

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

Gisele Barbosa dos Santos

**Geomorfologia Fluvial no Alto Vale do Rio das Velhas,
Quadrilátero Ferrífero - MG: Paleoníveis Depositionais e a
Dinâmica Atual**

Minas Gerais - Brasil

Maior - 2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Gisele Barbosa dos Santos

**Geomorfologia Fluvial no Alto Vale do Rio das Velhas,
Quadrilátero Ferrífero - MG: Paleoníveis Depositionais e a
Dinâmica Atual**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Análise Ambiental.

Orientador: Antônio Pereira Magalhães Júnior

**Belo Horizonte
Departamento de Geografia da UFMG
2008**

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao meu orientador, Professor Antônio Pereira Magalhães Junior, pela confiança em mim depositada, para a realização deste trabalho e pela dedicação quanto aos esclarecimentos e conhecimentos transmitidos durante o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Professor e amigo, Edvard Elias de Souza Filho, pela orientação durante a graduação e por guiar meus primeiros passos na evolução de minha caminhada acadêmica. Aos amigos, professores e funcionários Grupo de Estudos Multidisciplinares do Meio Ambiente (GEMA) da Universidade Estadual de Maringá, que também fazem parte desta trajetória.

A minha “grande” família que tanto amo, pelo apoio incondicional em todos os momentos de minha vida, pela paciência e compreensão durante meus períodos de ausência, devido ao tempo dedicado aos estudos.

Aos técnicos Nívea e Ricardo do Laboratório de Geomorfologia do Instituto de Geociências da UFMG e Willian técnico do Laboratório de Geoquímica Ambiental do CPMTc (Centro de Pesquisa Prof. Manoel Teixeira da Costa) pela cooperação e paciência nas instruções para a realização dos ensaios laboratoriais e pela amizade.

A secretária Paula e a Professora Cristiane Valéria pela atenção e atendimento nos trabalhos burocráticos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais do Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, por permitir a minha participação nas disciplinas: Ambientes Fluviais e Processos Geológicos e Meio Ambiente. Em especial ao Professor Paulo de Tarso Amorim Castro pelo carinho e conhecimentos transmitidos durante as aulas e campos. E aos amigos que fiz durante este período na instituição: Sílvia Braga, Cláudio Lana e Fabiano.

Aos meus amigos que, mesmo distantes, contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho: Alan Charles Fontana, Silvana Martins, Vanessa Santos e Leandro Zandonadi.

Aos amigos que participaram diretamente do trabalho por meio do apoio e discussões durante a realização dos campos e pela amizade: Fabiano, Maria Luiza, Vladimir, Luis Felipe, Robson e Frederico.

Aos amigos e colegas pós-graduandos e mestres por compreender as angústias, por dividir conquistas e pelo apoio durante o período do mestrado: Vanessa Linke, Patrícia Lage, Jeanne, Elivelton, Bruno, Maíra, Flávia, Thiago, Luciana, Diego, Renata e Maria Angélica.

Ao casal Maurício Meurer e Débora Martins, o meu agradecimento especial, pela amizade, pela generosidade, pelos conhecimentos transmitidos que foram essenciais durante a realização deste trabalho. Enfim, agradeço por fazerem parte da minha vida.

Agradeço em especial ao amigo Vladimir Diniz Vieira Ramos, não apenas pelo apoio e eficiência na construção de todos os produtos cartográficos aqui apresentados, como também pelo apoio incondicional em todos os momentos de nossa amizade, por sempre me incentivar, e por ser essa pessoa tão especial na minha vida.

A Sidnei Victor pela atenção, paciência e pelo excelente trabalho de arte realizado nas ilustrações apresentadas neste trabalho.

A CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - pela concessão da bolsa, que permitiu a minha dedicação em tempo integral à pesquisa.

A FAPEMIG - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - pelo financiamento do projeto “Monitoramento, mapeamento e análise da dinâmica erosiva e deposicional do alto vale do Rio das Velhas/MG e os reflexos de usos e atividades humanas”, que possibilitou a realização desta pesquisa.

*"Cada pessoa que passa em nossa vida, passa
sozinha,
é porque cada pessoa é única e nenhuma
substitui a outra.
Cada pessoa que passa em nossa vida passa
sozinha, e não nos deixa só,
porque deixa um pouco de si e leva um
pouquinho de nós.
Essa é a mais bela responsabilidade da vida e a
prova
de que as pessoas não se encontram por acaso."*

Charles Chaplin

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
3. MORFOLOGIA E PROCESSOS FLUVIAIS	5
3.1. Morfologia de Canais Fluviais	8
3.1.2. Padrão Fluvial Meandrante	11
3.1.3. Padrão Fluvial Entrelaçado	12
3.1.4. Padrão Fluvial Anastomosado	12
3.1.5. Outros Padrões Fluviais	13
3.2. Dinâmica erosiva de margens	13
3.3. Dinâmica de transporte fluvial	16
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS	18
4.1. Localização	18
4.2. Geologia	21
4.3. Clima	27
4.4. Geomorfologia	28
4.5. Solos	34
4.6. Vegetação	35
4.7. Contexto histórico de ocupação	36
4.8. Uso do solo	38
5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	41
5.1. Levantamento dos níveis deposicionais	41
5.2. Caracterização da morfodinâmica Fluvial	42
5.2.1. Monitoramento da erosão marginal	42
5.2.2. Análise granulométrica: composição dos materiais das margens	45
5.3. Análise dos materiais de transporte fluvial	47
5.4. Elaboração da proposta de compartimentação geomorfológica do vale do alto Rio das Velhas	50
6. RESULTADOS	53
6.1. Descrição e distribuição dos níveis deposicionais fluviais	52
6.1.2. Análise da distribuição dos níveis deposicionais	73

