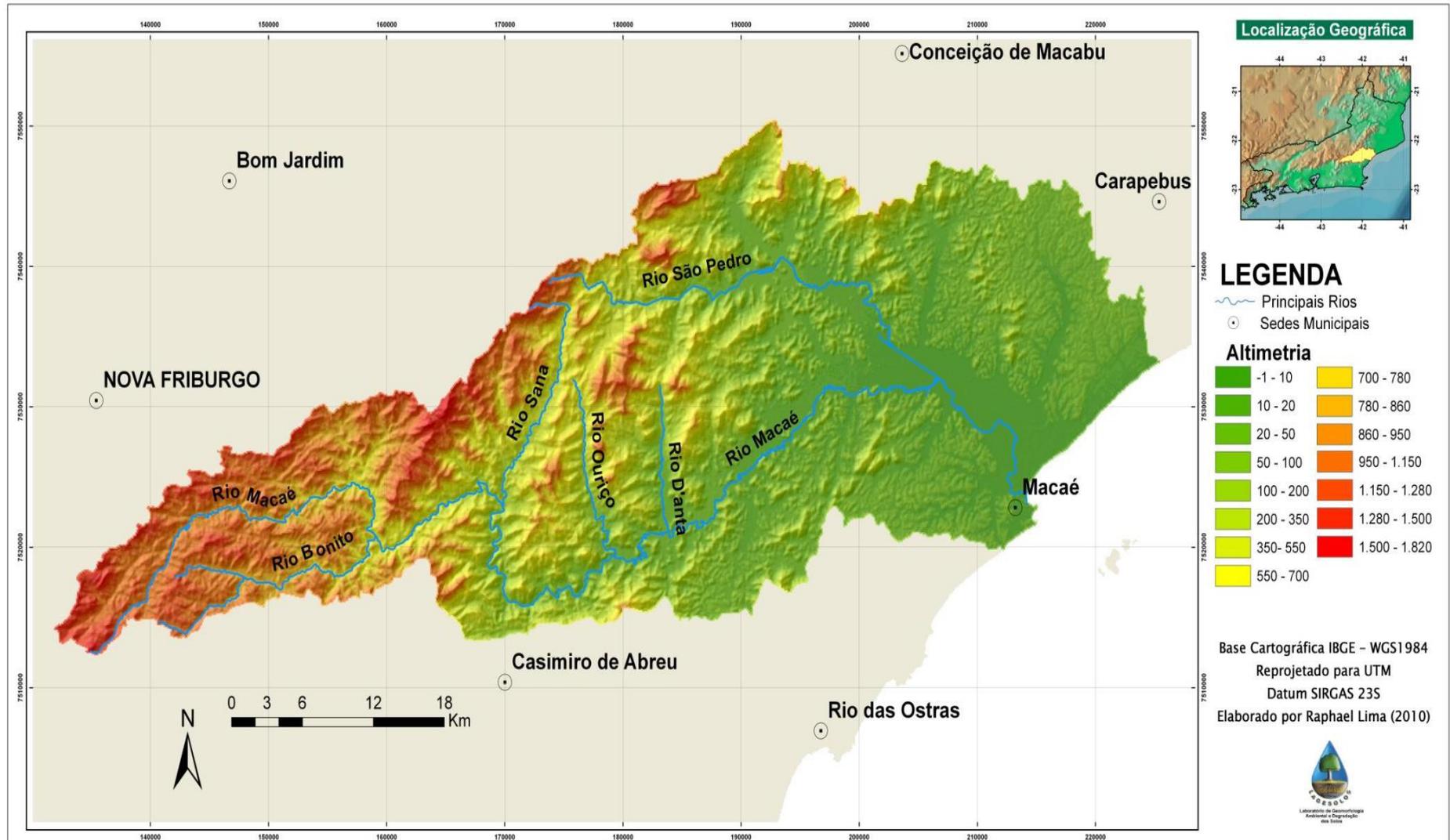


Figura 5.11: Mapa hipsométrico da bacia do rio Macaé. (Lima, 2010)

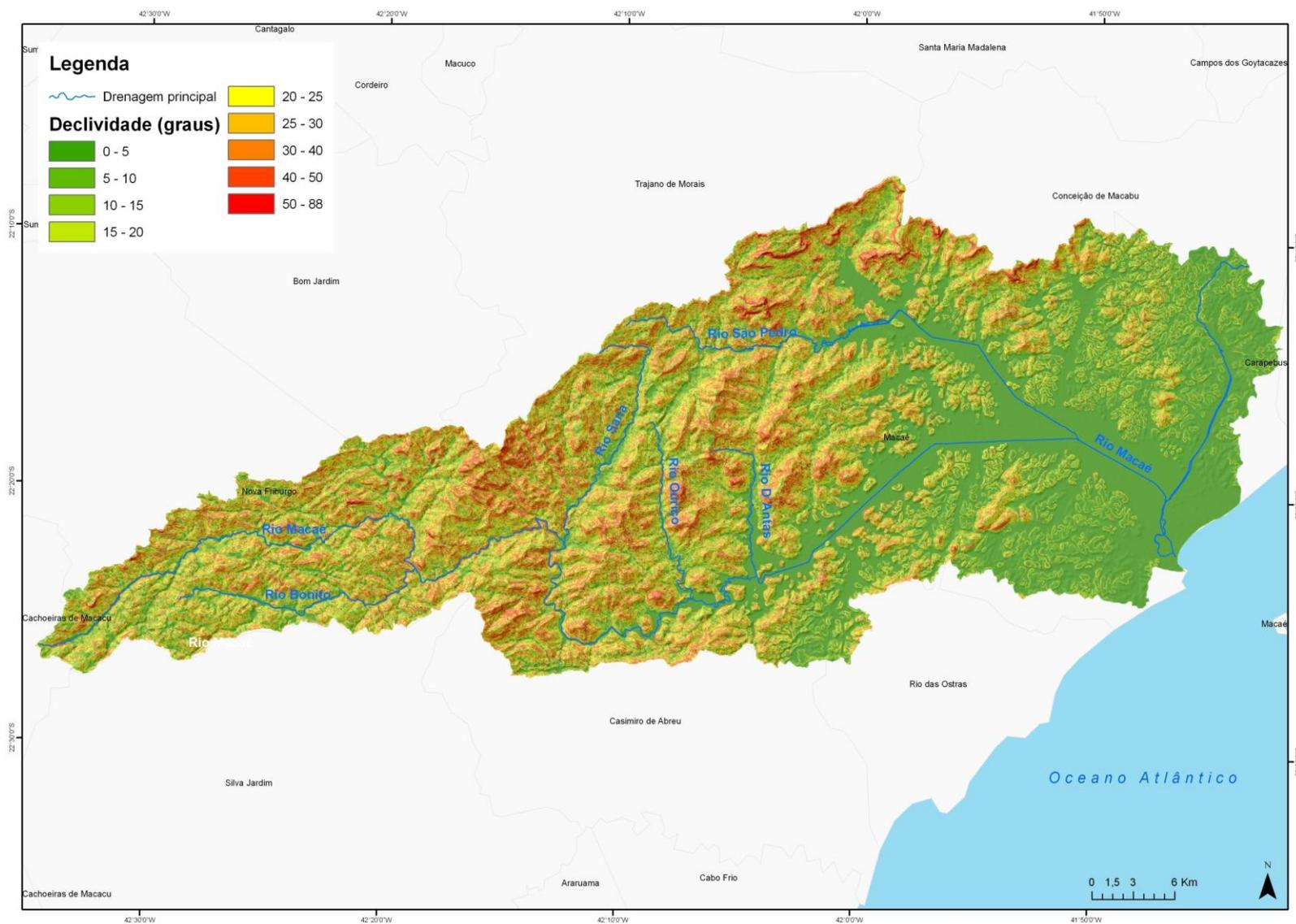


Figura 5.12: Mapa de declividade da bacia do rio Macaé.

6. UNIDADES MORFOESTRATIGRÁFICAS NO VALE DO RIO MACAÉ (RJ)

Tomando como base a proposta de Meis & Moura (1984), discutida no capítulo 2 desta dissertação, foram mapeadas feições geomorfológicas associadas à deposição sedimentar do rio Macaé, referentes às unidades morfoestratigráficas de: **Terraço Reafeiçoado**; **Terraço de Acumulação**; e **Terraço Baixo / Planície de Inundação**.

Estas unidades estão distribuídas ao longo do vale do rio Macaé de forma fragmentada e descontínua, em geral com pacote sedimentar pouco espesso, o que dificulta a sua identificação e mapeamento. A localização espacial destas feições pode ser visualizada através da figura 6.1

Em virtude das dificuldades acima mencionadas, o mapeamento detalhado de áreas que contemplem as unidades morfoestratigráficas foi realizado apenas para quatro delas, indicadas em amarelo nas figuras 6.1 e 6.2, aqui denominadas de: **Área de Sedimentação 1 (AS-1)**; **Área de Sedimentação 2 (AS-2)**; **Área de Sedimentação 3 (AS-3)**; **Área de Sedimentação (AS-4)**. Estas áreas foram escolhidas por serem as de maior representatividade das feições morfoestratigráficas na bacia, tanto pela maior ocorrência de diferentes níveis de terraços fluviais quanto pelas maiores proporções areais e espessura do pacote sedimentar. Para cada uma das áreas, foi realizado o mapeamento da forma em planta das feições morfoestratigráficas, assim como o levantamento de perfis estratigráficos de detalhe, sendo no total descritos treze perfis e uma seção.

A figura 6.2 apresenta a localização das áreas de sedimentação supracitadas ao longo do perfil longitudinal do rio Macaé. Estas encontram-se em trechos côncavos do perfil longitudinal, onde o gradiente do canal é mais baixo.

As feições de **Terraço Reafeiçoado** correspondem a feições de fundo de vale topograficamente mais elevadas, com topos arredondados e inclinados levemente ao interior dos vales, servindo como interflúvios de drenagens de pequena ordem. Devido a este fato, foi difícil sua identificação e mapeamento a partir da fointerpretação das imagens aéreas por se confundirem muitas vezes com rampas de colúvio e de alúvio-colúvio, ou até mesmo com encostas de baixa declividade suaves, sendo necessário o reconhecimento em campo a partir do depósito sedimentar. Foram mapeadas no alto e médio curso do rio Macaé, associados aos compartimentos geomorfológicos com alto desnivelamento topográfico, definidos por Silva (2002) como Serras Escarpadas e Serras Locais ou Morfologias de Transição. Foram mapeados em ambientes com encostas íngremes, topograficamente acima dos níveis de

Terraço de Acumulação, localizados principalmente pela margem esquerda do canal do rio Macaé.

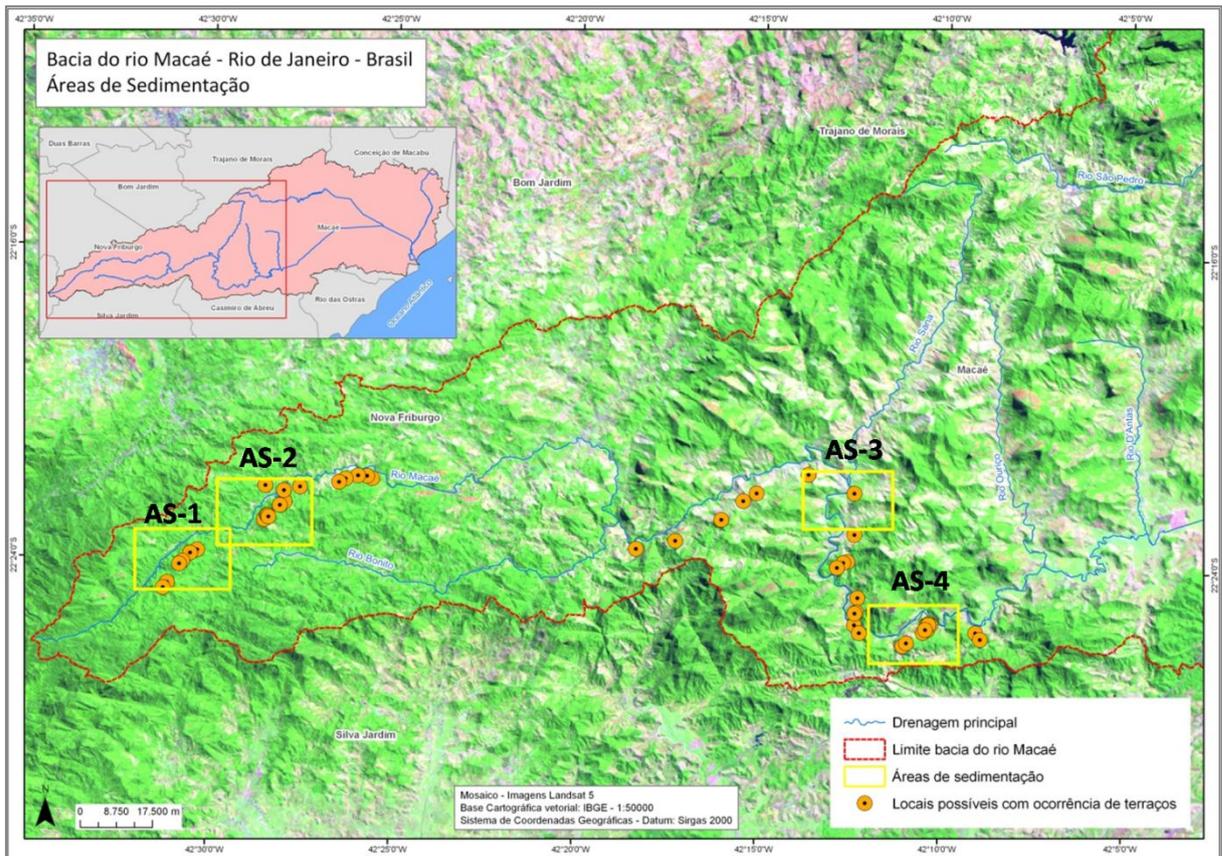


Figura 6.1: Mapa de localização espacial das áreas de sedimentação fluvial quaternária analisadas.

Feições do tipo **Terraço de Acumulação** correspondem a feições planas de fundo de vale, parecidas com as planícies de inundações tanto em relação à forma quanto ao tipo de depósito sedimentar, se diferenciando por estar topograficamente mais elevada. Está a cerca de 3 a 7 metros da calha atual, diminuindo este desnível em direção a jusante. De acordo com Mello (1997), esta feição constitui uma superfície marcante de entulhamento dos vales fluviais. Foram encontradas ao longo de todo o vale do rio Macaé, ocorrendo com maior expressividade, em relação à extensão areal, no médio e baixo curso. Estão associadas a diversos ambientes, contudo mais expressivas nos compartimentos geomorfológicos de Serras Locais ou Morfologias de Transição e Planícies Fluviais e Flúvio-Marinhas.

Sobre estas superfícies, observam-se feições de canais abandonados como meandros abandonados e paleocanal⁵ - pode ser vista no mapeamento da forma em planta da Área de Sedimentação 4 (FIGURA 6.29), que será apresentado mais a frente neste mesmo capítulo.

⁵ De acordo com Brierley & Fryirs (2005), paleocanal representa uma antiga calha de um canal fluvial, que no passado ali corria e que ficando inativo, podendo ter sido formado por processo de avulsão.

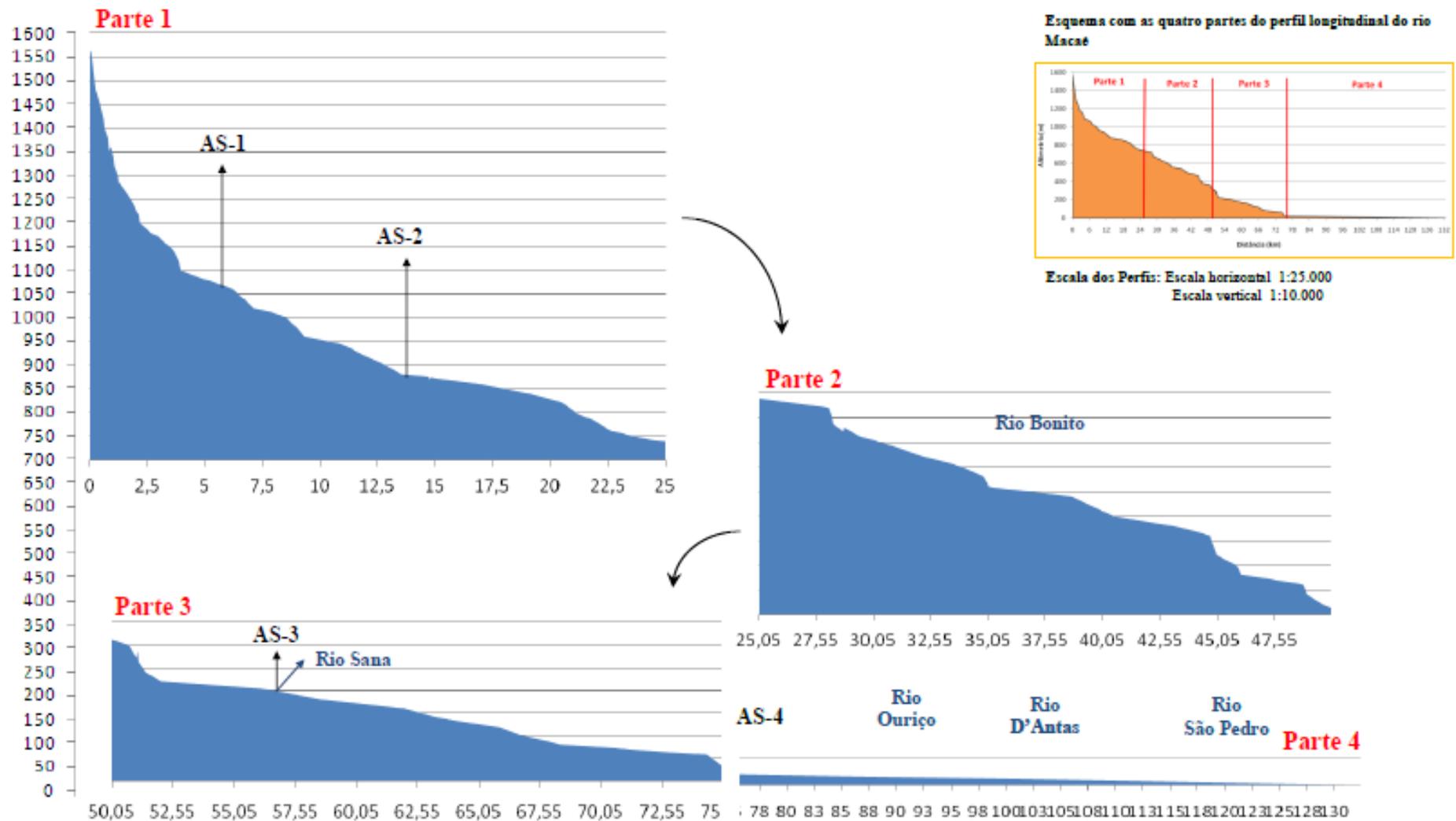


Figura 6.2: Perfil longitudinal do rio Macaé dividido em quatro partes e com as localizações das quatro áreas analisadas

A feição **Terraço Baixo / Planície de Inundação** é morfologicamente bem parecida com a feição Terraço de Acumulação, apresentando topo plano e alinhada ao canal principal. Contudo, está topograficamente abaixo dos terraços de acumulação e aproximadamente de 1 a 3m acima do canal fluvial. Encontra-se espacialmente distribuída ao longo de todo o vale do rio Macaé, desde o alto até o baixo curso. No alto e médio curso, estão distribuídas muitas vezes de forma fragmentada, com pequenas extensões areais, geralmente alternadas entre as margens do canal. Ocorrem, principalmente, nos locais onde a sinuosidade do canal é maior, ou quando há mudanças bruscas na orientação do canal, como por exemplo em curvaturas anômalas, e em alvéolos⁶, neste caso configurando-se como planícies alveolares e possuem maior extensão horizontal. Já no baixo curso apresentam-se de forma contínua e com grandes extensões horizontais, associadas ao compartimento geomorfológico de Planícies Fluviais e Flúvio-Marinhas.

6.1. Área de Sedimentação 1 (AS-1)

Localizada no distrito de Macaé de Cima (município de Nova Friburgo), no alto curso do rio Macaé, a aproximadamente 7km de distância de sua nascente (Figura 6.5). Encontra-se em ambiente, denominado por Silva (2002), de Serras Escarpadas, localmente denominada Serra de Macaé de Cima, a aproximadamente 1000m de altitude. A área é caracterizada por um conjunto principal de alinhamentos serranos escarpados com orientação preferencial NE-SW, entrecortada por vales estruturais, orientados no sentido NW-SE, demonstrando um efetivo controle estrutural no processo de dissecação diferencial dos escarpamentos.