6.2. Dinâmica das margens e da calha fluvial	79
6.3. Compartimentação do vale do alto Rio das Velhas: morfologia e Dinâmica	105
6.3.1. Elaboração dos parâmetros norteadores da compartimentação	105
6.3.2. Correlação dos parâmetros e identificação de associações	112
6.3.3. Compartimentação dos trechos fluviais de acordo com a morfologia e a dinâmica	115
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	120
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
9. ANEXOS	128

LISTA DE FIGURAS

Fig.1	Modelos de terraço, A - Terraço embutido; B – Terraço encaixado	7
Fig.2	Classificação de Litofácies de Miall (1985)	10
Fig.3	Mecanismos de recuo de margens	14
Fig.4	Principais métodos para estudos de erosão de margens	15
Fig.5	Divisão da Bacia do Rio das Velhas – MG	19
Fig.6	Área de estudo: Bacia do alto Rio das Velhas- MG	20
Fig.7	Coluna Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero	23
Fig.8	Geologia da bacia do alto Rio das Velhas	26
Fig.9	Hipsometria da bacia do alto Rio das Velhas	29
Fig.10	Declividade da bacia do alto Rio das Velhas	30
Fig.11	Anticlinal Rio das Velhas	31
Fig.12	Superfícies de Aplainamento do Quadrilátero Ferrífero	33
Fig.13	Nascentes do Rio das Velhas – Cachoeira das Andorinhas	36
Fig.14	Distribuição das classes de uso do solo na bacia do alto Rio das Velhas	38
Fig.15	Uso do Solo da Bacia do Rio das Velhas	40
Fig.16	Modelo Pino (a) e Estaca (b)	42
Fig.17	Localização dos Pontos de Monitoramento na Bacia do Alto Rio das Velhas	43
Fig.18	Informações dos Pontos de Monitoramento	44
Fig.19	Descrição dos Pontos /monitorados	45
Fig.20	Amostrador de sedimentos – Carga de fundo	47
Fig.21	Sistema de filtragem	48
Fig.22	Fluxograma dos elementos investigativos do vale fluvial	51
Fig.23	Disposição esquemática dos níveis deposicionais o longo do vale	56
Fig.24	Área alagada da Represa Rio de Pedras	57
Fig.25	Trecho encaixado do Rio das Velhas	57
Fig.26	Mapeamento dos níveis deposicionais aluviais - Mapa 1	58
Fig.27	Perfil estratigráfico do Terraço Superior – Próximo a Rio Acima	59
Fig.28	Mapeamento dos níveis deposicionais aluviais - Mapa 2	60
Fig.29	Quadro Descritivo dos Níveis Depositionais - Perfil 2	61
Fig.30	Mapeamento dos níveis deposicionais aluviais - Mapa 3	62

Fig.31	Mapeamento dos níveis deposicionais aluviais - Mapa 4	63
Fig.32	Mapeamento dos níveis deposicionais aluviais - Mapa 5	64
Fig.33	Quadro Descritivo dos Níveis Deposicionais - Perfil 3	65
Fig.34	Mapeamento dos níveis deposicionais aluviais - Mapa 6	66
Fig.35	Quadro Descritivo dos Níveis Deposicionais - Perfil 4	67
Fig.36	Quadro Descritivo dos Níveis Deposicionais - Perfil 5	68
Fig.37	Mapeamento dos níveis deposicionais aluviais - Mapa 7	69
Fig.38	Quadro Descritivo dos Níveis Deposicionais - Perfil 6	70
Fig.39	Quadro Descritivo dos Níveis Deposicionais - Perfil 7	71
Fig.40	Quadro Descritivo dos Níveis Deposicionais - Perfil 8	72
Fig.41	Distribuição Longitudinal dos Níveis Deposicionais Aluviais	76
Fig.42	Características dos Níveis de Terraços	77
Fig.43	Interpretação de Litofácies dos Níveis Deposicionais	78
Fig.44	Erosão Média Mensal dos Pontos Monitorados	79
Fig.45	Quadro Síntese dos dados hidrossedimentológicos dos pontos monitorados	80
Fig.46	Erosão Mensal Ponto RA01	81
Fig.47	Legenda	81
Fig.48	Sucessão fotográfica do Ponto RA01.....	82
Fig.49	Perfilagens sucessivas do Ponto IT02	85
Fig.50	Sucessão fotográfica do Ponto1- IT02	86
Fig.51	Sucessão fotográfica do Ponto2- IT02	87
Fig.52	Sucessão fotográfica do Ponto3- IT02	88
Fig.53	Sucessão fotográfica do Ponto4- IT02	89
Fig.54	Erosão Mensal Ponto GL03	91
Fig.55	Sucessão fotográfica do Ponto GL03	92
Fig.56	Erosão Mensal Ponto SB04	94
Fig.57	Barra de cana - Ponto SB04	94
Fig.58	Sucessão fotográfica do Ponto 1 - SB04	95
Fig.59	Sucessão fotográfica do Ponto 2 - SB04	96
Fig.60	Sucessão fotográfica do Ponto 1- SB05	98
Fig.61	Sucessão fotográfica do Ponto 2- SB05	99
Fig.62	Erosão mensal do Ponto SB06	100
Fig.63	Sucessão Fotográfica do Ponto SB06	101