A rede de drenagem se desenvolve sobre a orientação destes lineamentos, com canais aproximadamente paralelos uns aos outros. O canal principal, rio Macaé, segue a orientação dos lineamentos principais NE-SW, enquanto que os tributários de baixa ordem são controlados pelos lineamentos secundários NW-SE.

O vale encontra-se confinado, marcado pelo alto grau de confinamento do canal e por sua estabilidade lateral. Lima (2010) classifica esse ambiente como *confinado de alta energia*, com leito rochoso formado por cascalhos (blocos e matacões) e areia grossa, marcado por quedas d'águas ocasionalmente em função de pequenos estrangulamentos do vale. Por estar localizado numa parte do perfil longitudinal onde há diminuição brusca no gradiente do canal,

⁶ Compreende-se alvéolo como secções alargadas de um vale, geralmente entulhadas de sedimentos, formado pela existência de barras fluviais resistentes, ocasionando estrangulamentos no canal fluvial (Guerra & Guerra, 2008).

o autor supracitado aponta que a energia do rio é relativamente inferior ao estilo fluvial *forte erosivo*, porém com alta capacidade de transporte, com áreas de umbrais (*pool*)⁷ mais prolongadas e soleiras (*ripples*)⁸.

Apesar de neste trecho do alto curso do rio Macaé o canal atualmente estar bastante entalhado no vale, com baixa sinuosidade e com forte função erosiva, foram mapeados 3 níveis deposicionais fluviais distintos, associados a: Terraço Reafeiçoado, Terraço de Acumulação e Planície de Inundação (FIGURAS 6.3 e 6.4).

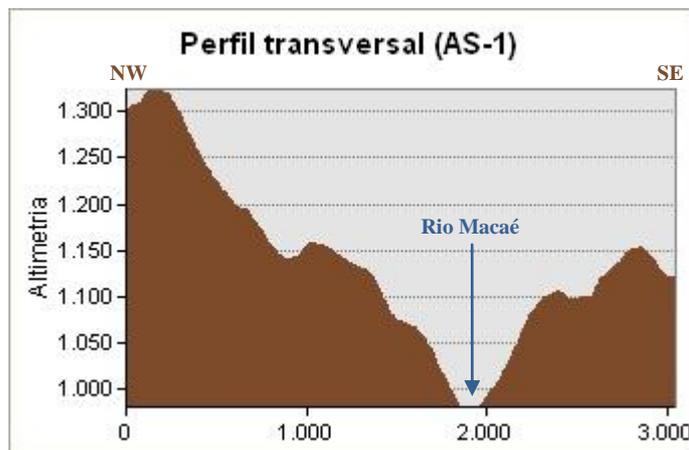


Figura 6.2: Perfil transversal ao vale do rio Macaé localizado na área de sedimentação 1. Diferença entre os divisores da margem esquerda e direita do rio Macaé. Indicação de divisores rebaixados pela margem direita do canal do rio Macaé.

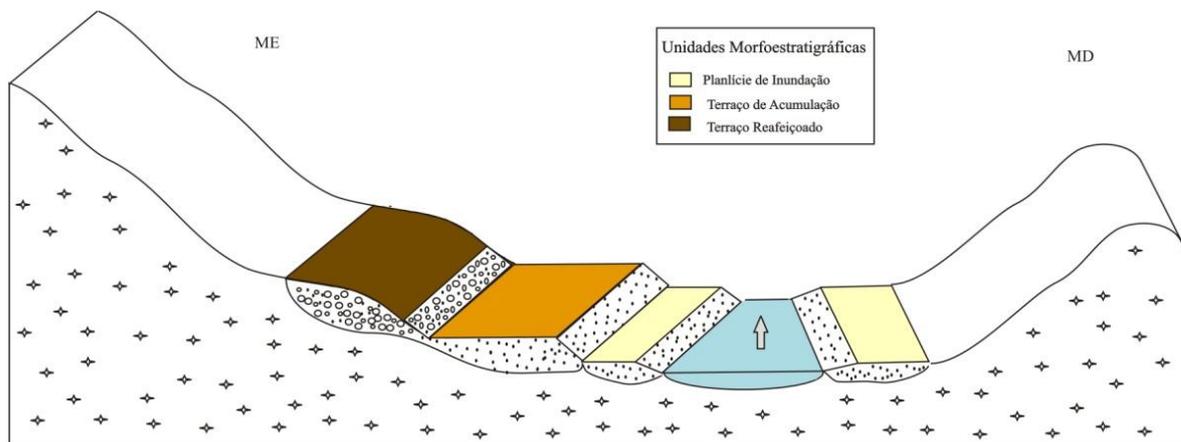


Figura 6.3: Croqui da seção transversal ao vale do rio Macaé na AS-1 com os níveis deposicionais fluviais identificados.

⁷ Também chamadas de depressões (*pool*), são trechos rebaixados do leito onde se acumulam sedimentos mais finos, são típicas de áreas côncavas de meandros em canais fluviais sinuosos (Brierley & Fryirs, 2005).

⁸ São trechos do canal topograficamente mais elevados, de acumulação temporária de sedimentos mais grossos formados pela redução da velocidade do fluxo ocasionada pela resistência dessas feições. Os sedimentos nestes locais tendem a ter estrutura imbricada (Brierley & Fryirs, 2005).

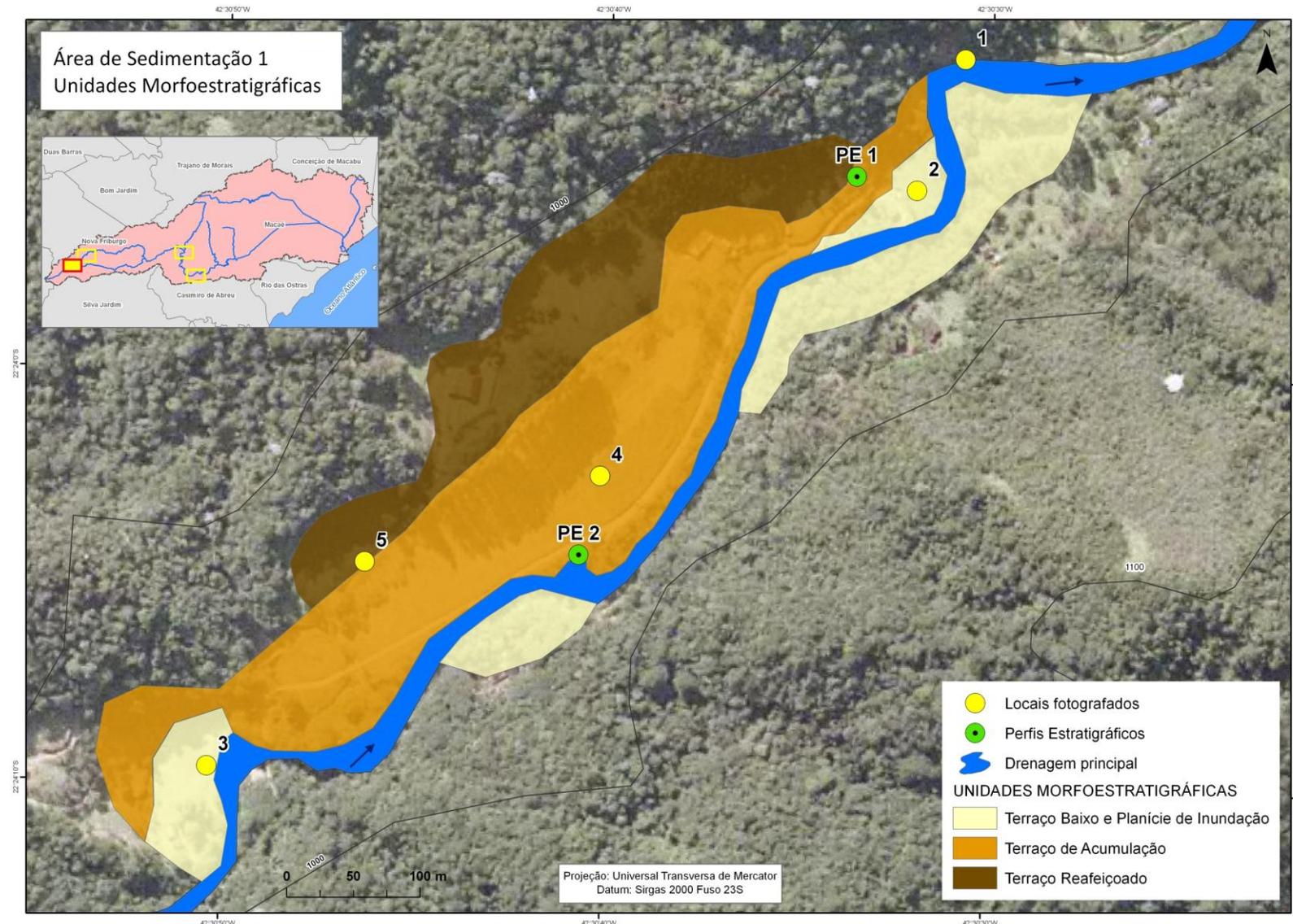


Figura 6. 4 Mapa da forma em planta das feições morfoestratigráficas reconhecidas na área de sedimentação 1.

Quanto às feições morfoestratigráficas de Terraço Reafeiçoado e Terraço de Acumulação, encontram-se espacialmente distribuídas de forma contínua, acompanhando o sentido do canal principal pela sua margem esquerda (FIGURA 6.6), enquanto que a feição Planície de Inundação apresenta-se de forma descontínua, em lados alternados do rio Macaé, sob a forma de pequenos fragmentos. Estas unidades ocupam uma área total de 112.509m² na área analisada, onde: 30.628m² são ocupados por planície de inundação, 60.569m² por terraço de acumulação e 21.312m² por terraço reafeiçoado, sendo que neste último a área pode ser maior, pois é difícil calcular toda sua extensão areal apenas por métodos de mapeamento geomorfológico, visto que o limite final deste depósito não é tão claro, necessitando de outros métodos, como por exemplo, a realização de sondagens.

Os níveis de terraços fluviais mapeados foram classificados, de acordo com Christofolletti (198), como terraços encaixados, pois estão assentados diretamente sobre o embasamento rochoso e dispostos em patamares distintos em discordância erosiva com rochas quartzíticas neoproterozoicas (Unidade São Fidélis).

A feição de Terraço Reafeiçoado apresenta-se como corpo delgado, com cerca de 380m de largura, topo levemente ondulado, caracterizando-se como interflúvio de drenagens de pequena ordem. Possui desnivelamento altimétrico de aproximadamente 17m em comparação com o nível de terraço de acumulação. Tem relação estreita com o compartimento geomorfológico de serras escarpadas de vertentes íngremes e retilíneas. Para esta unidade foi realizado perfil estratigráfico esquemático (PE-1), conforme indicado na figuras 6.5 e 6.7. Foram, também, coletados materiais para análises laboratoriais para constatação de depósito aluvial (terraço fluvial) e aquisição de registro fotográfico nos locais onde não foi possível a realização de perfis (FIGURA 6.8). Constatou-se que o depósito dessa feição é formado por níveis cascalhosos, pobremente selecionados, típicos de ombreiras.



Figura 6.8: Ponto 5 da figura 6.5 Feição morfoestratigráfica Terraço Reafeiçoado. (A) Topo levemente ondulado, funcionando como interflúvio de canais de pequena ordem. (B) Depósito fluvial predominantemente formado por cascalhos.

A feição Terraço de Acumulação está distribuída ao longo do trecho mapeado do rio Macaé, com extensão de 786m, restrita à margem esquerda do canal, ocupando uma área de 60.568m², com largura máxima de 120m. Apresenta-se como corpo contínuo, alongado e de topo plano. Está a 956m de altitude e possui desnivelamento altimétrico, do topo do terraço a lâmina d'água, de 7m.

Para a caracterização estratigráfica desta feição morfoestratigráfica, apesar de sua extensão areal, foi realizado um perfil estratigráfico (PE-2), conforme indicado na figura 6.5, pois não havia seções (cortes) expostas. Para melhor interpretação e análise desta feição morfoestratigráfica seria necessária a realização de sondagens, contudo não foram possíveis realizar tais procedimentos durante a pesquisa.

A feição Terraço Baixo / Planície de Inundação está espacialmente distribuída de forma descontínua e fragmentada por todo o trecho do canal, desenvolvendo-se onde a sinuosidade do canal é maior, principalmente por sua margem direita. O fragmento de maior expressividade areal está na porção mais a jusante, com área de 17.403 m² e comprimento de 330 metros.

Embora os terraços baixos e as planícies de inundações possuam, em sua grande maioria, arcabouço sedimentar formado por sedimentos arenosos e argilo-arenosos, observa-se através das figuras 6.9, 6.10 e 6.11, que estas são formadas também por calhaus e matacões. Isso se deve, ao fato de estar localizada no alto curso do rio Macaé, onde o ambiente se configura como de alta energia (Lima, 2010).



Figura 6.9: Ponto 1 da figura 6.5. Feição morfoestratigráfica Planície de Inundação. Trecho de maior extensão areal, localizada à jusante, pela margem do rio Macaé. Ocorre de forma fragmentada e descontínua, área de 14.630m², assentada sobre substrato rochoso composto por blocos e matacões do grupo São Fidelis (quartzitos).

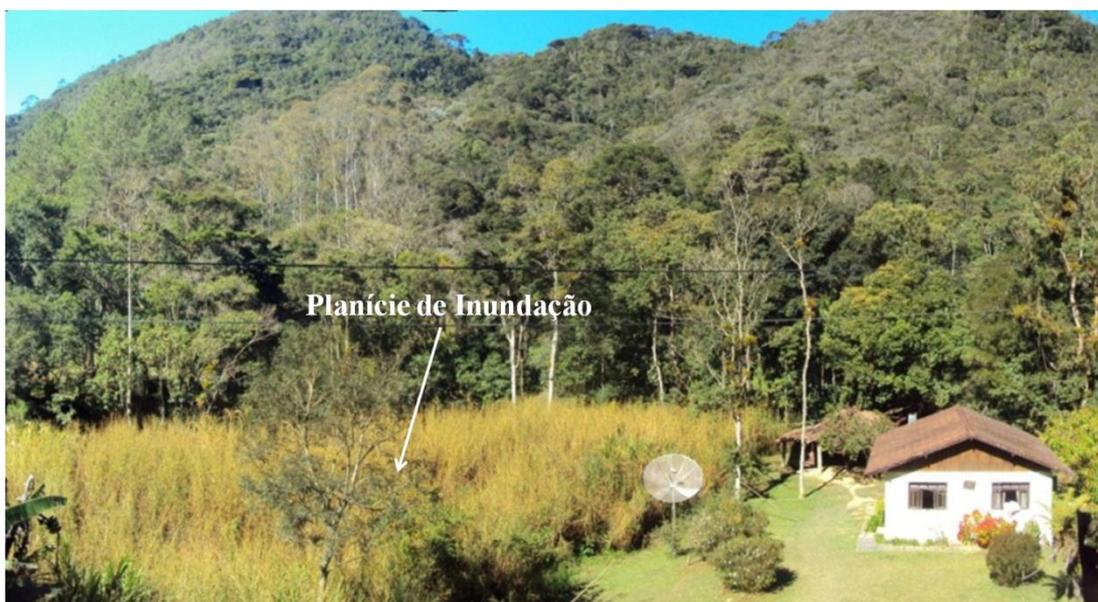


Figura 6.10: Ponto 2 da figura 6.5. Feição morfoestratigráfica de Terraço Baixo / Planície de Inundação, área de 2.772m², pela margem esquerda do rio Macaé.

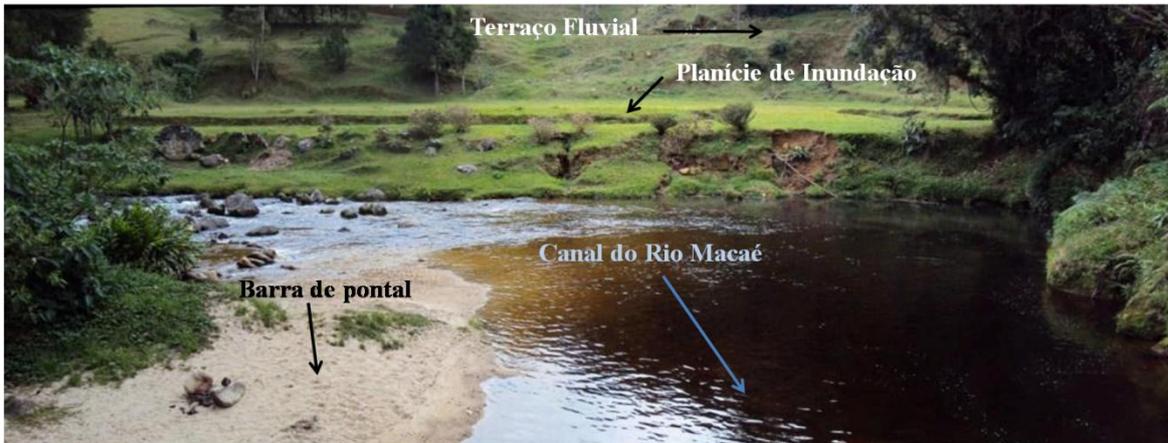


Figura 6.11: Ponto 3 da figura 6.5. Feição morfoestratigráfica Planície de Inundação, área de 5.720m², pela margem esquerda do rio Macaé.

6.2. Área de Sedimentação 2 (AS-2)

Localizada no distrito de Macaé de Cima (município de Nova Friburgo), no alto curso do rio Macaé, a aproximadamente 13 km de distância da nascente (Figura 6.14) e 4,5 km a nordeste da área de sedimentação 1 (AS-1). Encontra-se em ambiente de transição entre os compartimentos geomorfológicos denominados por Silva (2002) de Morros e Serras Escarpadas, com amplitude de relevo de 200 a 400m, a aproximadamente 900m de altitude. Compreende principalmente escarpas reafeiçoadas e degraus em borda de planalto pela margem esquerda do vale, com desnivelamento altimétrico de 300m em relação ao canal, e morros côncavos-convexos dissecados com topos arredondado e aguçados pela margem direita do vale, com desnivelamento altimétrico de 180m, (FIGURA 6.12).

Por estar localizada próxima à AS-1, a rede de drenagem também sobre influência do controle estrutural anteriormente descrito, com o canal principal, rio Macaé, seguindo a orientação NE-SW, enquanto que os tributários de baixa ordem são controlados pelos lineamentos NW-SE.

O vale encontra-se parcialmente confinado segundo a classificação de Brierley & Fryirs (2005), estreito, com sua própria configuração controlando a morfologia do canal, resultando em trecho com baixa sinuosidade e ocorrência descontínua dos sub-ambientes de planícies de inundação. Lima (2010) classifica este ambiente como *confinado de média energia*, de leito arenoso, com feições geomorfológicas fluviais praticamente ausentes, em função da pouca quantidade de sedimentos e baixa capacidade de transporte de manter um fluxo contínuo de sedimentos. O mesmo autor complementa que neste tipo de ambiente o

potencial do canal em mobilizar sedimentos deve-se aos eventos de cheias, onde a vazão média permite a acomodação dos sedimentos arenosos mais grossos.

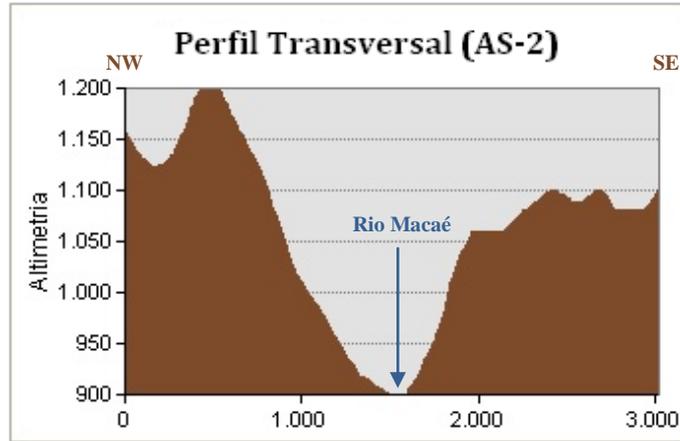


Figura 6.12: Perfil transversal ao vale do rio Macaé localizado na área de sedimentação 2. Relevo com amplitude altimétrica de 300 m pela vertente noroeste e de 180 m pela vertente sudeste.

Quanto às feições morfoestratigráficas, foram mapeados 4 possíveis níveis deposicionais fluviais associados a: 2 níveis de Terraço Reafeiçoado, 1 nível de Terraço de Acumulação e 1 nível de Planície de Inundação. A figura 6.13 representa o perfil transversal esquemático do escalonamento dos diferentes níveis deposicionais supracitados e a figura 6.14 apresenta a distribuição espacial das unidades morfoestratigráficas, bem como a localização dos perfis estratigráficos realizados.

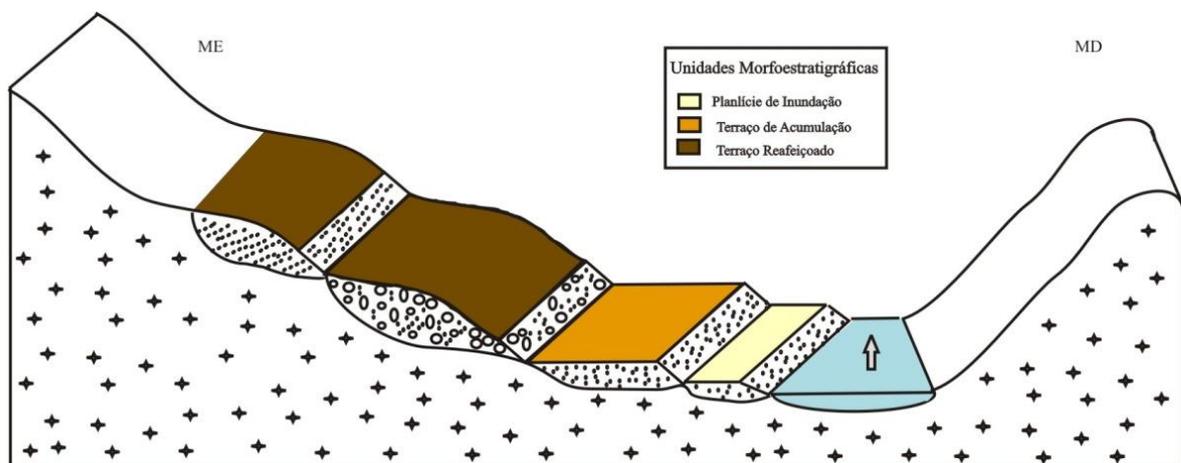


Figura 6.13: Croqui da seção transversal ao vale do rio Macaé na AS-2 com os níveis deposicionais fluviais identificados.

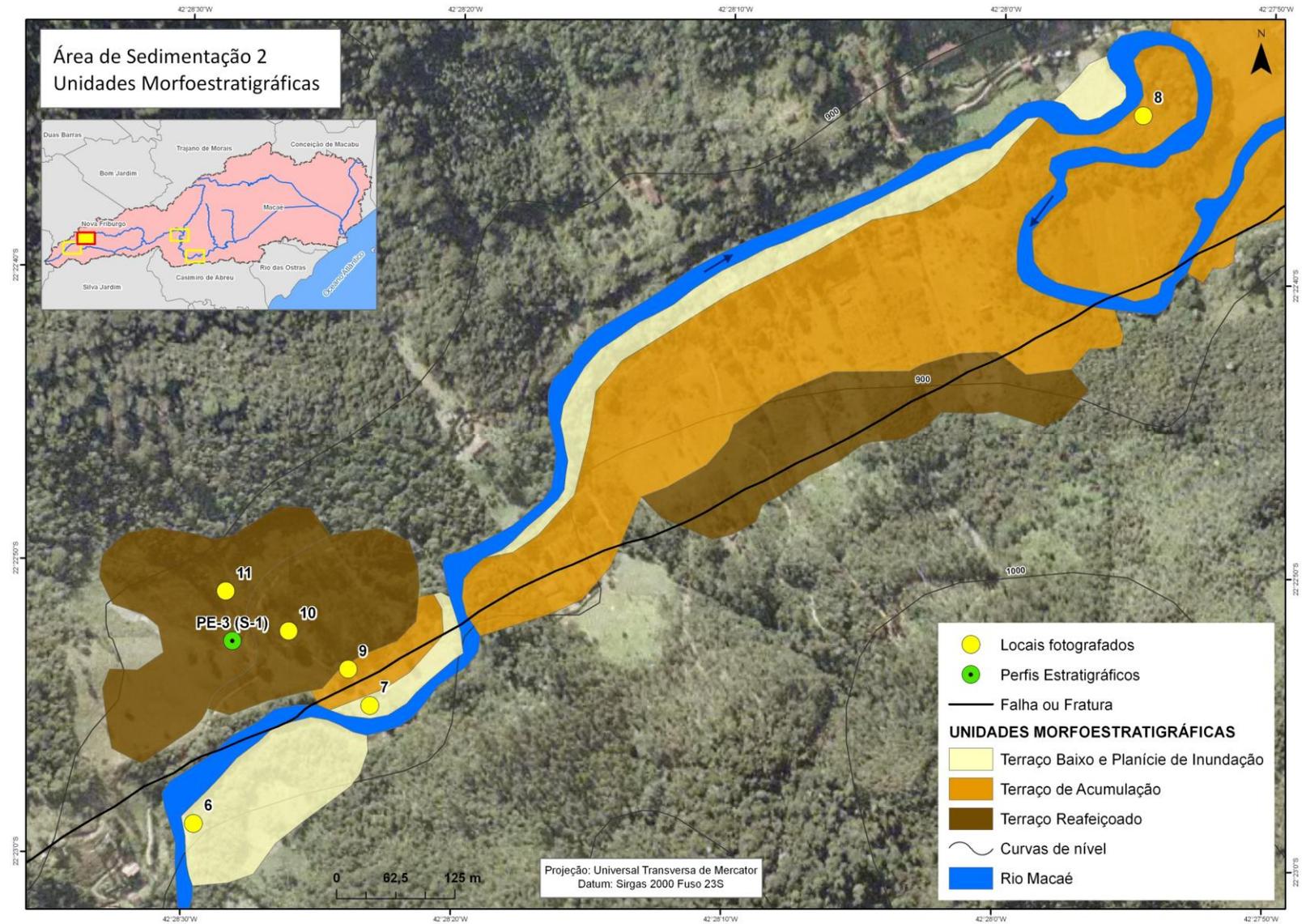


Figura 6.14: Mapa da forma em planta das feições morfoestratigráficas reconhecidas na área de sedimentação 2.

Estas feições ocupam ambas as margens do rio Macaé, contudo de forma intercalada, com uma área total de 297.022 m² na área analisada, onde: 43.147 m² são ocupados por Planície de Inundação, 163.867 m² por Terraço de Acumulação e 90.007 m² por possível Terraço Reafeiçoado.

Os perfis estratigráficos somente foram realizados a montante da área mapeada, pela margem esquerda do rio Macaé (vertente noroeste), devido à dificuldade de acesso aos demais trechos. Desta forma, como os depósitos pela margem direita do canal (vertente sudeste) não foram analisados em detalhe com a realização de perfis estratigráficos, todas as análises feitas são restritas ao trecho do canal a montante da área mapeada, sendo o restante apenas discutido de forma regional a fim de colaborar na discussão da dinâmica de evolução da área.

A feição identificada na beira da estrada (FIGURA 6.15), a 902m de altitude em relação ao topo, com desnivelamento altimétrico de 15m em relação ao rio Macaé e 5m do topo até a base do nível inferior, foi interpretada como Terraço Reafeiçoado por suas características morfoestratigráficas, apesar das limitações de análise estratigráfica da pesquisa. Apresenta-se de forma fragmentada, embutida na encosta, com topo ondulado e baixa declividade, levemente inclinada em direção ao interior do vale (FIGURAS 6.15, 6.16 e 6.17). Observa-se dois níveis distintos pela margem esquerda do rio Macaé e apenas um pela margem direita que foram interpretados como Terraço Reafeiçoado. Para os depósitos pela margem esquerda foi realizada uma seção estratigráfica e levantados 4 perfis estratigráficos de detalhe para o nível mais elevado (nível superior). Já o nível inferior está a 897m de altitude, a 10m de desnível entre o topo do depósito e o canal do rio Macaé.



Figura 6.15: Visão panorâmica das possíveis feições morfoestratigráficas de Terraço Reafeiçoado, com dois níveis distintos (superior e inferior).



Figura 6.16: Seção exposta do nível superior de Terraço Reafeiçoado com pacote sedimentar de aproximadamente 4,20 metros. Observa-se topo ondulado, levemente inclinado ao interior do vale, configurando-se como interflúvio de drenagens de pequena ordem.



Figura 6.17: Nível inferior de Terraço Reafeiçoado apresentando depósito de cascalheira com seixos e blocos subarredondados a arredondados.

A unidade Terraço de Acumulação está distribuída ao longo de todo o trecho analisado, com maior expressividade pela margem direita do canal (FIGURA 6.14). Apresenta-se como corpo contínuo, alongado, de topo plano, acompanhando o canal, no mesmo sentido do lineamento que atravessa toda a AS-2, NE-SW. O topo do terraço está a 7 metros acima da lâmina d'água, a 894 metros de altitude.

Apesar de não terem sido realizados perfis estratigráficos para esse nível deposicional, foram coletadas amostras sedimentares para análise em laboratório, onde demonstraram depósito com arcabouço sedimentar arenoso (granulometria média) e matriz argilo-síltico (FIGURAS 6.18 e 6.19).



Figura 6.18: Ponto 8 da figura 6.13. Trecho da feição morfoestratigráfica de Terraço de Acumulação pela margem direita do canal com parede exposta, indicativa da erosão fluvial. Presença da unidade de planície de inundação apenas pela margem esquerda.



Figura 6.19: Ponto 7 da figura 6.13. Feição morfoestratigráfica Terraço de Acumulação. (A) Foto panorâmica mostrando a distância do nível de Terraço de Acumulação ao canal; (B) Amplitude do Terraço de Acumulação para a Planície de Inundação; (C) Depósito sedimentar com arcabouço arenoso e matriz argilo-siltico.

A feição de Terraço Baixo / Planície de Inundação está espacialmente distribuída de forma descontínua e fragmentada por todo o trecho do canal, se desenvolvendo onde a sinuosidade do canal é maior, principalmente por sua margem direita. As planícies se formam em ambos os lados do canal só que de forma alternada, confinadas entre curvaturas anômalas (cotovelos de drenagem), como mostram as figuras 6.14 e 6.20 . O primeiro fragmento, a montante pela margem esquerda, é o mais largo com 88m, porém pouco extenso, enquanto que o terceiro fragmento, também pela margem esquerda, é o mais extenso, percorrendo um longo trecho do canal de 750m, porém bastante estreito com apenas 23 metros de largura. Ainda assim, o primeiro fragmento possui extensão areal maior que o terceiro (19.383 m^2 e 16.702 m^2 , respectivamente).

A configuração do canal favorece a formação desta unidade morfoestratigráfica. Localizada entre curvaturas anômalas (cotovelos de drenagem), com presença de calhaus e matacões formando pequenas quedas corredeiras a jusante (FIGURA 6.20), o fluxo do canal perde velocidade acarretando na perda de competência e capacidade⁹, facilitando a deposição de sedimentos arenosos e cascalhosos.



Figura 6.20: Feição morfoestratigráfica Terraço Baixo / Planície de Inundação. Pontos 6 e 7 da figura 6.14.

6.3. Área de Sedimentação 3 (AS-3)

Localizada em Barra do Sana, no distrito do Sana (município de Macaé), na transição entre o médio e baixo curso do rio Macaé, a aproximadamente 58km de distância de sua nascente (Figura 6.23), na confluência com o rio que dá nome à localidade, sendo este um dos

⁹ De acordo com Brierley & Fryirs (2005), competência do canal se refere ao tamanho das partículas que o rio é capaz de transportar, proporcional a velocidade do fluxo. Enquanto que capacidade refere-se à carga sedimentar que o rio pode transportar, sendo proporcional a vazão do fluxo.

principais afluentes pela margem esquerda da bacia. Encontra-se em ambiente dominado pelas Escarpas Serranas e Serras Locais (Silva, 2002), a aproximadamente 200m de altitude.

A rede de drenagem é bastante condicionada por fatores estruturais, ou seja, controlada por falhas e fraturas que cortam toda a região. O canal principal (rio Macaé) segue a orientação do principal conjunto de falhas que corta a região, sentido N-S, enquanto que o rio Sana corre orientado por falhas NE-SW, e as drenagens de menor ordem são orientadas por fraturas W-E. Estas últimas, provocam mudanças bruscas do curso d'água em trechos do rio Macaé, formando o que se denomina de curvaturas anômalas ou cotovelos de drenagem.

Esta área é típica de uma feição do tipo alveolar, com vale parcialmente confinado, onde o canal do rio Macaé encontra-se confinado a aproximadamente 630 metros a montante e a jusante da confluência com o rio Sana. Logo, essa área configura-se como um local de retenção de sedimentos devido à abertura do vale e diminuição do gradiente do canal, ocasionando em perda de velocidade do fluxo e consequente deposição.

Lima (2010), em sua classificação de estilos fluviais confirma as características descritas acima e classifica o rio Macaé neste trecho como do estilo de *meandros sob controle estrutural*, de altíssima energia durante eventos de cheias, sendo capazes de transportar cascalhos finos até muito grossos, como calhaus. O autor cita que esse tipo de estilo ocorre justamente em ambientes parcialmente confinados (FIGURA 6.21), com elevada sinuosidade do canal em função da forma e orientação do vale. As curvaturas formadas funcionam como amortecimento do fluxo, sendo um dos elementos que concorrem para o desenvolvimento das ilhas fluviais, características desse estilo fluvial, como pode ser visualizada a existência destas feições através da figura 6.23.

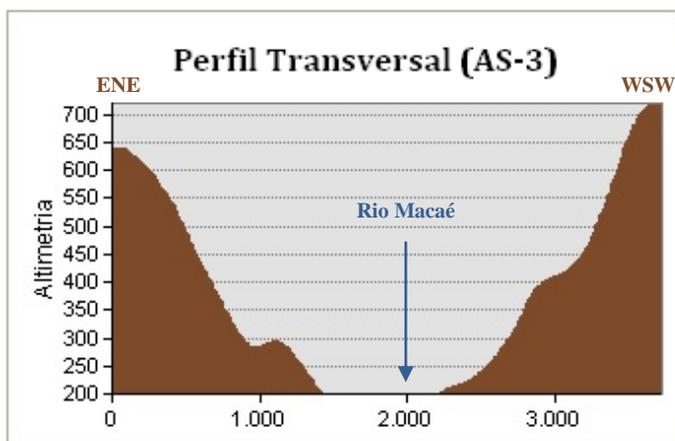


Figura 6.21: Perfil transversal ao rio Macaé localizado na área de sedimentação 3. Amplitudes de relevo elevadas em ambas as margens, em torno de 400 a 500 metros, com vale parcialmente confinado.

Quanto às feições morfoestratigráficas, foram mapeados dois níveis deposicionais fluviais associados a: Terraço de Acumulação e Terraço Baixo / Planície de Inundação (FIGURA 6.22). A figura 6.22 representa o perfil transversal esquemático do escalonamento dos diferentes níveis deposicionais supracitados e a figura 6.23 apresenta a distribuição espacial das unidades morfoestratigráficas, bem como a localização do perfil estratigráfico realizado.

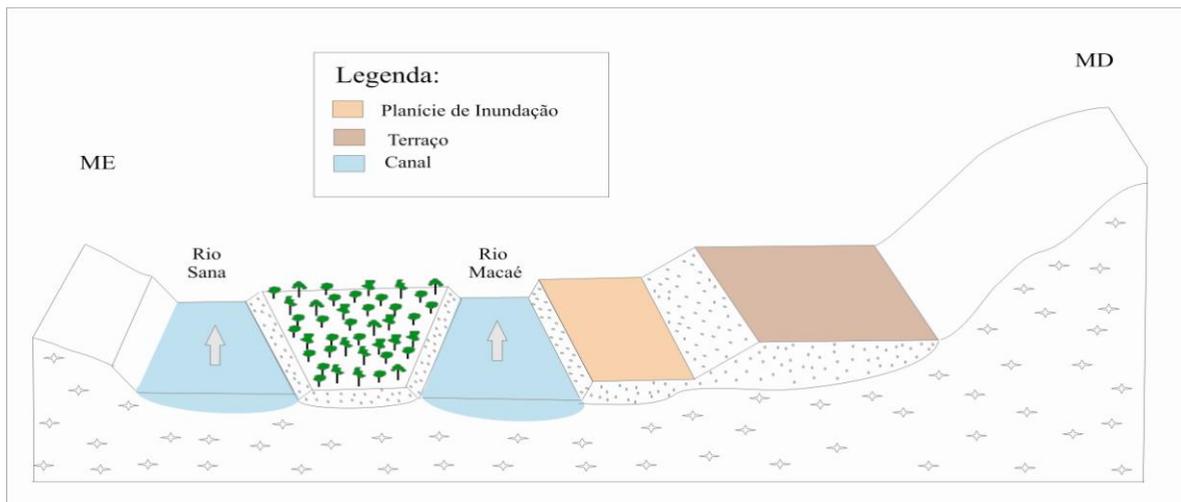


Figura 6.22: Croqui da seção transversal ao vale do rio Macaé na AS-3 com os níveis deposicionais fluviais identificados.

As feições morfoestratigráficas foram identificadas em ambas as margens do rio Macaé, no qual a feição Terraço de Acumulação ocorre de forma mais expressiva, em termos areais, pela margem direita do canal, enquanto que a feição Planície de Inundação se distribui de forma oposta, sendo mais desenvolvida pela margem esquerda do rio Macaé e por grande parte do baixo curso do rio (FIGURA 6.23). Estas feições ocupam área total de 368.674 m², onde 149.695 m² são ocupados pelo Terraço de Acumulação e 218.979 m² por Planície de Inundação.

Para a feição Terraço Reafeiçoado foi realizado perfil estratigráfico a partir da abertura de trincheira, por não haver secção exposta, visto que o desnível com a feição de Planície de Inundação ser bastante pequeno, inviabilizando a exposição do pacote sedimentar. A trincheira aberta tem profundidade aproximadamente de 1,50m como pode ser visualizado na figura 6.24.

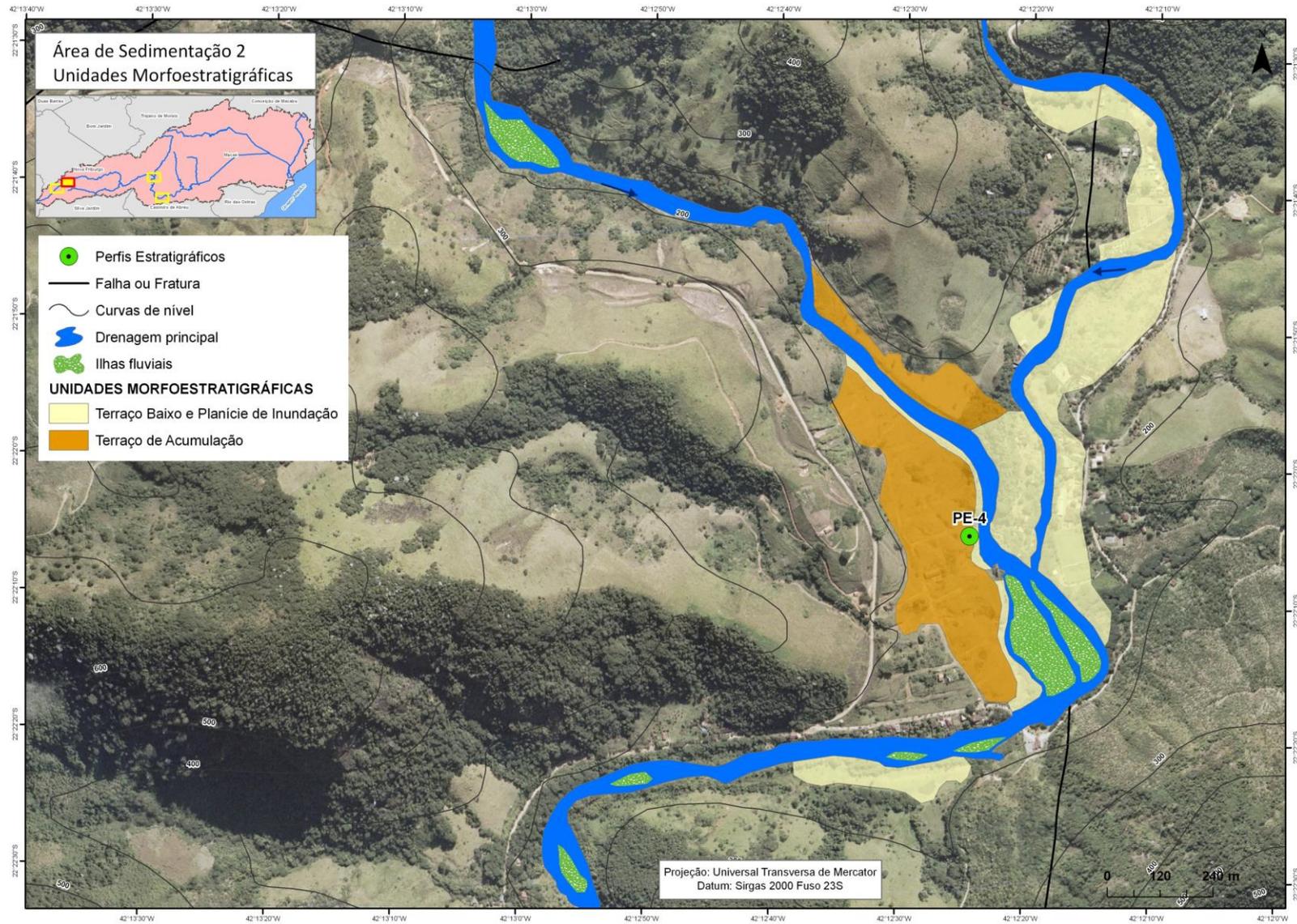


Figura 6.23: Mapa da forma em planta das feições morfoestratigráficas reconhecidas na área de sedimentação 3.