Fig.64	Erosão mensal do Ponto SB07	102
Fig.65	Sucessão Fotográfica do Ponto1 - SB07	103
Fig.66	Sucessão Fotográfica do Ponto 2 - SB07	104
Fig.67	Classificação dos níveis deposicionais e suas respectivas litofácies	107
Fig.68	Classificação das planícies	108
Fig.69	Morfologia das margens	108
Fig.70	Classificação das margens	109
Fig.71	Formas de leito	110
Fig.72	Classificação dos leitos	110
Fig.73	Classificação para carga em suspensão	111
Fig.74	Classificação para o fluxo	111
Fig.75	Classificação dos ambientes fluviais do alto Rio das Velhas	114
Fig.76	Caracterização dos trechos compartimentados do alto vale do Rio das Velhas.....	116
Fig.77	Compartimentação dos trechos do vale do alto Rio das Velhas: morfologia e dinâmica	119

RESUMO

A bacia do alto Rio das Velhas está situada no centro do Estado de Minas Gerais, compreendendo o domínio geológico do Quadrilátero Ferrífero, e suas características morfológicas e hidrológicas refletem o forte condicionamento geológico e tectônico regional. Dentro deste contexto, visou-se a caracterização dos níveis e seqüências deposicionais aluviais com o auxílio de técnicas de estratigrafia, a fim de reconstituir a dinâmica fluvial pretérita deste trecho. Além disso, foi realizado o monitoramento da dinâmica de ambientes fluviais marginais e de canal, paralelo ao estudo de variáveis hidrossedimentológicas durante o período de um ano. Tais procedimentos resultaram em uma compartimentação e espacialização dos ambientes fluviais, ou seja, uma síntese da geomorfologia fluvial da área em estudo. Foram identificados quatro níveis deposicionais aluviais na área, sendo um Nível de Várzea e três níveis de terraços (Terraço Superior, Terraço Intermediário e Terraço Inferior). Os níveis de Terraços Superior e Intermediário apresentam-se escalonados e o nível de Terraço Inferior apresentou variação tipológica (escalonado, recoberto pela várzea e com várzea embutida) em relação ao Nível de Várzea. O escalonamento dos níveis de terraços demonstra a permanente ocorrência de um soerguimento crustal de alcance regional (soerguimento do Escudo Brasileiro), enquanto que a variação no Terraço Inferior associado a anomalias no perfil longitudinal do depósito é resultante da diferença das taxas de encaixamento do canal, devido ao comportamento diferencial de blocos ao longo do vale. Não foram encontradas evidências claras para a interpretação dos paleoambientes deposicionais dos níveis identificados. Apesar disso, alguns elementos permitiram inferir que a origem dos depósitos se associa a condições úmidas, com padrão fluvial meandrante e, em certos trechos, tendendo ao entrelaçamento. O monitoramento da dinâmica das margens e da calha fluvial revelou grande variação da erosão causada tanto por ações antropogênicas, quanto por variações litológicas. As margens distinguem-se principalmente em função de sua morfologia e da intensidade dos processos de recuo, tendo como principal condicionante a erosão fluvial na base das mesmas, principalmente durante o período de cheias. O vale foi compartimentado em quatro trechos de acordo com sua morfologia e dinâmica predominante, sendo o primeiro caracterizado por uma seqüência de poços e corredeiras. Seguido por um trecho tendendo ao entrelaçamento, devido à presença de barras arenosas, à variação na capacidade de transporte de carga suspensa e à elevada carga arenosa de fundo. À jusante segue um trecho marcado por vale extremamente encaixado e leito correndo sobre o substrato rochoso, denotando forte controle estrutural e, por fim, trecho com dinâmica meandrante típica. O vale do alto Rio das Velhas revelou-se como um complexo mosaico de ambientes erosivos e deposicionais, condicionados pela tectônica regional e pelos processos hidrossedimentológicos intrínsecos à bacia.

Palavras-chave: Geomorfologia Fluvial; Níveis Deposicionais, Dinâmica Atual; Quadrilátero Ferrífero; Rio das Velhas.

ABSTRACT

The basin of the high Rio das Velhas is located in the center of the state of Minas Gerais, comprising the geological domain of the Quadrilátero Ferrífero, and its morphological and hydrological characteristics reflects the strong geological and tectonic adaptation of the region. In this context, the characterization of the alluvial levels and depositional sequences, with the support of stratigraphic techniques, in order to rebuild the ancient fluvial dynamics of this sector. A tracking of the marginal fluvial environmental dynamics and of the channel was made in parallel with the study of the hydrosedimentological variables during a one year period. Those procedures resulted in a compartmentalisation and a spacialization of the fluvial environment, or, a synthesis of the fluvial geomorphology in research. It was identified four alluvial depositional levels in the area as being one level of plains and three levels of terraces (Superior Terrace, Middle Terrace and Lower Terrace). The levels of Superior Terrace and Middle Terrace presented in a staggered form and the Lower Terrace presented typological variation (staggered, re-coverment to the plains and plains embedded) compared to the plains level. The staggering of the Terraces' levels points the permanent occurrence of a crustal raise with regional reach (raise of the Brazilian Shield), while the variation in the Lower Terrace, associated with the irregularities in the longitudinal perfil of the deposit results from the difference of the fitting rates of the channel, due to the differential in the behavior of the blocks along the valley. It was not found any clear evidence for the interpretation of the depositional paleo-environments of the identified levels. Nevertheless, some elements permitted to infer that the origin of the deposits is associated to humid conditions, with a meandering fluvial pattern and, in certain sections, tending to the braided pattern. The tracking of the margins' dynamics and of the fluvial pipeline revealed a great variation of the erosion caused or by anthropogenic actions, or by lithological variations. The margins are distinguished specially by its morphology and by the intensity of the retreat process, having as principal condition the fluvial erosion at its base, mostly during the period of floods. The valley was compartmentalised in four sections according to its morphology and predominant dynamics, where the first was characterized by a sequence of pools and riffle. Followed by a section tending to the interlacement due to the presence of sand bars, the variation in the transport of suspended loads and the elevated sand loads of the bottom. The downstream follows a section marked by a valley extremely embedded and bed running over a bedrock substrate, denoting strong structural control and finally, section with typical sinuous dynamics. The high Rio das Velhas valley revealed as a complex mosaic of erosive and depositional environments, adapted by the regional tectonic and by the hydrosedimentological procedures related to the basin.