Esta feição apresenta topo plano, está topograficamente próxima a planície de inundação e cerca de 3,50m da calha atual. O arcabouço sedimentológico desta unidade é bem parecido com o da planície de inundação, formado por sedimentos arenosos e argilo-sílticos, relacionados a processos sedimentares trativos e de decantação. Os depósitos argilo-sílticos mais recentes nesta unidade estão associados principalmente aos eventos extremos de inundação, quando esta área fica inundada favorecendo o processo de decantação de finos. Ou seja, esta feição ainda pode ser inundada atualmente por eventos excepcionais de cheias do rio Macaé.



Figura 6.24: Visão panorâmica da feição morfoestratigráfica Terraço de Acumulação. Trincheira de 1,40 metros aberta para confecção do perfil estratigráfico (PE-4) próximo ao desnível com a feição Planície de Inundação.

Em outro trecho do terraço localizado na margem direita do canal, topograficamente acima do PE-4, já próximo do contato com a vertente, foi identificado depósito de cascalhos (cascalheira), que marca o antigo nível de base local do canal (vide FIGURA 6.25). São depósitos formados por cascalhos (seixos muito grossos, calhaus e matacões) sustentados por clastos arredondados a bem arredondados.

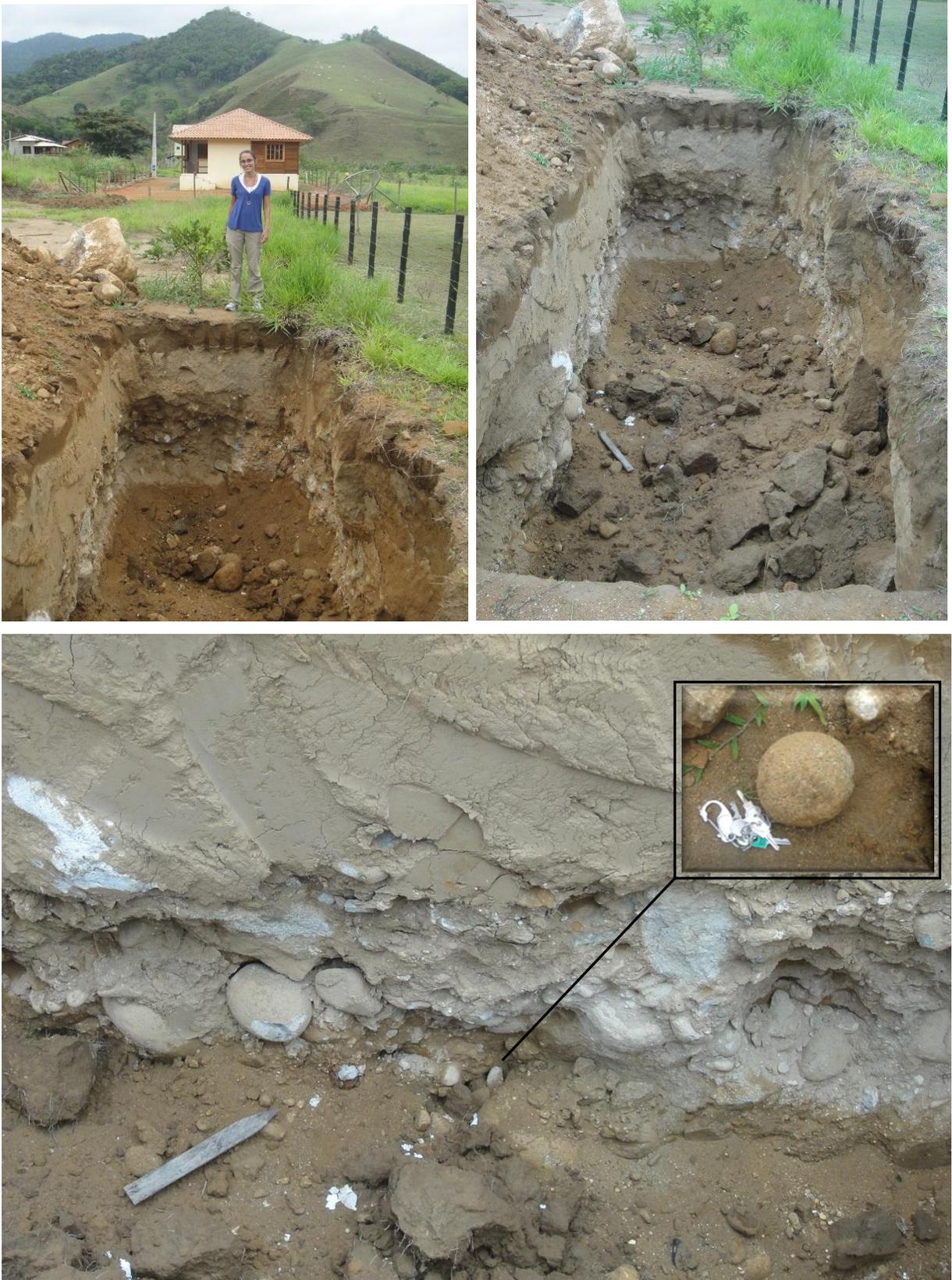


Figura 6.25: Depósito de cascalhos identificados na feição de Terraço de Acumulação com seixos grossos, blocos e matações arredondados a bem arredondados, próximo ao contato com a vertente pela margem direita do rio Macaé.

A feição de Terraço Baixo/Planície de Inundação é similar ao Terraço de Acumulação, tanto em termos morfológicos quanto em relação ao pacote sedimentar, estando apenas um nível topográfico mais baixo. Está espacialmente distribuída por ambas as margens dos rios Macaé e Sana de forma contínua, ocorrendo com maior extensão horizontal próximo à confluência desses rios. Já pela margem direita do rio Macaé apresenta-se como corpo contínuo porém bastante estreito, confinado pelo nível de terraço.

Para esta feição morfoestratigráfica não foram realizados levantamentos estratigráficos, pois além da incisão fluvial ser pequena nesta região não há paredes expostas para o levantamento das informações e a abertura de trincheira, como foi feito para o nível de terraço, se tornou inviável, uma vez que rapidamente se alcança o lençol freático (FIGURA 6.26).



Figura 6.26: Feição morfoestratigráfica Planície de Inundação localizada a montante da confluência entre os rios Macaé e Sana. Apresenta pequeno desnível topográfico em relação ao canal, em torno de 1,5 metros.

6.4. Área de Sedimentação 4 (AS-4)

Localizada no distrito de Cachoeiro de Macaé (município de Macaé), no baixo curso do rio Macaé, a aproximadamente 79km de distância de sua nascente (FIGURA 6.30). Está inserida no compartimento geomorfológico denominado por Silva (2002) de Planícies Fluviais e Flúvio-Marinhas e entre o compartimento de Serras Escarpadas, a 20m de altitude.

A rede de drenagem se desenvolve sobre rochas pertencentes ao Grupo São Fidélis (Complexo Paraíba do Sul), descritas no Capítulo 4, cuja orientação principal das falhas, que cortam toda a área, se desenvolve no sentido ENE-WSW. Contudo, a litologia da área é toda entrecortada por falhas ou fraturas (com escala local) de orientação N-S, diferenciando das falhas principais supracitadas.

O rio Macaé segue a orientação das falhas regionais, porém com algumas mudanças bruscas em seu curso formando ângulos de 90°, originando o que se denomina de curvaturas anômalas ou cotovelos de drenagem. Já os canais de pequena ordem, normalmente os de 1ª e 2ª ordem, seguem a orientação das falhas locais N-S. Outro fator que indica o forte controle estrutural do canal neste trecho é a característica de meandramento tortuoso.

A área é caracterizada por estar localizada logo após a abertura do vale do rio Macaé, próximo à última grande ruptura no perfil longitudinal (*knickpoint*), marcando o início do seu baixo curso e da dissipação de energia que chega dos vales confinados à montante, (vide FIGURAS 6.27 e 6.30).

Lima (2010), com base na classificação dos estilos fluviais, enquadra esse trecho do rio Macaé como *meandros irregulares com carga arenosa elevada*, de sinuosidade elevada ocorrência de cordões marginais convexos e depósito laminar arenoso, caracterizada por ambientes de vale parcialmente confinado (Figura 6.27). O mesmo autor comenta que os depósitos arenosos sofrem retração e acresção lateral e vertical em função do caráter sazonal do regime hidrológico, onde o processo de transferência ou deposição de sedimentos seja intercalado de acordo com a vazão do canal.

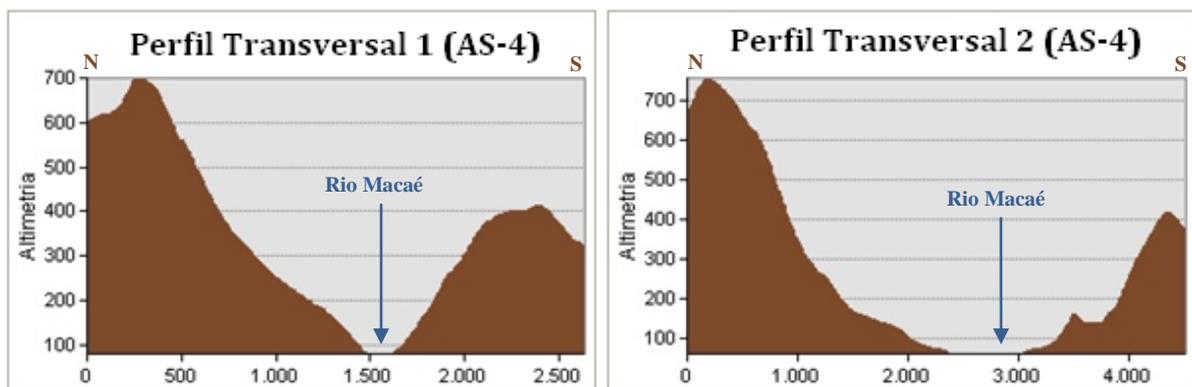


Figura 6.27: Perfil transversal ao rio Macaé localizada na área de sedimentação 4. Amplitude de relevo elevada pela margem esquerda do canal, em torno de 600m, e de 300m pela margem direita. A seção transversal 1 está a montante do trecho analisado, indicando vale confinado, enquanto que a seção transversal 2, localizada mais a jusante, mostra o alargamento do vale.

Em relação às feições morfoestratigráficas, foram identificados na área 3 níveis deposicionais fluviais associados a: 2 níveis de Terraço de Acumulação (T2 e T1, FIGURA 6.29) e 1 nível de Terraço Baixo/Planície de Inundação. A figura 6.28 representa o perfil transversal esquemático do escalonamento destes diferentes níveis deposicionais e a figura 6.30 apresenta a distribuição espacial das unidades morfoestratigráficas, bem como a localização dos perfis estratigráficos realizados.

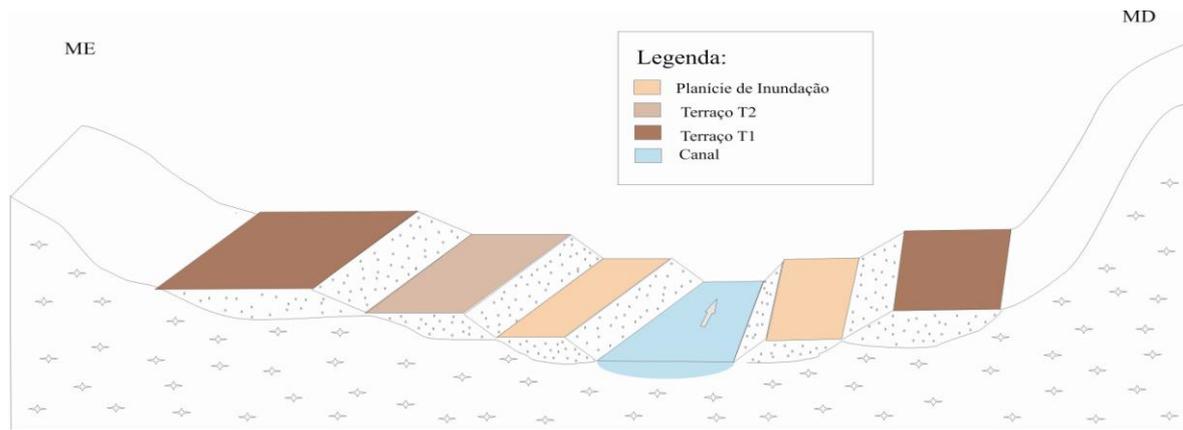


Figura 6.28: Croqui da seção transversal ao vale do rio Macaé na AS-4 com o escalonamento dos diferentes níveis deposicionais fluviais identificados.



Figura 6.29: Vista da margem esquerda do canal do rio Macaé apresentando a configuração dos diferentes níveis de terraços fluviais.

Estas feições estão distribuídas por toda a área mapeada, identificadas em ambas as margens do rio Macaé, tendo maior extensão horizontal onde o vale encontra-se mais largo, ocupando uma área total de 694.280 m², onde: 234.720 m² são ocupados por Planície de Inundação e 459.560 m² por Terraço de Acumulação.

A distribuição espacial ao longo do vale dos níveis de terraços fluviais associados à feição Terraço de Acumulação apresenta-se de forma descontínua, ou seja, não ocorrendo em determinados trechos do canal e com dois níveis pela margem esquerda do rio Macaé e apenas

um nível pela margem direita. Christofolletti (1981) caracteriza esse tipo de terraços como isolados, onde ocorre o deslocamento do entalhe fluvial em direção a uma das bordas da vertente, como no caso das divagações meândricas.

A diferença de amplitude altimétricas entre os níveis de terraço é baixa, em torno de 2,0m, estando o nível superior a 5,86m acima do nível d'água e a aproximadamente 61m de distância horizontal do canal. Já o nível superior possui amplitude altimétrica em relação ao nível de Planície de Inundação bastante baixa, em torno de 0,6m. A existência dos dois níveis identificados desta feição (T1 e T2) se dá apenas pela vertente norte, margem esquerda do canal, enquanto que na vertente sul, margem direita do canal, não há a formação do terraço inferior (T2), podendo este ter sido erodido ou recoberto pela atual planície de inundação.

Sobre o nível superior (T1) foi identificado traços de canal abandonado, marcando o antigo leito fluvial (paleocanal), já próximo à confluência do rio Macaé com um tributário de baixa ordem, como pode ser visualizado através da figura 6.29. Essa evidência reforça que esse tipo de feição morfoestratigráfica constitui uma superfície marcante de entulhamento dos vales fluviais, ocorrendo por isso de maneira mais expressiva em todas as áreas aqui mapeadas. Contudo não foi objetivo dessa pesquisa tentar interpretar esse tipo de feição geomorfológica, com intuito de descobrir se era um antigo leito do rio Macaé ou de seu tributário.

A fim de caracterizar litologicamente estes depósitos foram levantados perfis estratigráficos de detalhe para ambos os níveis, como mostra a figura 6.30, num total de 4 perfis, sendo: 1 para o nível inferior T2 (PE-7) e 3 para o nível superior T1 (PE-9, PE-10 e PE-11). Só foi realizado 1 perfil para o nível inferior T2 devido ao fato de este não se apresentar de forma contínua na área mapeada, com pacote sedimentar pouco espesso, e pequeno desnível em relação à feição Planície de Inundação, não apresentando em muitos casos parede exposta para o levantamento estratigráfico (FIGURAS 6.31 e 6.32).

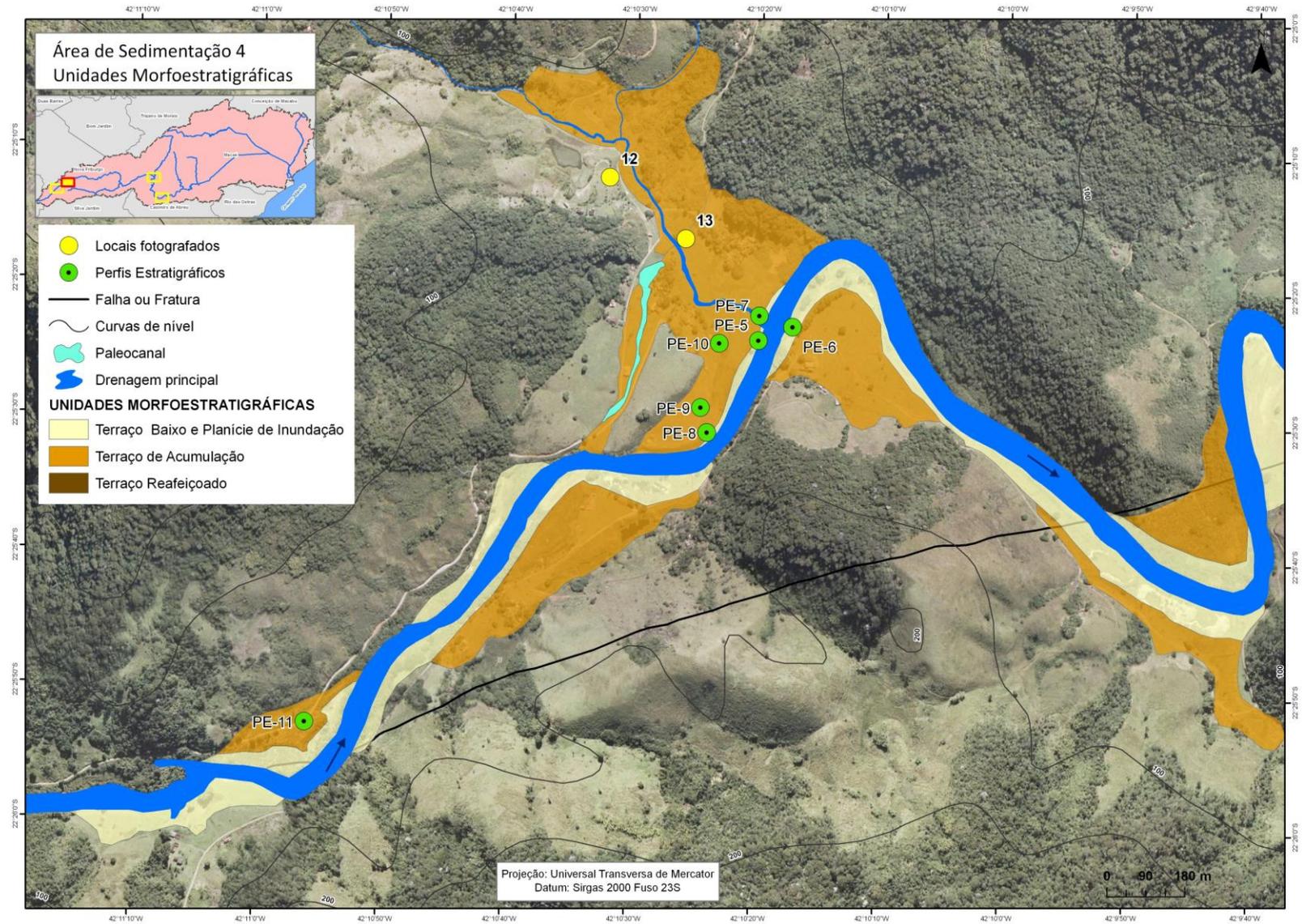


Figura 6.30: Mapa da forma em planta das feições morfoestratigráficas reconhecidas na área de sedimentação 4.



Figura 6.31: Ponto 12 da figura 6.29, associado ao tributário do Macaé por sua margem esquerda. Feição morfoestratigráfica de Terraço Baixo/Planície de Inundação.



Figura 6.32: Ponto 13 da figura 6.29, associado ao tributário do Macaé por sua margem esquerda. Feição morfoestratigráfica de Terraço Baixo/Planície de Inundação.

A feição de Terraço Baixo / Planície de Inundação está espacialmente distribuída predominantemente de forma contínua, com algumas interrupções em pequenos trechos do rio Macaé. Ocorre em ambas às margens do rio Macaé, de forma alongada porém estreita, com largura média de 50m, aumentando sua largura em direção à jusante (FIGURA 6.33). Possui amplitude altimétrica em relação ao nível do canal em torno de 2,0m.

Esta feição ocorre de forma incipiente ao longo de todo o vale do tributário de pequena ordem pela margem esquerda do rio Macaé, porém de forma fragmentada e com pequena extensão lateral, sendo difícil sua delimitação através da ortofoto. Por esse motivo não foi mapeada neste trecho da AS-4, generalizando a área como sendo Terraço de Acumulação.

Para a caracterização estratigráfica desta feição morfoestratigráfica foram levantados 3 perfis estratigráficos de detalhe, sendo dois para a margem esquerda do rio Macaé e um para sua margem direita (PE-5, PE-6 e PE-8), (vide FIGURA 6.30).



Figura 6.33: Feição morfoestratigráfica de Terraço Baixo e Planície de Inundação próxima ao canal do rio Macaé por sua margem esquerda, onde foi realizado o perfil estratigráfico de detalhe PE-8.

7. ANÁLISE FACIOLÓGICA DOS DEPÓSITOS SEDIMENTARES FLUVIAIS

7.1. Fácies sedimentares

A partir do mapeamento realizado das feições morfoestratigráficas (Terraço Reafeiçoado, Terraço de Acumulação e Planície de Inundação) ao longo do vale do rio Macaé, foram levantadas informações estratigráficas a fim de caracterizar litologicamente os depósitos sedimentares associados a partir de perfis estratigráficos de detalhe e seções estratigráficas. Desta forma, são apresentados, neste capítulo, os resultados desse levantamento, onde foram identificadas 12 litofácies, sendo: 3 rudíticas e 9 areníticas, resumidas na tabela 1.

Fácies Ch1

Nos depósitos referentes à feição morfoestratigráfica de terraço de acumulação localizado na Área de Sedimentação 4 (PE-11, Figura 6.29) ocorre camada de cascalho formada por seixos grossos a muito grossos de quartzo, sustentada pelos clastos, com abundante matriz arenosa grossa a muito grossa. Os seixos de diâmetro entre 2cm e 3cm são subarredondados enquanto que os seixos de 5cm a 6cm são subangulosos. Esta camada possui aproximadamente 30cm de espessura, com estratificação horizontal, leve imbricção estando na base do perfil estratigráfico, apresentando diminuição da granulometria em direção ao topo, possuindo contato gradacional com a camada superior.

Esta fácies foi correlacionada à fácies Gh de Miall (1996), estando relacionadas à migração de lençóis de cascalho (barras longitudinais ou como depósitos residuais *lag deposits*) em episódios de alta intensidade do fluxo do canal. De acordo com Ramos (2003), são formadas durante o pico do fluxo hidrodinâmico, que durante os episódios de alta descarga de água e sedimentos, sofrem agradação e crescimento à jusante pela acreção de clastos, conferindo-lhe um padrão levemente imbricado.

Ramos (2003) explica que durante períodos de estiagem, quando o transporte de sedimentos é reduzido e se torna mais lento pelo processo de desaceleração, os sedimentos mostram uma progressiva diminuição na fração granulométrica, gerando uma evidente granodecrescência ascendente. Isso também pode explicar o fato de ter sido observado a diminuição da granulometria em direção ao topo da camada.

Tabela 1: Fácies sedimentares identificadas para a área de estudo

Fácies	Diagnose	Descrição	Interpretação
Ch1	Cascalho suportado pelos clastos com estrutura horizontal, matriz arenosa (levemente imbricado)	Seixo grosso a muito grosso (predominantemente de 2 a 6 cm), subarredondado, com matriz de areia grossa a muito grossa, pobremente selecionada, composta por quartzo, mica e litoclastos de gnaiss.	Superposição de lençóis de cascalho por correntes trativas unidirecionais
Ch2	Cascalho suportado por matriz arenosa com estratificação horizontal	Grânulos, seixo fino a muito grosso, angulosos a subarredondados. Abundância de feldspato e quartzo e ocorrência dispersa de gnaiss	Superposição de lençóis de cascalho e areia por correntes trativas unidirecionais
Cm	Cascalho maciço	Grânulos, seixo fino a grosso, angulosos a subangulosos com matriz de areia média a fina, moderadamente selecionado. Presença de feldspato angulosos e quartzo	Fluxo de detritos confinado no canal (fluxo com alta energia)
Aa1	Areia com estratificação cruzada acanalada	Areia arcossiana de média a muito grossa, moderadamente selecionada, subangulosa a subarredondada, com matriz de areia fina e grânulos dispersos de quartzo e feldspato	Migração de dunas de crista sinuosa em regime de fluxo inferior unidirecional
Aa2	Areia com estratificação cruzada mal definida	Areia média a fina, bem selecionada, subarredondada.	Migração de dunas em regime de fluxo inferior unidirecional
Ah1	Areia com estratificação horizontal	Areia grossa a muito grossa, subangulosa, com presença de cascalho (grânulos a seixo muito grosso, angulosos a subarredondados). Ocorrência de clastos de gnaiss, feldspato e quartzo	Superposição de lençóis de areia em regime de fluxo superior unidirecional
Ah2	Areia com estratificação horizontal mal definida (incipiente)	Areia média a fina, bem selecionada, subarredondada, com presença de mica (biotita e muscovita)	Superposição de lençóis de areia por fluxo trativo unidirecional
Ag	Areia com gradação normal	Areia muito grossa a grossa com grânulos espalhados, gradando para areia média a fina no topo	Fluxo desacelerante
Am1	Areia maciça (sem estrutura aparente)	Areia média a grossa sem estrutura aparente, bioturbada e com presença de raízes	Fluxo trativo unidirecional subaquoso com modificação pós-deposicional
Am2	Areia maciça	Areia micácea, média a fina, subangulosa a subarredondada, bem selecionado, predominando mica preta	Fluxo gravitacional subaquoso
ALm1	Areia lamosa maciça	Areia micácea média a fina, subarredondado, bem selecionado, com matriz siltico-argilosa	Depósito de planície de inundação ou fluxo gravitacional subaquoso
ALm2	Areia lamosa maciça (sem estrutura observável)	Areia micácea com matriz siltico-argilosa e ocorrência de lentes de cascalho fino (grânulos) mais próximas ao topo da camada	Depósito de fluxos trativos unidirecionais com modificações pós-deposicionais

Fácies Ch2

Possui arcabouço cascalhoso, composta por grânulos e seixos finos a muito grossos, com estratificação horizontal, sustentado por matriz arenítica.

Na seção da AS-2 ocorrem sobre a forma de camadas com espessura aproximadamente entre 20 a 40cm, constituída, predominantemente, por seixos grossos a muito grossos, muito pobremente selecionada, em contato erosivo sobre a **fácies Ah1 e Aa1** (Perfil 3, Figura 6.13) (FIGURAS 7.1 e 7.2). Ocorrem, também, sobre a forma de lentes de

seixos finos a médios, intercaladas com a **fácies Ah1** (Perfil 2, figura 6.5). Os seixos finos a médios são formados por quartzo e feldspato angulosos, enquanto que os seixos muito grossos são formados por feldspato e litoclastos de gnaisses subangulosos a angulosos (Figura 7.1). Alguns desses litoclastos estão já bastante intemperizados.

Os depósitos associados à feição morfoestratigráfica de terraço baixo e planície de inundação, localizado na Área de Sedimentação 4 (PE-8, FIGURA 6.29), são formados por arcabouço de seixo grosso (predominantemente de 2cm), subarredondados a arredondados, com matriz arenosa grossa. Ocorrem entre a **fácies Ah1** na base do perfil.

Esta fácies é interpretada como resultante de fluxo trativo unidirecional em regime de fluxo superior, sobre a forma de lençóis de cascalho. De acordo com Miall (1996), esta fácies está associada a barras e formas de leito cascalhosos. São depositadas por variações rápidas na descarga líquida e de sedimentos, depositadas por fluxos hidrodinâmicos trativos intensos e rápidos. Ocorrem, também, relacionadas a uma série de pulsos de maior e menor energia, podendo exibir gradação normal no pacote sedimentar, intercalada com depósitos arenosos.

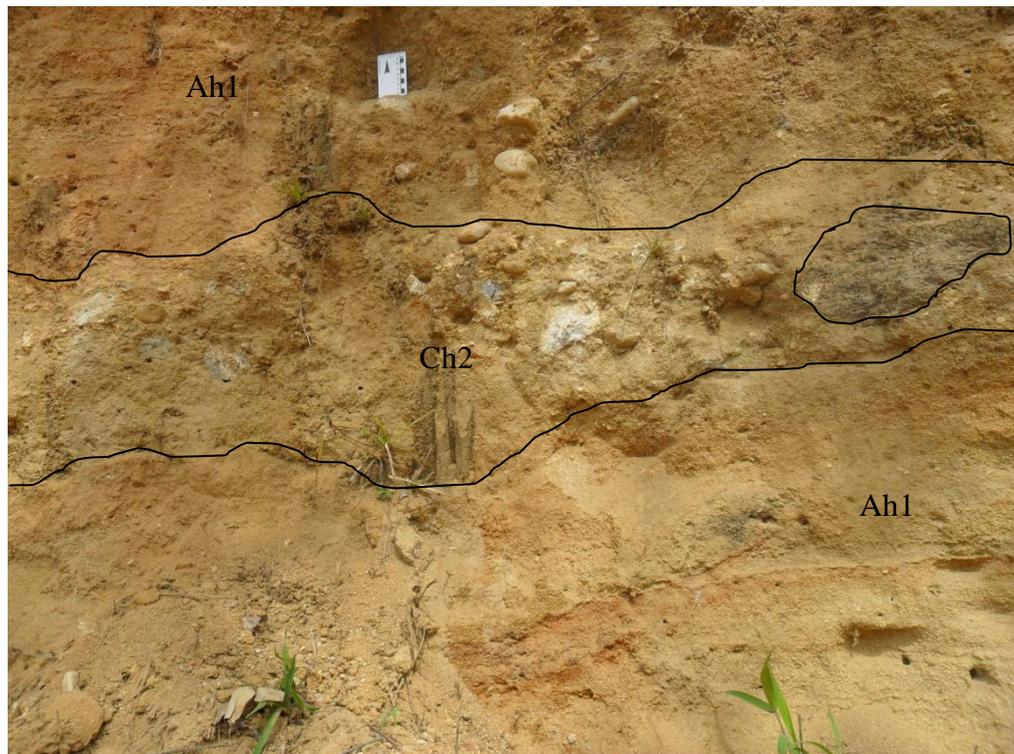


Figura 7.1: Pacote sedimentar relacionado ao perfil 3 da seção estratigráfica localizada na Área de Sedimentação 4. Fácies Ch2 intercalada entre depósitos arenosos referentes à fácies Ah. Observa-se litoclasto de gnaiss já bastante intemperizado.

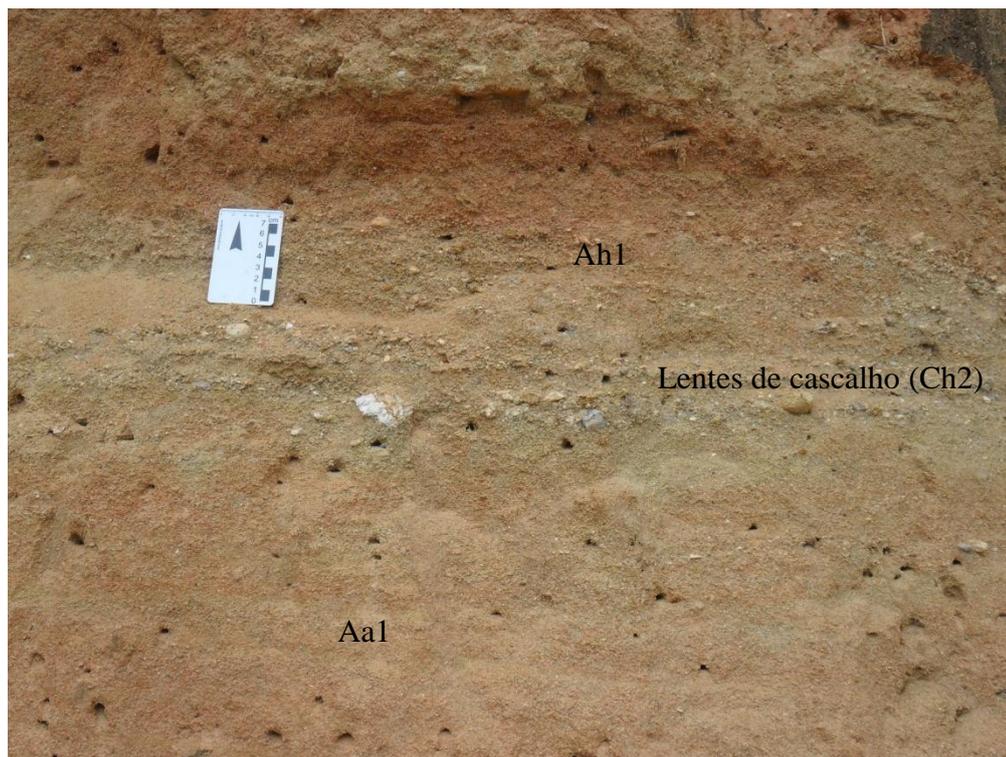


Figura 7.2: Pacote sedimentar relacionado ao perfil 2 da seção estratigráfica localizada na Área de Sedimentação 4. Observam-se lentes de cascalho da fácies Ch2 intercaladas com fácies Ah1.

Fácies Cm

Esta litofácies ocorre de forma escassa nas feições de Terraço Reafeiçoado e nos Terraços de Acumulação. Caracterizada por depósito de cascalho, compostos por grânulos e seixos de diâmetro em torno de 1 a 2cm, angulosos a subangulosos, de composição predominantemente quartzosa, ocorrendo de forma subordinada clastos de feldspato. O depósito é moderadamente selecionado, com matriz arenosa quartzosa de areia média a fina e estrutura maciça.

Nos depósitos referentes ao perfil PE-2 (AS-1, FIGURA 6.5), foi identificada na base do perfil camada com 30 centímetros de espessura, em contato erosivo (discordância erosiva) sobre rochas do embasamento rochoso (quartzito – Grupo São Fidélis, vide figura 5.2). Na Seção S-1 (AS-2, Figura 6.13), encontra-se associada à fácies **ALm** na forma de lentes, com contato basal erosivo.

Em grande parte da literatura, essa fácies é associada a fluxo gravitacional de detritos (*debris flows*). Contudo, acredita-se que essas fácies, na área estudada, podem estar relacionadas a outros tipos de processos. Fevrier (2012), relaciona a fluxo trativo, podendo estar relacionado a lençol de cascalho depositado em pequenos canais sobre barras sedimentares. Acredita-se, também, que a estrutura original pode ter sido obliterada por

eventos pós-deposicionais, não sendo esta mais observada, dando o aspecto de estrutura maciça ao pacote sedimentar.

Fácies Aa1

Foi identificada em afloramentos pertencentes à feição geomorfológica de Terraço Reafeiçoado nas Áreas de Sedimentação 2 e 4 (Seção-1, PE-10 e PE-11, vide FIGURA 6.29). É caracterizada por areia arcossiana de média a muito grossa, com estratificação cruzada acanalada, de coloração rósea-avermelhada. O depósito é moderadamente a pobremente selecionado, com matriz de areia fina e presença de grânulos dispersos, angulosos a subarredondados. Possui grande abundância de clastos de feldspato, além de quartzo e biotita.

Na seção S-1, encontra-se na base do afloramento (FIGURA 6.13), com expressiva extensão lateral, em contato lateral com os depósitos da **fácies Ah**. Apresenta contato erosivo no topo com a **fácies Cc e Ch** (FIGURA 7.3). O depósito, com espessura total de 1,20m, é formado por sets de cruzadas de espessuras decimétricas (até 60 cm).



Figura 7.3: Depósito localizado na Seção S-1 (Área de Sedimentação 4). Arenito com sets de cruzadas acanaladas, apresentando contato erosivo no topo com a fácies Cc.

Esta fácies foi correlacionada à fácies St de Miall (1996), estando relacionadas à migração de dunas (3D) de crista sinuosa, formadas em meio subaquoso, por correntes tratativas unidirecionais, sob condições de regime de fluxo inferior alto.

Fácies Aa2

Essa litofácies é bem escassa nas sucessões sedimentares analisada na presente pesquisa, identificada apenas nos depósitos referentes à feição terraço de acumulação na AS-1 1 (PE-2, FIGURA 6.5). Apresenta-se em camada pouco espessa, com aproximadamente 20cm de espessura, próxima a base do perfil entre as **fácies Cm** (na base) e **Ag** (no topo). É constituída por areia média a fina, bem selecionada, com grãos subarredondados e matriz siltica-argilosa pouco expressiva. Possui estratificação cruzada, pouco aparente, podendo ser confundida com camadas maciças (FIGURA 7.5). A estrutura pode ter sido obliterada pelos processos de bioturbação intenso, visto que é possível observar na figura 7.5 raízes no interior do depósito.

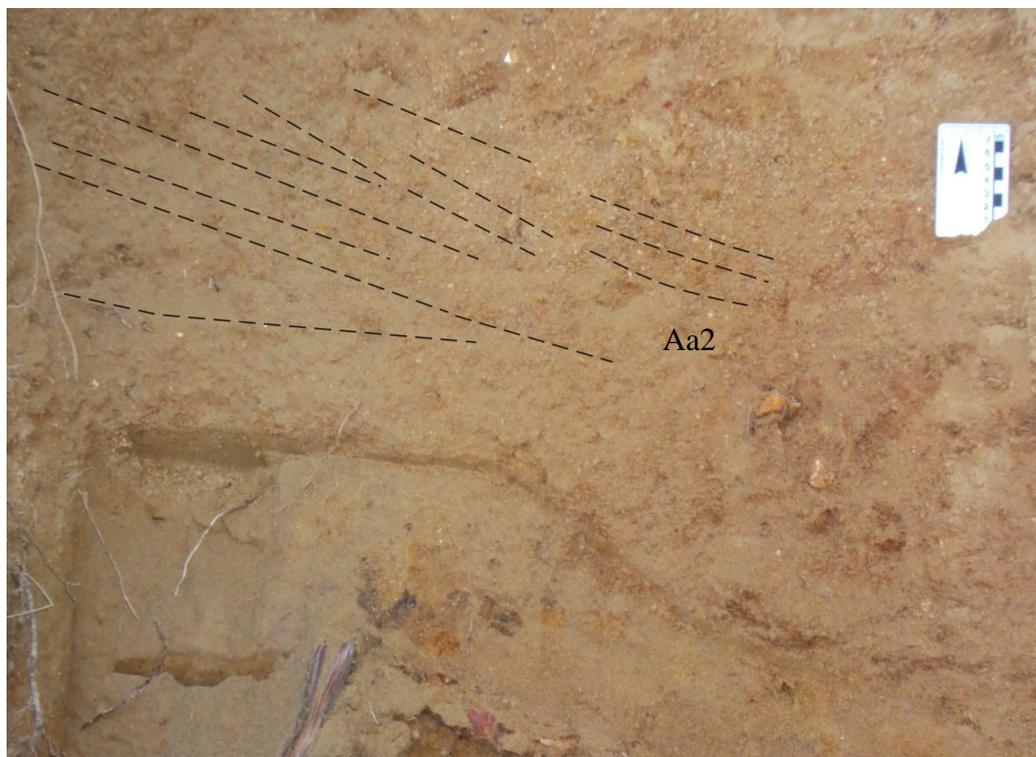


Figura 7.4: Depósito referente ao PE-2, localizado na Área de Sedimentação 1. Areia média a fina com laminação cruzada mal definida (fácies Aa2).

Esta fácies foi correlacionada à fácies Sr de Miall (1996), estando relacionada à migração de *ripples* (ondulações), caracterizada pela variação de tipos de *ripples* assimétricas.