Words-key: Fluvial Geomorphology; Depositional Levels, Current Dynamics; Quadrilátero Ferrífero; Rio das Velhas.

1. INTRODUÇÃO

Os canais fluviais são, freqüentemente, objetos de estudo em pesquisas geográficas sob diferentes perspectivas ou enfoques. Tal fato se explica pela diversidade de usos proporcionados por eles, pois os cursos d'água podem ser considerados responsáveis pela esculturação da paisagem, podendo refletir o clima e a geologia local, servindo, portanto, como parâmetros para o diagnóstico do meio físico. Os canais fluviais podem ser aproveitados como hidrovias, fontes de água para abastecimento público, geração de energia hidroelétrica, mananciais para captação de água para irrigação e vários outros usos. Os ambientes fluviais também apresentam destacada importância para as atividades humanas, como o aproveitamento das áreas férteis e cultiváveis das planícies de inundação. Portanto, os estudos dos cursos e ambientes fluviais, bem como das unidades espaciais hidrológicas, como as bacias hidrográficas, apresentam importância transversal na geografia, particularmente para o planejamento do uso e ocupação do solo.

Os rios geralmente são considerados como sistemas abertos em constante troca de energia e matéria com o ambiente. O caráter e o comportamento dos sistemas fluviais em locais específicos refletem a integração de fatores como clima, vegetação, topografia, geologia, uso do solo e níveis de base locais, que juntos, determinam o regime hidrológico e hidrossedimentológico. Esta integração tende a gerar ajustamentos na geometria interna do sistema na busca constante por equilíbrio (KNIGHTON, 1984).

Church (1992) salienta que vários fatores conduzem os processos físicos em canais fluviais e, conseqüentemente, em sua morfologia. Este autor destaca como fatores principais: o volume e o tempo de escoamento do fluxo; as características do sedimento transportado; e a história geológica da paisagem fluvial. E como fatores secundários: o clima local; o tipo de vegetação ripária; e o uso do solo da bacia de drenagem. Também considera um fator adicional, não menos importante: a modificação direta da morfologia do canal por causas antrópicas, que podem impactar e gerar desequilíbrios ao sistema natural.

Petts & Foster (1985) enfatizam que a sistematização temporal da relação entre formas e processos fluviais e investigações paleogeomorfológicas podem contribuir para prognosticar impactos das atividades humanas e do uso de recursos naturais na dinâmica fluvial. Cursos d'água de ambientes antropizados podem refletir eficientemente as pressões humanas em termos de alterações na capacidade ou competência de transporte, dentre outras variáveis hidrológicas. Neste sentido, os

registros sedimentares aluviais são os mais adequados indicadores da evolução geomorfológica fluvial e das características dos eventos deposicionais. As interpretações estratigráficas tornam-se procedimentos metodológicos importantes para este trabalho de paleoreconstrução.

Em Minas Gerais, a bacia do Rio das Velhas destaca-se como uma das mais importantes e de ocupação mais antiga do Estado. A ocupação do alto Rio das Velhas, iniciada em meados do século XVII, foi marcada por pressões de seus recursos naturais por meio principalmente da exploração mineral durante o Ciclo do Ouro, contribuindo para modificações dos sistemas naturais e, possivelmente, para mudanças na dinâmica fluvial. A análise de registros paleossedimentares e de variáveis da dinâmica fluvial atual pode apresentar elementos que permitam a interpretação e a reconstrução da evolução geomorfológica fluvial da área.

A bacia do alto Rio das Velhas está situada no centro do Estado de Minas Gerais, compreendendo o domínio geológico do Quadrilátero Ferrífero, borda sul do Cráton do São Francisco. Possui relevo marcado por forte condicionamento geológico e erosão diferencial ao longo de litologias de resistências distintas. O modelado geral do Quadrilátero Ferrífero caracteriza-se por três contextos: terras altas constituídas por quartzitos e itabiritos; terras de altitude mediana modeladas em xistos e filitos; e terras baixas no complexo granito-gnáissico.

É importante salientar que grande parte dos trabalhos relacionados à dinâmica fluvial no Brasil é realizada em rios que fluem em planícies costeiras e deságuam no Atlântico, em detrimento de estudos de rios interiores como o Rio das Velhas. São menos comuns, ainda, os estudos de cursos d'água em áreas montanhosas, marcados por dinâmica fluvial descontínua afetada por variações nas características geológicas e geomorfológicas (CASTRO *et al.*, 2005). Este é o caso da maior parte do alto curso do Rio das Velhas na área do Quadrilátero Ferrífero, cujas características morfológicas e hidrológicas refletem o forte condicionamento geológico e morfológico.

Considerando a particularidade deste quadro fluvial montanhoso e do histórico de pressões humanas, o estudo e a reconstituição da geomorfologia fluvial do alto Rio das Velhas apresentam-se relevante. Dentre os poucos trabalhos de geomorfologia fluvial na bacia do alto Rio das Velhas, pode ser citado o realizado por Lana (2004), que propõe uma metodologia cartográfica para mapeamento de feições geomorfológicas fluviais dos ambientes de leito em escala de detalhe. Este estudo revelou a predominância de feições típicas de ambientes deposicionais. Dentre os dez segmentos

mapeados, apenas dois apresentaram dinâmica erosiva e um apresentou-se bastante alterado pela ação antrópica e com dinâmica mal definida. Como o próprio autor constatou, a metodologia aplicada encontrou dificuldade na cartografia de ambientes muito dinâmicos.

No contexto deste estudo, a identificação de zonas de retenção de sedimentos foi realizada por Lana & Castro (2006) por meio de análises cartográficas que indicaram um significativo número de níveis de base local relacionados à complexa geologia do Quadrilátero Ferrífero, que condiciona a existência de um grande número de patamares estruturais e litológicos.

Magalhães Jr. (1993) realizou um estudo de identificação, mapeamento e interpretação de níveis e seqüências deposicionais aluviais no trecho de transição entre o alto e o médio vale do Rio das Velhas, visando à reconstituição da geomorfologia fluvial regional. Com base em interpretações estratigráficas, foram identificados e analisados três níveis de terraços fluviais com características distintas que refletem, dentre outros, o importante papel da Serra do Curral (borda norte do Quadrilátero) no controle dos eventos deposicionais cenozóicos e a marcante influência do condicionamento estrutural e tectônico na evolução da geomorfologia fluvial regional.

Nesse contexto, esta dissertação tem como objetivo caracterizar, analisar e compartimentar o vale do alto do Rio das Velhas, considerando os sistemas geomorfológicos deposicionais e erosivos marginais e de canal como elementos investigativos. Deste modo, o trabalho visa também à caracterização dos níveis e seqüências deposicionais aluviais com o auxílio de técnicas de estratigrafia, buscando-se levantar elementos para a comparação entre a dinâmica fluvial passada e a atual. Este objetivo pode, portanto, fornecer registros para a análise na evolução temporal e espacial da dinâmica fluvial do alto Rio das Velhas.

O resultado da compartimentação da geomorfologia fluvial do vale, baseado na morfologia e dinâmica, pode permitir a complementação dos trabalhos já realizados na área, no intuito de somar esforços na busca de maior sistematização de pesquisas voltadas para rios interiores, destacando aqui não apenas a importância geomorfológica e ambiental do Rio das Velhas, mas também a singularidade do Quadrilátero Ferrífero em termos geológicos, geomorfológicos, econômicos e sociais.

Os procedimentos da pesquisa são inspirados na proposta de classificação em códigos para representação de fácies¹ e elementos arquiteturais (diferentes associações de fácies) de Miall (1985; 1996). O trabalho também envolve o monitoramento da dinâmica de ambientes fluviais marginais e de canal e o estudo de variáveis hidrossedimentológicas como carga suspensa, carga de fundo e velocidade de fluxo. Estes elementos contribuem para o estudo dos processos erosivos e deposicionais atuais no trecho estudado.

Ao final deste trabalho, é apresentada uma síntese da geomorfologia fluvial do trecho estudado, baseando-se na caracterização, mapeamento e classificação dos ambientes fluviais do vale do alto Rio das Velhas, o qual poderá servir como um guia comparativo de auxílio à identificação e interpretação de ambientes fluviais em outros trechos da bacia.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral desta dissertação é investigar a geomorfologia fluvial do alto vale do Rio das Velhas a partir dos procedimentos de caracterização, levantamento, mapeamento de níveis deposicionais e da análise da dinâmica erosiva e deposicional atual, que resultem em uma compartimentação do referido trecho. Para tanto, pretende-se atingir os seguintes objetivos específicos:

- Levantar e mapear os níveis deposicionais aluviais relacionados à dinâmica fluvial pretérita do vale do Rio das Velhas no trecho estudado, por meio da análise das seqüências estratigráficas aluviais;
- Monitorar e analisar os processos de erosão e sedimentação nas margens e no leito do Rio das Velhas, identificando os principais processos morfodinâmicos atuais;
- Caracterizar a carga sedimentar no trecho estudado, tanto de leito como em suspensão, levantando correlações com os processos morfodinâmicos locais;
- Propor um guia visual para o auxílio à identificação, compreensão e compartimentação das feições e processos geomorfológicos fluviais na área;

¹ Fácies, de acordo com Selley (1976), pode ser entendida como um pacote de sedimentos que se distingue dos demais por sua geometria, composição, estruturas sedimentares, padrão de paleocorrentes e conteúdo fossilífero.

3. MORFOLOGIA E PROCESSOS FLUVIAIS

Os estudos relacionados à rede de drenagem apresentaram diferentes abordagens ao longo do tempo, principalmente por geomorfólogos e geólogos. Diferentes classificações foram apresentadas, como a classificação da evolução cíclica do relevo; baseada no controle estrutural (conseqüente, subseqüente, obseqüente, antecedente, superimposto); a classificação morfológica (entrelaçado, meandrante, anastomosado, retilíneo); a classificação baseada no número de afluentes do canal fluvial; e a classificação processo-resposta, baseada na relação da morfologia do canal, da descarga e dos tipos de sedimentos.

Por sua vez, a estratigrafia tem seu enfoque voltado para a análise de seqüências deposicionais, de feições e da arquitetura formada a partir de um determinado ambiente. De acordo com Gama Jr. (1989) a estratigrafia passou por uma evolução e obteve um considerável desenvolvimento no que diz respeito à análise de fácies em sedimentologia, como método de interpretação de bacias, na documentação de variações do nível do mar, nos métodos cronoestratigráficos, bem como no avanço na análise de variações tectônicas e climáticas.