São desenvolvidas em regime de fluxo inferior ($< 1\text{m/s}$), muito sensíveis a mudanças na condição do fluxo (Miall, 1996). Ramos (2003) comenta que são geradas em águas rasas, com velocidades de fluxo entre 30 e 60 m/s e profundidades entre 15 e 30 cm. O mesmo autor informa que quando a velocidade do fluxo excede 20 cm/s, as cristas começam a mudar de forma, primeiro para cristas contínuas e onduladas e, logo, para estruturas 3D do tipo linguóides.

Fácies Ah

Foram reconhecidas na área de estudo duas variações da litofácies Ah, sendo: a primeira (**Ah1**) corresponde a depósitos formados por areia grossa a muito grossa e grãos de cascalho; e a segunda (**Ah2**) constituída por areia média a fina, bem selecionada. Ambas as fácies possuem geometria lenticular, com estratificação horizontal.

A **fácies Ah1** está bastante presente nos depósitos analisados, estando presente nas Áreas de Sedimentação 1, 2 e 4. Formada por areia grossa a muito grossa, subangulosa a subarredondada, pobremente selecionado, com grânulos a seixos muito grossos de quartzo e líticos de gnaisses já bastante intemperizados, apresentando estratificação horizontal. As camadas possuem espessuras variando de 10 a 20cm, em contato lateral irregular com a fácies Aa1, de gênese erosivo. Possui lentes de cascalho da **fácies Ch**, com contato basal erosivo (FIGURA 7.4).

A **fácies Ah2** possui menor expressividade nos pacotes sedimentares analisado, reconhecida nas Áreas de Sedimentação 1 e 4. É composta por areia média a fina, por vezes siltosos, bem selecionada, com laminação horizontal mal preservada, grãos subarredondados e presença de mica (predominantemente biotita).

Nos depósitos associados ao perfil PE-2 (Figura 6.5), foram reconhecidas ambas as fácies, ocorrendo de forma intercalada entre si, com espessuras das camadas variando em torno de 8cm.

Acredita-se que as duas variedades da litofácies **Ah** são geradas sob condições dinâmicas semelhantes, relacionadas à superposição de lençóis de areia formada por fluxos trativos subaquosos unidirecionais, podendo estar associadas a variações de energia do fluxo hidrodinâmico, através de pulsos de maior e menor energia que depositam esses materiais de forma intercalada, ora mais grosseiros (pulsos de maior energia), ora mais finos (pulsos de menor energia) pela rápida desaceleração da corrente (Miall, 1996).

Esta fácies pode ser comparada a fácies Sh de Miall (1996), na qual a interpreta como vinculada a condições de regime de fluxo superior, com velocidades da corrente em torno de 1m/s e profundidade do canal de 0,25 a 0,5 m, depositadas em eventos dinâmicos simples, tais como inundações. Porém, podem ser formadas também em condições de baixas velocidades, por perda progressiva de velocidade das correntes, em ambientes rasos (Miall, 1996; Ramos, 2003). Segundo Ramos (2003), a presença de arenitos com laminação horizontal sobre depósitos associados à **fácies Aa1**, como ocorre nos depósitos da AS-2 onde a **fácies Ah1** erode a **fácies Aa1**, sugere uma deposição sob regime de fluxo superior, causada pela progressiva perda de velocidade das correntes e agradação vertical dos materiais entre ou acima das dunas 3D.

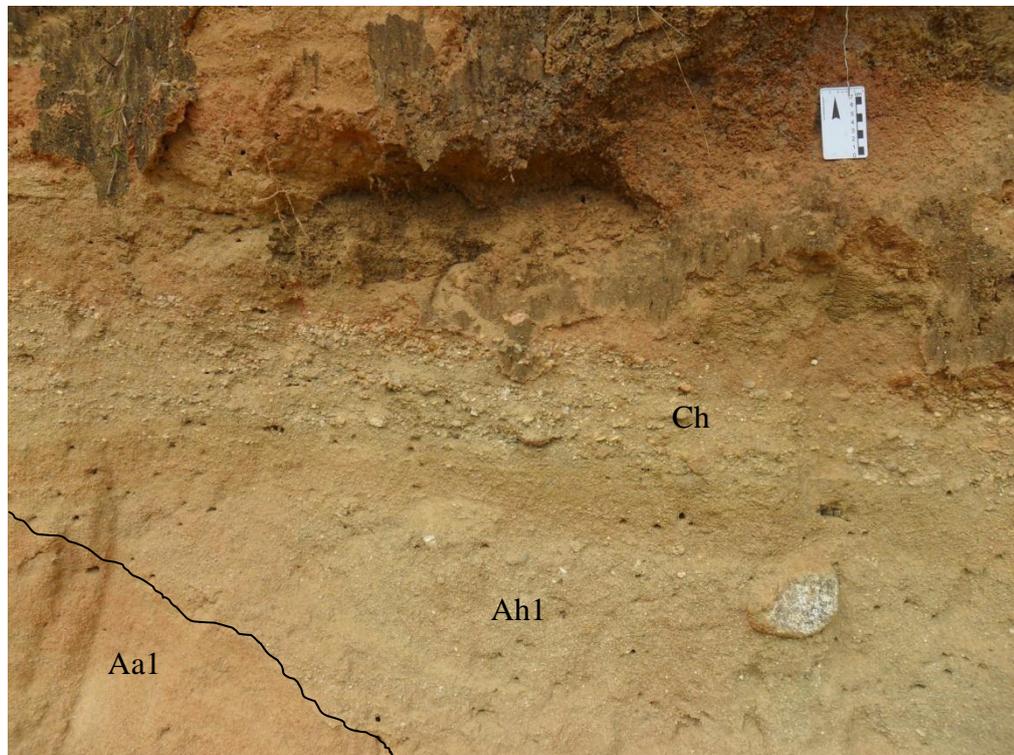


Figura 7.5: Depósito localizado na Área de Sedimentação 2. Areia grossa a muito grossa com lentes de cascalho (Ah1), erodindo lateralmente a fácies Aa1 e em contato erosivo no topo com a fácies Ch.

Fácies Ag

Ocorrendo acima da **fácies Aa2** na AS-1, em contato gradacional com este, possui aproximadamente 70 cm de espessura. É constituída por depósito arenoso com gradação normal, apresenta granulometria de areia muito grossa na base, com grânulos de feldspato e

quartzo dispersos, passando para areia fina no topo. De forma geral as areias são subarredondadas e os grânulos subangulosos.

Para Collinson (1970 *apud* Ramos, 2003) a gênese desse tipo de depósito estaria vinculada a eventos de cheias de canais com alta carga sedimentar, depositando esse material em corpos d'água de baixa profundidade. Sugere, ainda, que são geradas provavelmente em rios do tipo entrelaçado, como resultado de brusca desaceleração na velocidade das correntes, causando a deposição da carga arenosa sem que haja a possibilidade de serem formadas estruturas lineares ou planares.

Fácies Am

Foram reconhecidas na área de estudo duas variações da litofácies Am, sendo: a primeira (**Am1**) corresponde a depósitos formados por areia média a grossa, e a segunda (**Am2**) constituída por areia micácea média a fina, bem selecionada. Ambas as fácies possuem geometria lenticular e estrutura maciça.

A **fácies Am1** é encontrada nos depósitos relacionados às Áreas de Sedimentação 2 e 4 (Seção-1, PE-6, PE-9, PE-10, PE-11). Composta por areia média a grossa micácea, estrutura maciça, moderadamente selecionada, apresentando grânulos de quartzo e mica espalhados, de matriz de areia fina, com espessuras decimétricas (variando em torno de 10 a 90 cm) (FIGURA 7.6).

A **fácies Am2** foi identificada nos depósitos pertencentes ao terraço de acumulação na AS-3 (FIGURA 7.7). Caracterizada por areia micácea maciça, com grãos variando de areia média a fina, bem selecionado, subarredondado a subangular, quase isentos de matriz. Material formado predominantemente por grãos de quartzo e mica (biotita e muscovita). Esta fácies é marcada pela intercalação de camadas ora de areia média ora de areia fina, com contato gradacional entre elas, porém não tão claro. As camadas variam em torno de 40 a 70 cm de espessura, sendo a maioria das camadas bioturbadas, com presença de muitas raízes.

Miall (1996) interpreta os depósitos arenosos maciços como resultado de fluxos gravitacionais de detritos. Contudo, admite que a estrutura maciça pode ser efeito da obliteração de estruturas sedimentares primárias preexistentes em função do alto grau de alteração em que se encontram os depósitos, devido aos processos de intemperismo, bem como por uma intensa ação de organismos bioturbadores. Comenta, ainda, que podem apresentar gradação ou revelar tênue laminação.



Figura 7.6: Fácies Am1 formada por areia média a grossa maciça. Depósito localizado a 30 cm da base do perfil estratigráfico PE-11 localizado na Área de Sedimentação 4.



Figura 7.7: Fácies Am2 formada por areia média a fina sem estrutura aparente. Depósito localizado na base do perfil estratigráfico PE-4 na Área de Sedimentação 3, próximo a confluência do rio Macaé com o rio Sana.

Ramos (2003) interpretou para os depósitos areníticos maciços na bacia do Resende como o produto de fluxos (*splay*) tabulares não confinados, depositados durante períodos de enchente ou nos estágios iniciais de avulsão de canais.

Fácies ALm

Foram reconhecidas na área de estudo duas variações da litofácies ALm, ambas com matriz síltico-argilosa, sendo: a primeira (**ALm1**) constituída por arcabouço de areia micácea média a fina, e a segunda (**ALm2**) composta por areia micácea média à grossa com ocorrência de lentes de cascalho fino.

A **fácies ALm1** foi identificada nos depósitos referentes aos perfis PE-4, PE-5, PE-6, PE-7 e PE-8 (Figura 6.29). É caracterizada por depósito arenoso, médio a fino, bem selecionado, subarredondado a subangular, composta predominantemente por quartzo e mica (biotita e muscovita), e com matriz lamosa (síltica-argilosa). De forma geral, esses depósitos possuem estrutura maciça ou laminação mal definida, apresentando bioturbações, com alguns depósitos já em estágio de pedogenização. A espessura das camadas varia em torno de 10 a 50cm . Estão, normalmente, associadas com a **fácies Ah e Am2**, em contato basal do tipo gradacional com esses.

A **fácies ALm2** foi reconhecida nos depósitos referentes aos perfis Perfil 4 da Seção-1. Composta por areia micácea média a grossa de matriz lamosa (síltica-argilosa), com 50 cm de espessura. Apresenta lentes de cascalho fino formado por grânulos, concentrados, majoritariamente, no topo da camada, próximo ao contato erosivo com a **fácies Ch**.

A **fácies ALm1** pode ser associada à fácies Fl de Miall (1996), onde a interpreta como depósitos proximais de recobrimento das planícies de inundações, originados em eventos de enchente, quando há o rompimento dos diques marginais, estendendo-se em forma de línguas sinuosas ou lobadas rumo à planície de inundação - são chamados de leques de arrombamento (*crevasse splay*). O mesmo autor, informa que em geral ocorre interlaminação entre material variando granulometricamente de areia a argila. Porém como o depósito encontra-se já em processo de pedogenização e bioturbadas, com grande ocorrência de raízes, as estruturas sedimentares podem ter sido obliteradas.

A **fácies ALm2** é interpretada por Fevrier (2012) como fluxos trativos unidirecionais com modificações pós-deposicionais. O mesmo autor sugere que esta fácies pode ser continuidade da fácies Ah, por estar lateralmente em contato com esta e em contato superior erosivo com a fácies Ch.

7.2. Associação de fácies

A fim de se tentar interpretar os sistemas fluviais pretéritos que geraram os níveis de terraços fluviais mapeados ao longo do rio Macaé, fazem-se necessária a realização de associações de fácies, correlacionando as litofácies identificadas nos afloramentos com os modelos de fácies de Miall (1996). Logo, foi realizada uma tentativa, mesmo que preliminar, de estabelecer essas correlações com as litofácies descritas no capítulo anterior. Porém, por questões das técnicas empregadas e da quantidade de afloramentos que foram possíveis de serem analisados, este capítulo é apenas uma contribuição inicial para os estudos da dinâmica de evolução da bacia do rio Macaé. Desta forma não se pretende chegar a definições conclusivas a respeito da dinâmica de sedimentação do rio Macaé e nem de compreender totalmente o comportamento do canal no momento da deposição e formação das unidades morfoestratigráficas mapeadas na pesquisa. O que se pretende aqui é dar um passo inicial para estes estudos e ajudar na compreensão da dinâmica sedimentação do rio Macaé e levantar algumas hipóteses que deverão ser mais bem estudada e analisada posteriormente. Desta forma 3 associações de fácies foram propostas.

Associação de fácies 1 (Ch2, Cm, Aa1, Aa2, Ah1, ALm2)

Esta associação de fácies está representada nos afloramentos analisados das Áreas de Sedimentação 1 e 2, ambas localizadas no alto curso do rio Macaé (FIGURAS 6.1, 6.5 e 6.14). Para a caracterização desses depósitos foram realizados um total de 5 perfis estratigráficos, sendo 1 no afloramento localizado na AS-1, pertencentes ao nível de terraço inferior (associado à feição de Terraço de Acumulação), e 4 no afloramento localizado na AS-2, referente ao nível de terraço superior (associado à feição de Terraço Reafeixado) (FIGURA 7.10).

O afloramento que melhor representa esta associação é o da AS-2 (FIGURA 7.9 e 7.10), por estar mais bem preservado e por possuir continuidade lateral exposta, o que facilita na análise dos contatos laterais. O afloramento apresenta em torno de 4m de altura e 15m de comprimento, ocorrendo na margem esquerda do rio Macaé a 14,8m de altitude da calha atual.

O depósito é constituído por pacote sedimentar arenoso e cascalhoso, além de depósitos arenosos de matriz lamosa na parte inferior NW da seção estratigráfica (Figura 7.10). Na base do afloramento ocorre, na forma de *sets* com espessura decimétrica em torno

de 30cm, camada arenosa de estratificação cruzada acanalada (**fácies Aa1**), depositada em regime de fluxo inferior pela migração de dunas de crista sinuosa em ambiente subaquoso. Ocorre em contato lateral erosivo com os depósitos arenosos de estratificação horizontal, pertencentes à fácies **Ah1**, erodindo lateralmente a fácies **Aa1** e se sobrepondo a mesma na altura do perfil 2. É formada por arcabouço de areia grossa a muito grossa com presença de grânulos e seixos de quartzo e líticos de gnaisses já bastante intemperizados, com pacote sedimentar de espessura em torno de 30cm, formada por corrente trativa unidirecional em regime de fluxo superior pela sobreposição de lençóis de areia. Através do perfil 2, ainda observa-se que a fácies **Ah1** ocorre intercalada com lentes de cascalho formada por grânulos e seixo fino a grosso, com grande quantidade de fragmentos de feldspato. De acordo com Miall (1996), essa sucessão de fácies, caracterizada por *sets* de Aa1 recoberta por Ah, pode ser interpretada a partir da ocorrência de ciclos de inundação de rio efêmero, refletindo fluxos de alta energia seguido por rápido declínio na descarga.

Acima dessas camadas, em contato erosivo com as mesmas, ocorrem depósitos de fração granulométrica maior, pertencentes às fácies **Cp** e **Ch2**. São depósitos cascalhosos formados por grânulos e seixos finos a grossos, com fragmentos líticos de quartzo, feldspato e gnaiss, de matriz arenítica. No perfil 1, acima da fácies **Aa1**, observa-se camada de espessura de 30 cm, formada por grânulos e seixo fino, pertencentes à fácies **Cp**, associada à migração de barra de cascalho de crista reta em regime de fluxo superior. Já no perfil 2 e 3, observa-se litofácies **Ch2**, composta por seixo médio a muito grossa, intercalada com a fácies **Ah1**, interpretados como superposição de lençóis de cascalho por fluxo trativo unidirecional em regime de fluxo superior. Essa configuração também é observada nos depósitos do PE-2 (FIGURA 7.8). Segundo Miall (1996), estas litofácies estão associadas a barras e formas de leito cascalhosos, depositados por fluxos hidrodinâmicos trativos intensos e rápidos, relacionados a uma série de pulsos de maior e menor energia.

Lateralmente, a fácies **Cp**, localizada a SE da seção, grada para a fácies **Ah1**, como pode ser observado nas figuras 7.9 e 7.10. Suguio (2003) define esse tipo de contato lateral de acunhamento, correspondente a um fenômeno pelo qual uma determinada camada (ou unidade litológica) diminui gradualmente de espessura até o seu completo desaparecimento e substituição por outras litologias.

Por cima desse pacote sedimentar, ocorre nos perfis 1, 2 e 3 alternância de ciclos granodecrescentes, com espessura variando de 30cm a 40cm, formados na base por cascalho fino (grânulos e seixos de aproximadamente 6mm), anguloso, moderadamente selecionado com estratificação cruzada de baixo ângulo (**fácies Cp**) e, no topo, camada de areia grossa a

muito grossa com grânulos dispersos, subanguloso, moderadamente selecionado e com estratificação horizontal (**fácies Ch e Ah**). Como já mencionado anteriormente, essas camadas podem estar associadas a variações no fluxo, através de pulsos de maior e menor energia, caracterizando esse tipo de depósito com fração mais grosseira na base, exibindo gradação normal para areia grossa a muito grossa. Miall (1996) reforça tal afirmativa, no qual diz que a presença da camada com estruturas cruzadas de baixo ângulo representa a passagem de fluxo inferior para superior.

No canto inferior direito da seção estratigráfica (FIGURA 7.10), em contato lateral aparentemente erosivo com o pacote sedimentar anteriormente descrito (o contato entre esses dois pacotes sedimentares não é tão claro), ocorre depósito arenoso lamoso, constituído por camadas em torno de 40 cm de areia micácea de matriz síltico-argilosa (**fácies ALm2**), sendo grossa na base do perfil 4 e fina no meio do perfil, intercalada com lentes de cascalho angulosos, formada por seixo médio de quartzo e feldspato. É interpretado por Fevrier (2012) como sendo fruto de fluxos trativos unidirecionais com possível laminação mal definida, no qual não pode ser observado devido a modificações pós-deposicionais causadas por pedogênese. Ocorre ainda a deposição de camadas de cascalho pertencentes às fácies **Ch2** e **Cm** erodindo a fácies **ALm2**.

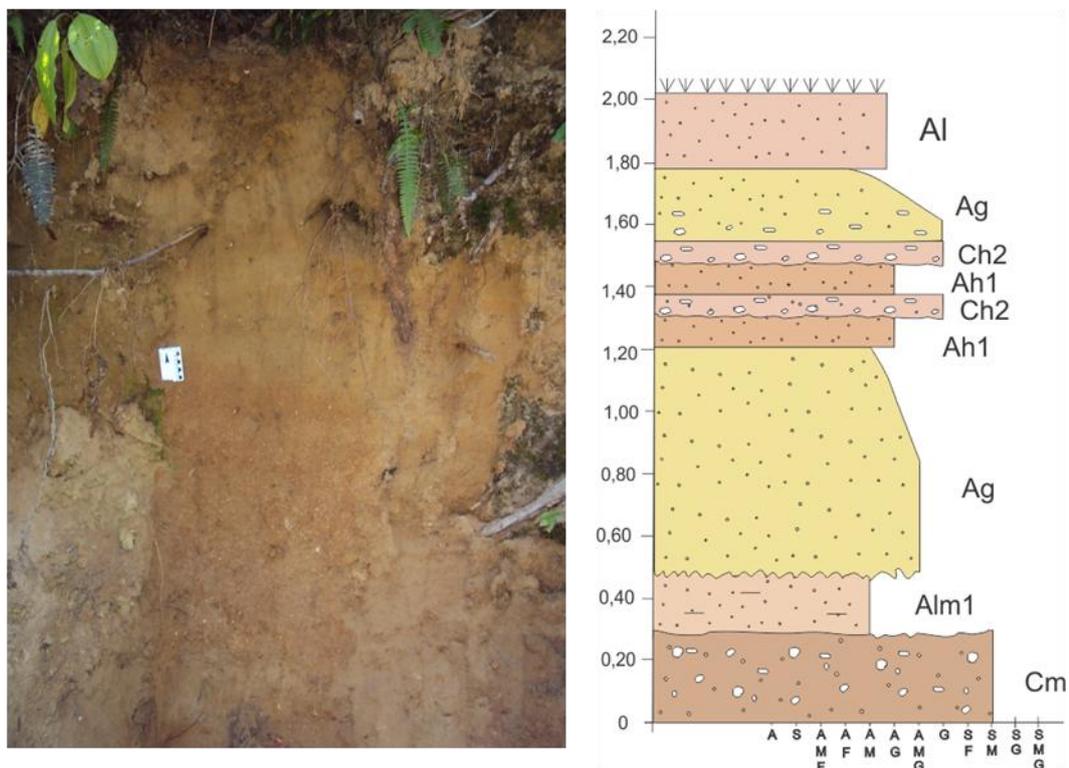


Figura 7.8: Perfil estratigráfico do nível de Terraço de Acumulação da AS-1 (FIGURA 6.5).