Magalhães Jr. (1993) salienta que, dentro dos estudos dos depósitos superficiais, merecem destaque, no cenário nacional e internacional, aqueles relacionados aos terraços fluviais e sua interpretação, cujas formações possuem registros eficientes do passado morfodinâmico. Esses depósitos podem geralmente servir como indícios da gênese de formas e na sistematização de processos.

Um estudo realizado por Gama Jr. (1989) revelou que, no Brasil, existem concepções estratigráficas distintas, com métodos, técnicas e objetivos específicos: a estratigrafia tradicional, a *layer cake stratigraphy* e a estratigrafia genética. A primeira é baseada no princípio de superposição de camadas, segundo o qual cada camada é mais jovem que a subjacente e mais antiga que a sobrejacente e, além disso, é definida por critérios operacionais e não genéticos. A *layer cake stratigraphy* parte da premissa que a deposição é balizada por processos de acreção tabular sucessiva (agradação vertical), e apresenta as mesmas dimensões e geometria. E por fim, a estratigrafia genética assegura que um ambiente pode ser dominado por diferentes processos sedimentares, resultando em diferente fácies em um mesmo ambiente. Da mesma forma, processos semelhantes resultam em fácies sedimentares, similar em ambientes distintos.

O objetivo da estratigrafia genética é a reconstituição paleogeográfica, ou seja, traduzir a sedimentação e a evolução de uma paisagem durante um ciclo ou episódio deposicional, com o objetivo de mapear províncias fisiográficas do passado geológico em coordenadas geográficas atuais.

Este trabalho, portanto, parte dos pressupostos da estratigrafia genética, por meio da reconstrução de ambientes, e na tentativa de relacionar os indícios dos processos deposicionais com possíveis mudanças na morfodinâmica do canal. A análise de fácies e da arquitetura de sedimentos deposicionais, formados em um determinado ambiente, permite, por meio da interpretação estratigráfica, aferir ou predizer o comportamento, os processos vigentes e a morfologia do canal.

De maneira geral, existem vários modelos de deposição associados ao sistema fluvial, como: deposição de leques aluviais; planícies de inundação (de rios meandantes, entrelaçados, anastomosados, retilíneos); deltas; barras de canal (de pontal, longitudinal, transversal, central, lateral). Cada modelo de deposição é composto de uma combinação diferente de processos, morfologia e, conseqüentemente, em sua estratigrafia. Nota-se uma diversidade de estilo de canais e tipos de depósitos, fato devido à grande variedade de fatores controladores e independentes que regem a sedimentação fluvial. Cada combinação resulta em uma fácies que, por sua vez, se distingue por sua geometria, orientação das partículas, estrutura sedimentar e evidência fóssil (PETTS & FOSTER, 1985).

Autin (1992) sugere que a interpretação estratigráfica, baseada em fácies, deve ser feita em escala regional e sub-regional, com análise tridimensional e que os depósitos sejam geneticamente homogêneos, ou seja, com processos fluviais de deposição semelhantes. É o que este autor denomina *aloformação*, que são fácies diferenciadas com auxílio da topografia, perfis transversais, construções das feições geomorfológicas, relações entre a pedogênese e a posição nas vertentes. Uma superfície geomorfológica define o limite superior de cada *aloformação* e uma descontinuidade erosiva marca a base da seqüência sedimentar associada.

Em muitas áreas, os terraços fluviais são importantes componentes da paisagem e elementos-chave para a compreensão do cenário geomorfológico local. Os terraços são registros de antigos processos deposicionais e são considerados, geralmente, como representantes de dois períodos distintos de tempo: um período estável, e outro de mudanças no sistema fluvial (PETTS & FOSTER, 1985).

Suguio & Bigarella (1980) destacam dois modelos de terraços: no primeiro, chamado de terraço embutido, não ocorre entalhamento no embasamento rochoso do fundo do vale e, tanto a planície de inundação, quanto o terraço, localizam-se sobre a mesma calha rochosa. No outro tipo de terraço, denominado terraço encaixado, a planície de inundação e os diferentes níveis do terraço encontram-se sobre o embasamento rochoso, como mostra a Figura 1.

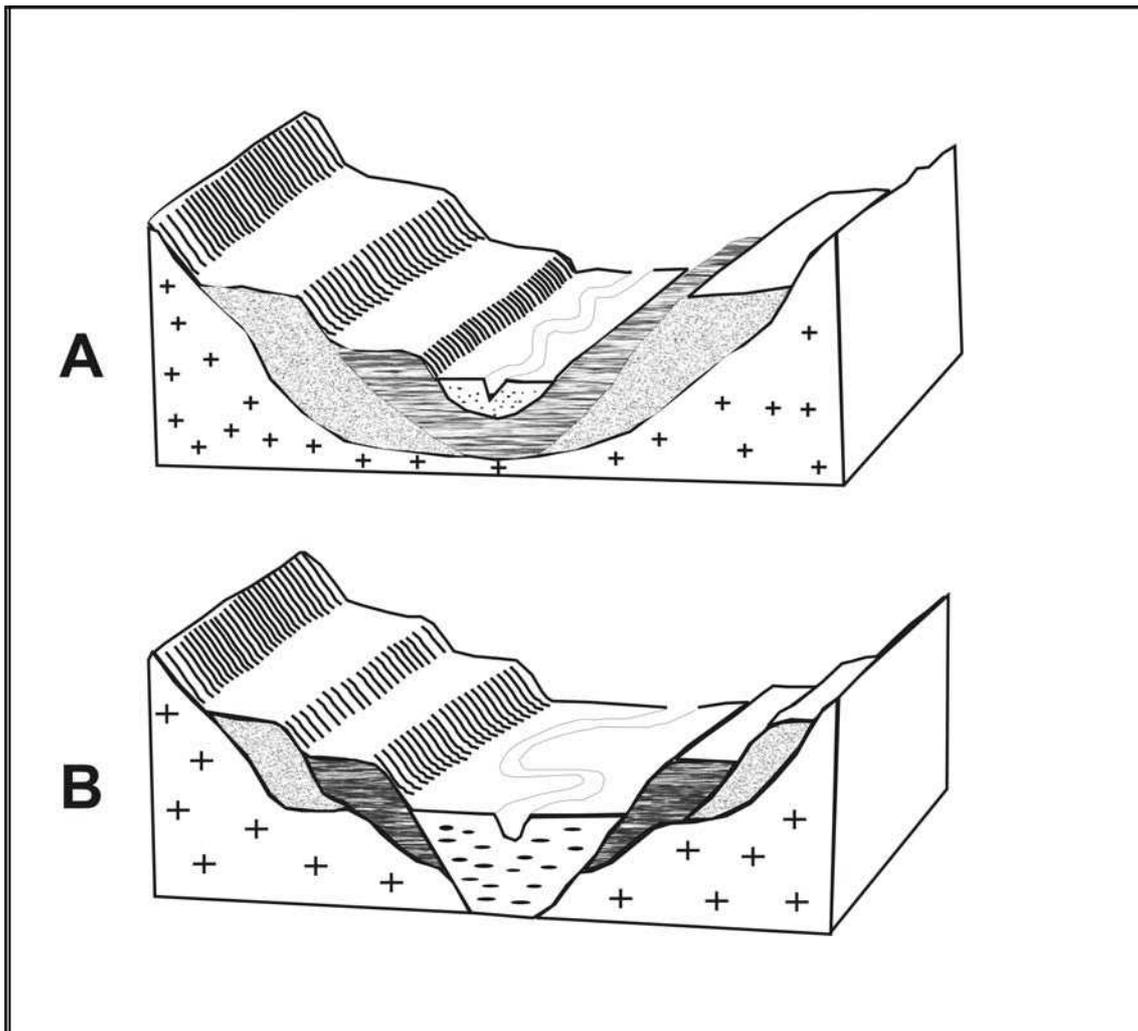


Figura 1: Modelos de terraço, A - Terraço embutido; B - Terraço encaixado
Fonte: Christofolletti, 1974

Em relação à identificação e análise de terraços fluviais, Magalhães Jr. (1993) pondera que:

“Um nível deposicional ou uma seqüência sedimentar completa dificilmente são encontrados, já que os processos erosivos tornam a ocorrência dos depósitos descontínua e

fragmentada no espaço e as fácies só são eficientes marcos de interpretação quando analisadas em conjunto e em um contexto amplo de comparações entre seqüências faciologicas. Jamais podemos perder a noção de que depósitos observáveis na paisagem representam apenas pequenas frações temporais da história deposicional.” (MAGALHÃES JR., 1993, p. 16).

Portanto, deve-se considerar as relações laterais e verticais das unidades, e sua geometria em ambientes lateralmente adjacentes.

A interpretação de terraços fluviais, por vezes, é capaz de fornecer dados dos quais se pode inferir conclusões relativas a condições hidrodinâmicas de um canal fluvial. Diante disso serão destacadas, a seguir, as bases teóricas do sistema de fácies, as estruturas sedimentares e os processos relacionados à morfodinâmica fluvial e suas respectivas formas de deposição.

3. 1. Morfologia de Canais Fluviais

A configuração de um canal fluvial apresenta-se em três dimensões: por seu perfil transversal, por seu perfil longitudinal e pelo seu padrão. Essas dimensões devem ser consideradas dentro do contexto de sua bacia de drenagem, devido à existência de um ajustamento mútuo entre as mesmas, que mantêm a continuidade de transferência de fluxo e sedimentos.

A principal discussão em torno da morfologia fluvial relaciona-se à interação entre processos erosivos e deposicionais. As variações sazonais de descarga e carga de sedimentos podem ser consideradas como indicadores de ajustamento do padrão determinado pelo clima, pela geologia e pela morfologia da bacia, além de seu uso antrópico. A literatura destaca quatro tipos de padrões de drenagem: meandrante, anastomosado, entrelaçado e retilíneo. Alguns autores, no entanto, consideram também um padrão intermediário entre rios entrelaçados e meandrantas (*wandering*). Para classificação de padrões de drenagem, utilizam-se critérios diferenciados como estabilidade, número de canais, relação entre declividade e quantidade de sedimentos transportados.

De acordo com Petts & Foster (1985), existem divergências entre as classificações dos padrões de canais. Alguns autores, por exemplo, consideram rio anastomosado como sinônimo de entrelaçado, mas a maioria os distingue pela quantidade de sedimentos transportados e consideram o padrão anastomosado como um

ou mais canais com ilhas largas e estáveis. Considera-se, assim, o rio entrelaçado como aquele com um ou mais canais com barras e ilhas pequenas.

É importante ressaltar que os tipos de padrões de drenagem não são contínuos e, sim, são partes de um curso fluvial, determinadas por condições de energia, relacionadas a circunstâncias locais.

Além disso, os padrões podem apresentar variações. Um rio anastomosado pode apresentar, por exemplo, alta sinuosidade ou proximidade ao padrão retilíneo. Quanto ao processo de acreção lateral, que é característica marcante de rio meandrante sinuoso, pode também ocorrer em rios entrelaçados.