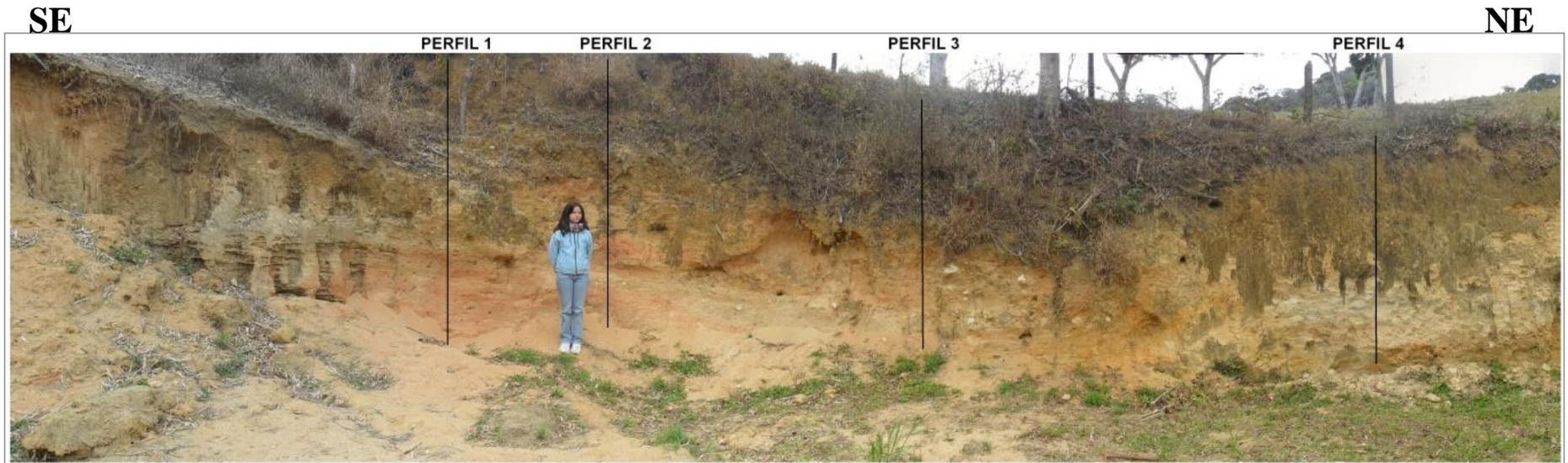


Figura 7.9: Afloramento na Área de Sedimentação 2 associado à feição Terraço Reafeiçoado (terraço superior), com a localização dos 4 perfis estratigráficos realizados, constituído por sucessão de camadas arenosas com grânulos e seixo (Aa1 e Ah1), camadas de cascalho fino a médio (Ch2, Cp e Cm) e camadas de areia lamosa na parte inferior direita (ALm2).

A associação de fácies 1 foi associada ao modelo de Miall (1996) de rio entrelaçado arenoso de alta energia (*high-energy, sandy-bed braided river*) (FIGURA 7.11). Segundo o mesmo autor, esse modelo se caracteriza pela abundância de depósitos com laminações planas (fácies Ah) e com cruzadas de baixo ângulo (fácies Al), interpretadas como o resultado da transição de fluxo inferior para superior. Sugere que a sedimentação é formada durante episódios de alta energia, em eventos rápidos e possivelmente em canais rasos.

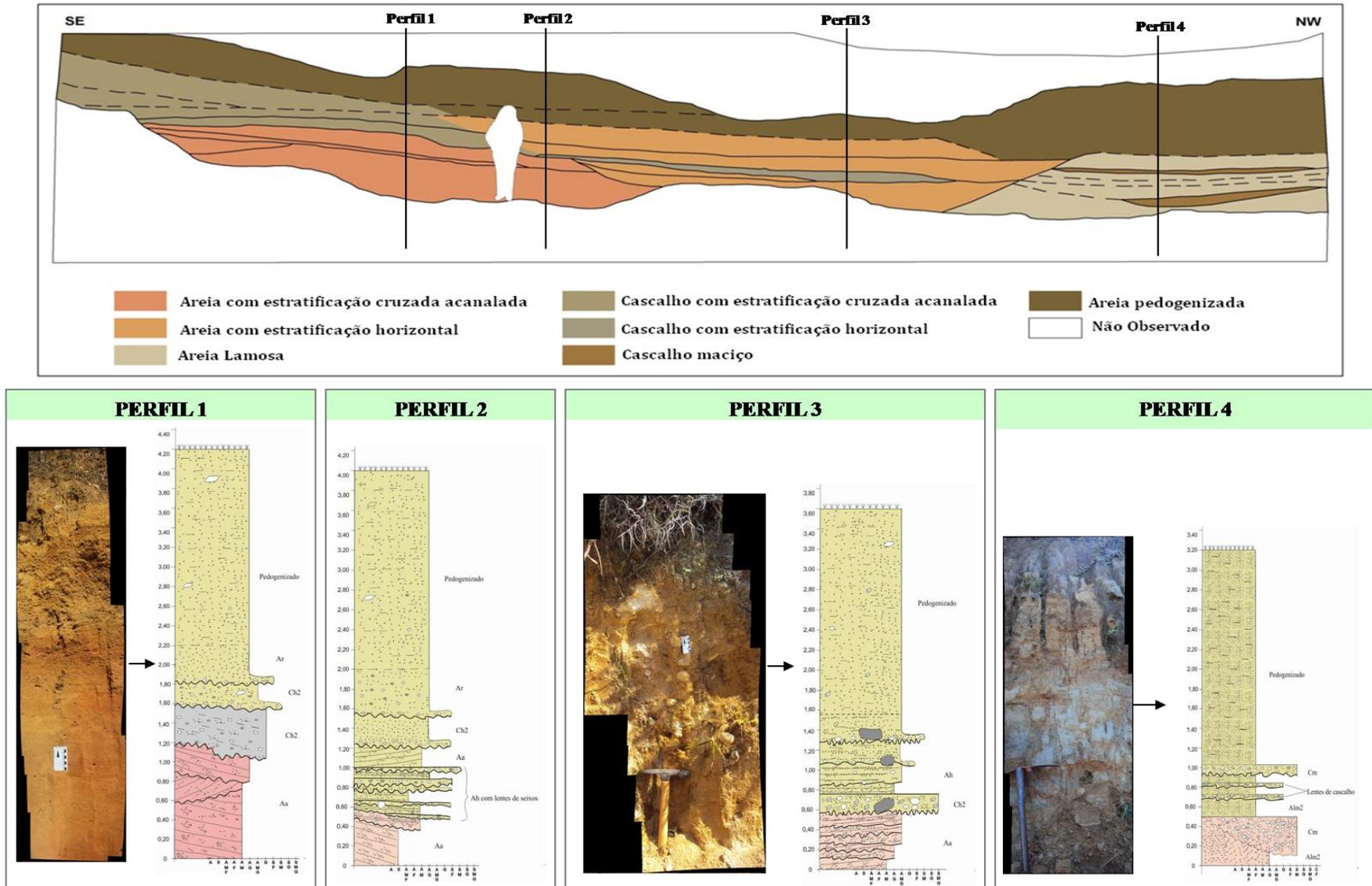


Figura 7.10: Seção e perfis estratigráficos do nível de Terraço Superior (T1) da área de sedimentação Fazenda Macaé de Cima.

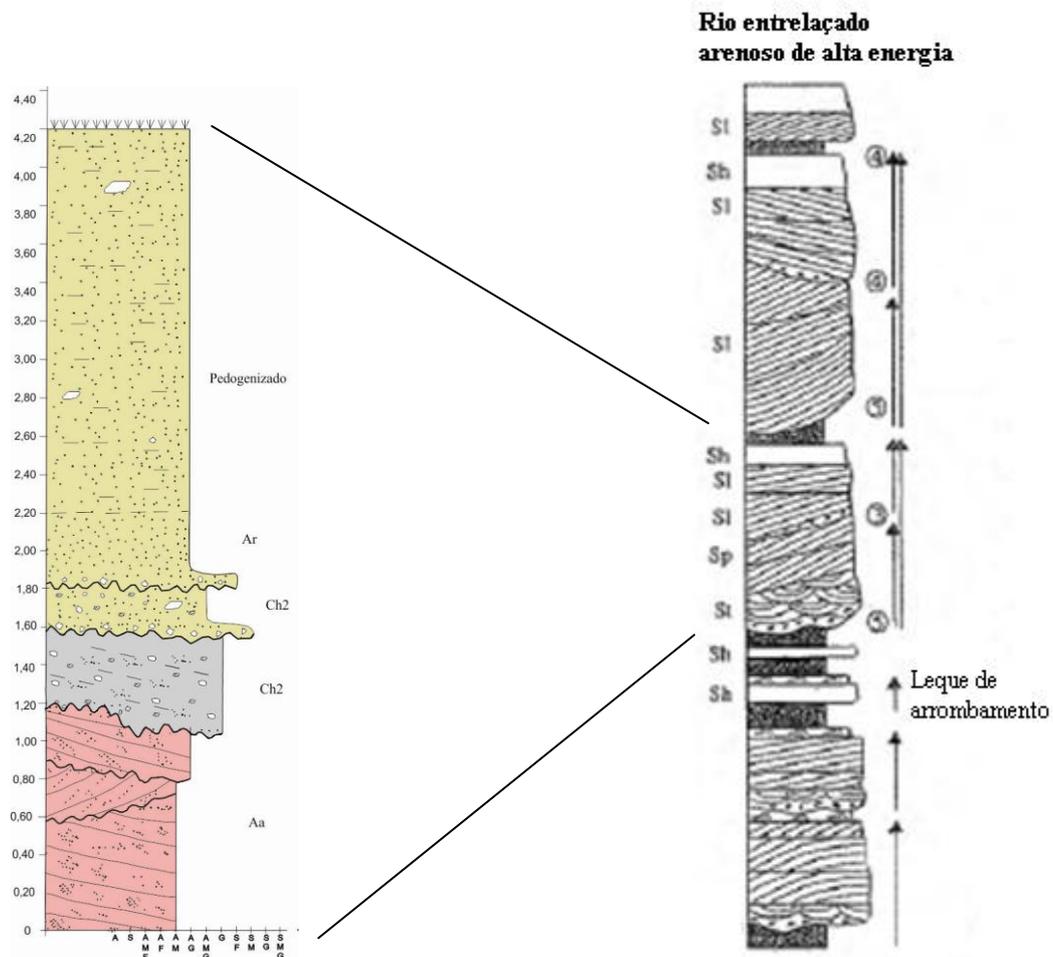


Figura 7.11: Comparação do perfil 1 da seção estratigráfica realizada na Área de Sedimentação 2 com o perfil vertical de associação de fácies de “rio entrelaçado arenoso de alta energia” proposto por Miall (1996).

Associação de fácies 2 (Ch1, Ch2, Aa1, Ah1, Am1)

Esta associação de fácies ocorre nos depósitos associados à feição morfoestratigráfica de Terraço de Acumulação na AS-4, representadas pelos perfis PE-9, PE-10 e PE-11 (Figura 12). Corresponde a depósitos sedimentares cascalhosos e arenosos com predominância das litofácies Ch (Ch1 e Ch2), Aa1 e Ah1, sendo escassa a litofÁCIE Am1.

Para os depósitos cascalhoso referentes a essa associação foram identificadas duas fácies com estruturas sedimentares similares: fácies Ch1 e Ch2. A fácies Ch1 foi identificada no PE-11, na base do perfil, com espessura em torno de 30cm, formada por seixos grossos a muito grossos de matriz, suportada pelos clastos, levemente imbricados, com estratificação horizontal, e contato gradacional com a camada sobrejacente (fácies Ah1). Está relacionado à migração de lençóis de cascalho (barras longitudinais ou como depósitos residuais (*lag*

deposits)) em episódios de alta intensidade do fluxo do canal. De acordo com Ramos (2003), são formadas durante o pico do fluxo hidrodinâmico, que durante os episódios de alta descarga de água e sedimentos, sofrem agradação e crescimento à jusante pela acresção de clastos, conferindo-lhe um padrão levemente imbricado. Já a fácies Ch2, ocorre na forma de lentes de cascalho, com espessura em torno de 5cm, formada por seixo fino a grosso, depositadas por variação rápida na descarga líquida e de sedimentos, depositadas por fluxos hidrodinâmicos trativos intensos e rápidos. Podem ser depositados, também, relacionadas a uma série de pulsos de maior energia.

Sobrejacente a estes depósitos, há ocorrência das litofácies Ah e Aa1. Estas ocorrem de forma intercalada, com pacotes sedimentares variando entre 40 e 60 cm. De acordo com Miall (1996), as fácies Aa1 e Ah estão associadas à fácies Ch, onde a fácies Aa1 é interpretada como sendo resultado de migração de dunas, preenchendo o que o autor denomina de *chute channels* (atalhos em canais), enquanto as fácies Ah resultam do recobrimento das barras sedimentares, como as barras de pontal, sobre a forma de superposição de lençóis de areia.

A fácies Am1 ocorre geralmente nos topos dos perfis estratigráficos, formado por areia média a grossa, sem estrutura sedimentar aparente. Por estes depósitos estarem bastante bioturbados, com presença de raízes e em estágio avançado de pedogenização, acredita-se que estes depósitos podem estar associados às fácies anteriormente descritas, contudo apresentando estrutura maciça devido ao efeito da obliteração da estrutura primária existente pelos motivos elencados acima.

A associação de fácies 2 se assemelha ao modelo de Miall (1996) de rio meandrante cascalhoso-arenoso (*Gravel-sand meandering river*), vide figura 7.13. O modelo, de acordo com o autor supracitado, é caracterizado por depósitos de areia, cascalho (seixo) e areia, ou areia com lentes de cascalho, formados por correntes trativas unidirecionais subaquosas. Os depósitos característicos desse tipo de modelo são mais bem desenvolvidos nas curvas meândricas do canal. Paleocanais e meandros abandonados são comuns sobre as planícies de inundações, preservando cunhas de material siltico-argiloso.. Feições como barras transversais, barras de pontal, barras de cascalho e dunas de crista sinuosa (*megaripples e ripples*), também são bastante comuns.

Neste tipo de modelo, a litofácies Ch é predominante, originada por superposição de lençóis de cascalho formando as barras de pontal. Contudo litofácies arenosas são, também, bastante expressivas. A litofácies Aa1, formada pela migração de dunas sobre as barras de cascalho, tendendo a ser sobrejacente à fácies Ch quando se observa a sucessão vertical das

fácies desse tipo de modelo. Também acima das barras de cascalho se formam camadas intercaladas de areia, silte e argila, com laminação cruzada ou paralela (fácies Aa2 e Ah), e de granulometria mais fina (argilosas). Desta forma, a sucessão vertical de fácies se configura, normalmente, com a intercalação de fácies Aa1 e Ah, ocorrendo sobrejacente à fácies Ch, como pode ser observado pela figura 12.

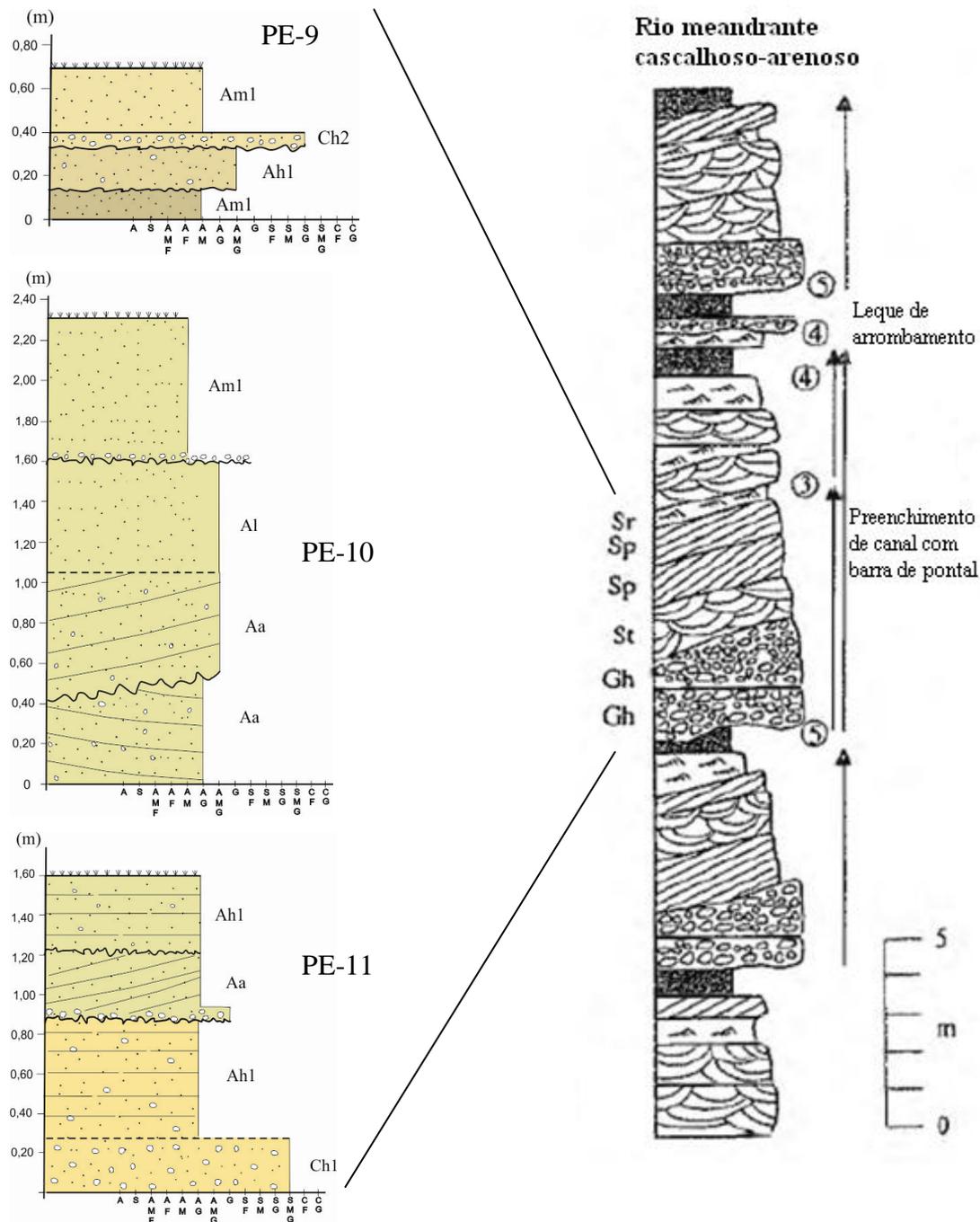


Figura 7.12: Comparação dos perfis estratigráficos PE-9 PE-10, PE-11, respectivamente, localizados na Área de Sedimentação 4 com o perfil vertical de associação de fácies de “rio meandrante cascalhoso-arenoso” proposto por Miall (1996).

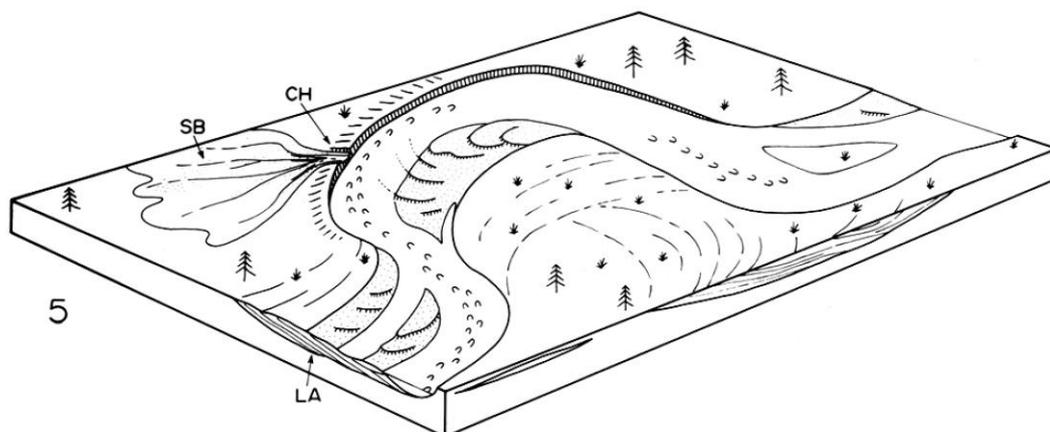


Figura 7.13: Modelo arquitetural de rio meandrante cascalhoso-arenoso (LA - Depósito de acresção lateral; CH - Canais; CH (FF) - Canais abandonados). (Fonte: Miall, 1996).

Associação de fácies 3 (Ah1, Ah2, Am1, Am2, ALm1, ALm2)

Essa associação faciológica corresponde aos depósitos sedimentares arenosos e arenosíltico-argilosos com predominância das litofácies Ah2, Am1, Am2 e ALm1 sendo escassas as litofácies Ah1, ALm2, Ch1 e Ch2. Constitui sucessão fluvial associada aos níveis de terraços fluviais mais jovens, com baixo desnivelamento altimétrico em relação ao nível atual da calha fluvial, ou seja, relacionados a uma sedimentação mais recente na bacia. São representados pelos perfis estratigráficos PE-4 e PE-7 associados à feição morfoestratigráfica de Terraço de Acumulação, e pelos perfis PE-5, PE-6 e PE-8 referentes à feição de Terraços Baixos e Planície de Inundação (Figura 7.14).

Caracteriza-se por uma sucessão de camadas arenosas, compostas predominantemente pela intercalação de camadas de areia micácea média a fina, maciça, de matriz lamosa (siltica-argilosa) (fácies ALm1 e ALm2), com camadas de areia micácea média a fina de estratificação horizontal (fácies Ah2).

De forma escassa, lentes de cascalhos apresentam associadas às fácies Ah1 e Ah2, com contato basal do tipo erosivo, formadas por grânulos a seixo médio, subarredondados a arredondados.

Esta associação de fácies se assemelha ao modelo de Miall (1996) de rio meandrante arenoso (*sandy-bed meandering river*), onde ocorre a predominância de depósitos arenosos finos, podendo haver cascalhos em forma de lentes ou residualmente entre as camadas arenosas. Esse modelo é similar ao modelo de rio meandrante cascalhoso-arenoso (*Gravel-*

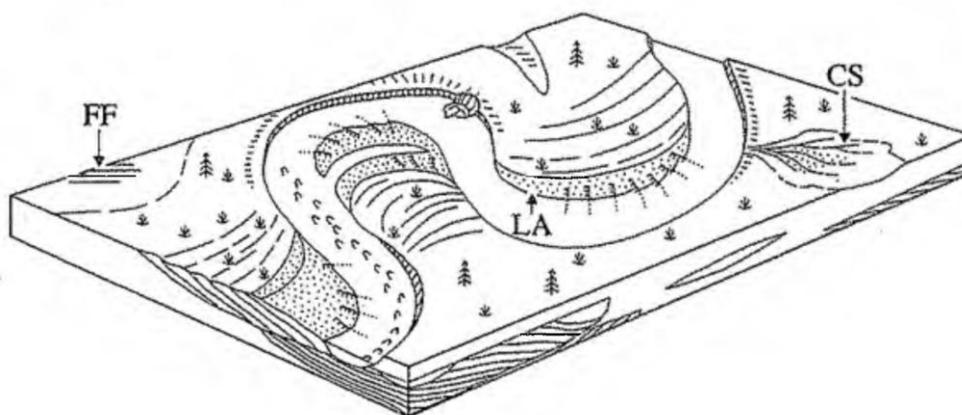


Figura 7.15: Modelo arquitetural de rio meandrante de leito arenoso (CS – Leque de arrombamento; LA – Acreção lateral; FF – Fios de Planície de inundação) (Miall, 1996).

8. CONCLUSÃO

Os resultados gerados nesta pesquisa visaram reunir informações que contribuíssem para a discussão acerca da dinâmica de evolução da bacia do rio Macaé (RJ). As informações de cunho geomorfológico e estratigráfico, a partir da perspectiva morfoestratigráfica, permitiram realizar o reconhecimento e a caracterização dos depósitos sedimentares de terraços fluviais e, mesmo que de forma bem preliminar, levantar hipóteses dos processos de formação e da influência dos controles estruturais na sedimentação da bacia.

O mapeamento realizado demonstrou que os depósitos de terraços fluviais encontram-se fragmentados espacialmente dentro da bacia, sendo identificados desde o alto curso do rio Macaé até seu baixo curso, embutidos, principalmente, nos compartimentos geomorfológicos de Serras Locais ou Morfologias de Transição.

Apesar de estarem distribuídos ao longo de todo o vale do rio Macaé os níveis de terraços fluviais identificados se apresentam de forma irregular, não sendo reconhecidos todos os níveis de terraços fluviais para as 4 áreas analisadas. Isso é resultado da dinâmica de evolução da paisagem durante o Quaternário, evidenciada por eventos de diferentes naturezas, que são absorvidas diferentemente pelo sistema fluvial a fim de se ajustarem às mudanças, em busca de um novo estado de equilíbrio (Leopold *et al.*, 1964; Christofolletti, 1980). Uma das evidências é representada pelos níveis de terraços fluviais, que variam ao longo do rio Macaé, refletindo que o sistema se comporta de forma diferenciada às mudanças externas, onde pressupõe que há forte influência do controle estrutural na sedimentação na bacia, observando vários níveis de base locais ao longo do perfil longitudinal do rio Macaé.

Contemplada pela explicação anterior, uma constatação interessante que se pode extrair do perfil longitudinal do rio Macaé é que as áreas de sedimentação analisadas na pesquisa encontram-se em trechos côncavos do perfil longitudinal, onde o gradiente do canal é mais baixo, limitadas a montante e a jusante por níveis de base locais, com exceção da AS-4 localizada no baixo curso do rio Macaé, que não apresenta nível de base local à jusante.

Também foram observados, através dos lineamentos estruturais nos mapas das áreas de sedimentação mapeadas, que todas as quatro áreas analisadas estão em locais sobre forte controle estrutural, orientadas segundo as principais falhas que cortam a região. As Áreas de Sedimentação 1 e 2 apresentam divisores rebaixados pela margem direita do rio Macaé, com desnivelamento altimétrico mais elevado na vertente norte, variando em torno de 600 m enquanto que na vertente sul varia em torno de 200 m. Essa configuração de divisores rebaixados, de acordo com Silva *et al.* (2006) está associada com a dinâmica de alteração da

paisagem, durante o Holoceno, que envolve fenômenos associados por eventos neotectônicos.

Levanta-se a hipótese de ter havido basculamento de blocos, deslocando o canal do rio Macaé para sul em direção a sua margem direita. A grande assimetria da bacia, com o canal principal correndo mais próximo da vertente sul, reforça essa hipótese.

Os dados obtidos da caracterização dos depósitos sedimentares associados às feições de terraços fluviais, para as 4 áreas de sedimentação analisadas, evidenciam uma sedimentação com características relativamente homogêneas. Destaca-se este fato pelas áreas estudadas estarem inseridas em contextos geomorfológicos distintos e relativamente distantes entre si, sendo a AS-1 e AS-2 no alto curso da bacia e a AS-3 e AS-4 no médio e baixo curso respectivamente.

As doze fácies sedimentares identificadas foram bem difíceis de serem distinguidas em campo por possuírem características texturais bem parecidas. A observância das estruturas sedimentares também se fez difícil, pelo fato de muitos depósitos se apresentarem já bastante pedogenizados, com intensa ação de organismos bioturbadores e ocorrência de muitas raízes, o que obliteraram a estrutura original do depósito.

A partir das fácies sedimentares e das sucessões de fácies propostas no capítulo anterior algumas hipóteses são levantadas. Foram propostos três modelos fluviais preliminares sobre a dinâmica de sedimentação. Cabe lembrar que são modelos preliminares com base nas ferramentas e técnicas que foram possíveis de serem utilizadas na pesquisa, com o intuito de iniciar um processo de discussão, podendo haver adaptações e até mesmo modificações nos modelos propostos a partir de estudos mais detalhados, podendo chegar desta forma a uma interpretação mais conclusiva sobre a sedimentação na bacia. Os três modelos fluviais propostos são: no alto curso do rio Macaé (nas áreas AS-1 e AS-2) os depósitos mais antigos, relacionados feição morfoestratigráfica de terraço reafeiçoado (Terraço Superior), foram depositados em ambiente de alta energia, caracterizados por rio entrelaçado de leito arenoso, onde a sedimentação ocorre em episódios de alta energia, rápidos e possivelmente em canais rasos. Já para o médio e baixo curso da bacia, foram propostos dois modelos de sedimentação de rio meandrante. Para o nível de terraço mais elevado da área AS-4 (terraço superior) foi proposto o modelo de sedimentação de rio meandrante de leito cascalhoso e arenoso, e para os níveis mais baixos e o nível atual de sedimentação das áreas AS-3 e AS-4, propôs-se o modelo de rio meandrante de leito arenoso.

A pesquisa colabora para a discussão sobre a dinâmica de evolução da bacia do rio Macaé, não cabendo aqui chegar a conclusões definitivas a respeito da sedimentação

quaternária fluvial na bacia e nem dos processos envolvidos na formação dos níveis de terraços fluviais.

Cabe ressaltar que as informações coligidas referem-se a uma primeira abordagem acerca da sedimentação quaternária fluvial na bacia do rio Macaé (RJ), na tentativa de trazer elementos que contribuam para a compreensão dos processos pretéritos responsáveis pela dinâmica de evolução da bacia. Acredita-se que, com isso, a presente pesquisa possa ter dado um passo inicial nesta discussão e que venha a contribuir, de forma mais ampla, com os estudos do Quaternário na região do Norte Fluminense (RJ).

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F. F. M. O cráton São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, Rio de Janeiro, v.7, n.4, p.349-364, 1977.
- Asmus, H. E.; Ferrari, A. L. Hipótese sobre a causa do tectonismo cenozóico na Região Sudeste do Brasil. In: PROJETO REMAC. **Aspectos Estruturais da Margem Continental Leste e Sudeste do Brasil**. Rio de Janeiro: PETROBRAS/CENPES/DINTEP, p.75-88. 1978. (Série Projeto REMAC, 4).
- Assumpção, A. P. **Retificação de canais fluviais no baixo curso da Bacia do rio Macaé – Uma Abordagem Geomorfológica**. 2009. 170f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- Bigarella, J. J.; Andrade, G. O. Contribution to the study of the Brazilian Quaternary. **Special Paper Geological Society of America**, v.84, p.433-451, 1965.
- Bigarella, J. J.; Mousinho, M. R. M. Considerações a respeito dos terraços fluviais, rampas de colúvio e várzeas. **Boletim Paranaense Geografia**, Curitiba, v.16, n.17, p.153-197, 1965.
- Bigarella, J.; Mousinho, M.; Xavier, J. Considerações a respeito da evolução das vertentes. **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, v.16, n.17, p.85-116, 1965.
- Blum, M. D.; Törnqvist, T. E. Fluvial responses to climate and sea-level change: a review and look forward. **Sedimentology**, v.47, p.2-48, fev. 2000.
- Borghi, L. F. Visão geral da análise de fácies sedimentares do ponto de vista da arquitetura deposicional. **Boletim do Museu Nacional Nova Série Geologia**, Rio de Janeiro, v.53, n.58, p.1-26, 2000.
- Brierley, G. J.; Fryirs, K. **Geomorphology and River Management: Application of the River Styles Framework**. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2005. 398p.
- Christofoletti, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. 188p.
- Christofoletti, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher, 1981. 313p.
- Cox, R. T. 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**, v.106, p.571-581, 1994.
- Dantas, M. E. Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro. 2. ed. Brasília: CPRM, 2000. CD-ROM.

- Fevrier, P. V. R. **Descrição estratigráfica das litofácies de terraço fluvial no alto curso da bacia do rio Macaé (RJ)**. Monografia (Especialização em Geologia do Quaternário) - Departamento de Geologia e Paleontologia, Museu Nacional/UFRJ, Rio de Janeiro, 2012.
- Fonseca, M. J. G. Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro. Escala 1:400.000. In: Silva, L.C. **Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília: CPRM, 2001. CD-ROM.
- Frye, J. C.; Willman, H. B. Morphostratigraphic units and Pleistocene stratigraphy. **Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.** v.46, n.1, p.112-113, 1962.
- Gontijo, A. H. F. **Morfotectônica do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul: Região da Serra da Bocaina**. 1999. 259f. Tese (Doutorado em Geologia) - UNESP, Rio Claro, 1999.
- Guerra, A. T.; Guerra, A. J. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008. 648p.
- Hedberg, H. D. **International Stratigraphic Guide**. Nova York: John Wiley & Sons, 1976. 200p.
- Hingel, R. L.; Marçal, M. S.; Silva, T. M. Sedimentação Quaternária na bacia do rio Macaé (RJ): espacialização e análise de terraços fluviais. In: XIII CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO e III ENCONTRO DO QUATERNÁRIO SULAMERICANO, 2011, La Plata. **Anais eletrônicos...** La Plata, 2011. Disponível em <www.abequa.org.br/trabalhos/ABEQUA_2011_Renato.pdf>. Acesso em 11/11/2011.
- Johnson, W. H. **Interrelationships among geomorphic interpretations of the stratigraphic record, processes, geomorphology and geomorphic models**. In: Thorn, C.E. ed. *Space and time in Geomorphology*. London, Allen & Unwin. 1982. p219-239.
- Leopold, L. B.; Wolman, M. G.; Miller, J. P. **Fluvial Processes in Geomorphology**. San Francisco: W. F. Freeman & Co., 1964. p.552
- Lima, R. N. S. **Conectividade dos ambientes fluviais: Implicações para avaliação da sensibilidade do sistema de drenagem da bacia do rio Macaé (RJ)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- Marçal, M. S.; Lima, R. N. S.; Villas Boas, G. H.; Hingel, R. L. Mapeamento das feições geomorfológicas no sistema encosta-planície da bacia do rio Macaé (RJ). In: XIII CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO

- QUATERNÁRIO, 2009, La Plata, **Anais eletônicos...** La Plata, 2009. Disponível em <www.abequa.org.br/trabalhos/gerais002.pdf>. Acesso em 11/11/2011.
- Meis, M. R. M. As unidades morfoestratigráficas neoquaternárias no médio vale do Rio Doce. **An. Acad. Bras. Ciência**, v.49, Mar., p.443-459, 1977.
- Meis, M. R. M.; Machado, J. R. S. A morfologia de rampas e terraços no planalto do sudeste do Brasil. **Finisterra-Revista Portuguesa de Geografia**, Lisboa, v.13, n.26, p.201-219, 1978.
- Meis, M. R. M.; Monteiro, J.R.S. Upper Quaternary “rampas”: Doce river valey, Southeastern Brazilian Plateau. **Zeitschrift für Geomorphologie**, Berlin-Stuttgart, v.23, n.2, p.132-151, 1979.
- Meis, M. R.; Moura, J. R. Upper Quaternary Sedimentation and Hillslope Evolution: Southeaster Brazilian Plateau. **American Journal of Science**, v.284, p.241-254, 1984. Disponível em <www.ajsonline.org>. Acesso em: 05 mar 2011.
- Meis, M. R.; Miranda, L. H. G.; Fernandes, N. F. Desnívelamento de altitude como parâmetro para a compartimentação do relevo: bacia do médio-baixo Paraíba do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1982, Salvador. **Anais...** Salvador: 1982, v.4, p.1489-1509.
- Mello, C. L. **Fácies sedimentares, arquitetura deposicional e relações morfoestratigráficas em um sistema de leques aluviais holocênicos: Aloformação Manso - médio vale do rio Paraíba do Sul (SP/RJ)**. 1992, 188f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Depto. de Geologia/IGEO, UFRJ, Rio de Janeiro, 1992.
- Mello, C. L. **Sedimentação e tectônica Cenozóicas no médio vale do rio Doce (MG, Sudeste do Brasil) e suas implicações na evolução de um sistema de lagos**. 1997, 275f. Tese (Doutorado em Geologia) - Depto. de Geologia/IG, USP, São Paulo, 1997.
- Mendes, J. C. Elementos de Estratigrafia. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1984. 566p.
- Miall, A. D. Architectural elements analysis: a new method on facies analysis applied to fluvial deposits. **Earth Science Reviews**, v.22, n.4, p.261-308, 1996. Disponível em <www.journals.elsevier.com/earth-science-reviews>. Acesso em: 05 mar 2011.
- Miall, A. D. **The Geology of Fluvial Deposits**. Berlin: Springer-Verlag, 1996. 582p.
- Moura, J.R. **Transformações ambientais durante o Quaternário tardio no médio vale do rio Paraíba do Sul (SP/RJ)**. 1990, 267f. Tese (Doutorado em Geologia) - Depto. de Geologia/IGEO, UFRJ, Rio de Janeiro, 1990.

- Moura, J. Geomorfologia do Quaternário. In A. J. Guerra; S. B. Cunha. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1990. 335-364p.
- Moura, J. R. S.; Mello, C. L. Classificação Aloestratigráfica do Quaternário Superior da região de Bananal (SP/RJ). **Revista Brasileira de Geociências**, v.21, n.3, p.136-154, 1991.
- Ramos, R. R. C. **Sistemas Aluviais Terciários da Bacia de Resende, Estado do Rio de Janeiro, Brasil: Análise de Fácies e Revisão Estratigráfica**. 2003, 221f. Tese (Doutorado em Geologia) - Departamento de Geologia/IGEO, UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.
- Reding, H. G.; Levell, B. K. Controls on the sedimentary rock record. In: Eading, H.G. **Sedimentary Environments: process, facies and stratigraphy**. Oxford: Blackwell Sci. Publ., 1996. 5-36p.
- Riccomini, C. **O Rift Continental do Sudeste do Brasil**. 1989, 256f. Tese (Doutorado em Geologia) - Depto Geologia/IG, USP, São Paulo, 1989.
- Ross, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Ed. Contexto, 1990. 84p.
- SAADI, A. Um rift neoceno-zóico na região de São João del Rei - MG, borda sul do cráton de São Francisco. In: WORKSHOP NEOTECTÔNICA. E SEDIMENTAÇÃO CONTINENTAL CENOZÓICA DO SUDESTE BRASILEIRO, 1990, Belo Horizonte, **Anais...** Belo Horizonte: 1990. Bol.11, p.81-99.
- Schumm, S.A. **The Fluvial System**. New York: John Wilwey & Sons, 1977. 338p.
- Schumm, S. **River Variability and Complexity**. New York: Cambridge University Press, 2005. 236p.
- Selley, R.C. **Ancient Sedimentary Environments**. 3. ed. London: Chapman and Hall Ltd, 1985. 273 p.
- Silva, A. G. S. **Análise Morfoestratigráfica dos depósitos quaternários da bacia do rio Macabu (RJ)**. 2006, Dissertação (Mestrado em Geologia) – Departamento de Geologia/IGEO, UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.
- Silva, L.C. **Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília: CPRM, 2001. CD-ROM.
- Silva, T. M. **A Estruturação Geomorfológica do Planalto Atlântico no Estado do Rio de Janeiro**. 2002, 265f. Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia/IGEO, UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.

- Silva, T. M. Anomalias de Drenagem e Evolução da Paisagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (RJ/SP). **Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ**, Rio de Janeiro, v.29, n.2, p.210-224 2006.
- Silva, T. M. Mapeamento geomorfológico: Escalas, aplicações e técnicas de compartimentação do relevo. **Revista Geo UERJ**, v.1, n.27, p.70-94, 2007.
- Souza, C. R. E.; Suguio, K.; Oliveira, A. M. S.; Oliveira, P. E. **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: HOLOS Editora, 2005. 378p.
- Suguio, K.; Bigarella, J. J. **Ambiente Fluvial**. Curitiba: Ed. da Universidade Federal do Paraná, 1979. 183p.
- Suguio, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: Editora Blücher, 2003. 400p.
- Summerfield, M. A. **Global Geomorphology: An introduction to the study of landforms**. New York: Longman Scientific & Technical, 1991. 537p.
- Udden, J. A. Mechanical Composition of Clastic Sediments. **Bulletin of the Geological Society of America**, v.25, p.655-744, 1914
- Walker, R. G.; Cant, D. J. Sandy Fluvial Systems. In: Walker, R. G. **Facies Models**. 2nd edition, Geological Association of Canada-Geoscience Canada, Ontario, p.71-90, 1984.
- Wentworth, C. K. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. **Journal of Geology**, v.30, n.5, p.377-392, 1922.