Miall (1985) apresentou a proposta da análise dos elementos da arquitetura vertical dos depósitos fluviais relacionados à morfologia dos canais, que estabelece códigos² para designar as principais litofácies verificadas em depósitos antigos ou atuais, como mostra a Figura 2.

Miall (1996) lembra que a variedade de estilos da estratigrafia fluvial reflete a agradacão e migraçãõ nos padrões de canal dos diferentes tipos de rio. Portanto, cada padrão de drenagem possui uma hidrodinâmica que reflete em um arranjo de feições específicas de deposiçãõ. Essas feições devem ser consideradas na interpretaçãõ estratigráfica, por meio da análise das estruturas sedimentares associadas e da investigaçãõ da relaçãõ vertical e lateral, capazes de formar generalizações na forma de modelo de fácies.

² Contudo, esta nomenclatura surgiu de estudos de fácies associadas a rios de planície costeira e de latitudes temperadas. Dessa forma, torna-se necessário proceder a algumas adaptações para a descriçãõ das litofácies definidas para os depósitos de terraço do Rio das Velhas.

Código	Fácies	Interpretação
Gmm	Cascalho maciço suportado pela matriz; levemente gradacional	Fluxo viscoso de detritos
Gmg	Cascalho maciço suportado pela matriz; gradação inversa normal	Fluxo viscoso de detritos
Gci	Cascalho suportado pelos clastos; gradação inversa	Fluxo de detritos rico em clastos
Gcm	Cascalho suportado pelos clastos e maciço	Fluxo turbulento
Gh	Cascalho suportado pelos clastos e toscamente estratificado; estratos horizontais, imbricamento dos seixos	Formas de leito longitudinais; depósitos residuais
Gt	Cascalho estratificado; estratificação cruzada acanalada	Preenchimentos de canais secundários
Gp	Cascalho estratificado; estratificação cruzada tabular	Formas de leito transversais
St	Areia fina a muito grossa, podendo ser cascalhenta; estratificação cruzada acanalada	Dunas 3D
Sp	Areia fina a muito grossa, podendo ser cascalhenta; estratificação cruzada tabular	Dunas 2D
Sr	Areia muito fina a grossa; laminação cruzada por <i>ripples</i>	<i>ripples</i>
Sh	Areia fina a muito grossa, podendo ser cascalhenta; laminação planar	Fluxo planar crítico
Sl	Areia fina a muito grossa, podendo ser cascalhenta; laminação de baixo ângulo (<15°)	Preenchimento de escavações (<i>scours</i>) e antidunas
Ss	Areia fina a muito grossa, podendo ser cascalhenta; escavações (<i>scours</i>) largas e rasas	Preenchimento de escavações
Sm	Areia fina a grossa; maciça ou levemente laminada	Depósitos de gravidade
Fl	Areia, silte, argila; laminação fina, <i>ripples</i> muito pequenas	Depósitos de transbordo, canais abandonados ou de fluxo decrescente (<i>waning flood</i>)
Fsm	Silte, argila, maciço	Depósitos de canais abandonados ou brejos
Fm	Argila, silte, maciço, gretas de dessecação	Canais abandonados ou depósitos de cobertura
Fr	Argila, silte; maciço, raízes, bioturbações	solos
C	Carvão; argilas orgânicas; plantas; filmes de argilas	Depósitos de brejos
P	Calcretes; feições pedogenéticas; nódulos	Solos com precipitação química

Figura 2: Classificação de Litofácies de Miall (1985)
 Fonte: Ferreira, JR. & Castro, (2001)

3.1.2. Padrão Fluvial Meandrante

Petts & Foster (1985) definem o rio meandrante clássico como aquele que possui uma seqüência de curvas sinuosas que são produzidas pela acresção lateral de barras de pontal (*point bar*). Essa acresção lateral relaciona-se com a energia de circulação de fluxo, que é geralmente favorecida por declividades relativamente baixas, por grande quantidade de carga suspensa e de fundo.

A circulação helicoidal tende a ser, na maioria das vezes, o fator dominante nos processos que ocorrem no meandro. De forma resumida, o fluxo em meandros pode ser caracterizado como: velocidades máximas – registradas próximas às margens côncavas (erosivas); e velocidades mínimas – encontradas próximas às margens convexas, com conseqüente acúmulo de sedimentos (*point bar*). Vale ressaltar que o material erodido da margem côncava tende a ser depositado na barra de pontal do próximo meandro à jusante, e do mesmo lado da margem erodida.

Além da barra de pontal (característica deposicional mais marcante), o sistema meandrante também possui planície de inundação, lagoas de cheia, meandros abandonados, rompimentos de diques (*crevasse splay*), rompimentos de canal (*crevasse channel*) e ombreiras. Conclui-se, então, que a principal característica de rios meandrantés não é seu alto índice de sinuosidade e, sim, sua dinâmica deposicional.

Miall (1996) descreve os principais aspectos deposicionais de um rio meandrante clássico e os caracteriza como sendo um rio com alta sinuosidade, e com leito arenoso.

Os depósitos por acresção lateral das barras de pontal caracterizam-se por apresentarem litofácies maciças (areia fina a areia grossa) com presenças de alguns seixos, estruturas planares, ripples e dunas.

Os meandros abandonados e as lagoas de cheia caracterizam-se por apresentarem estrutura maciça (pode apresentar rachaduras) com areia fina, argila e matéria orgânica, com estruturas sedimentares representadas por pequenas *ripples*.

Os depósitos ligados a rompimentos de canal (*crevasse channel*) e de rompimento de dique (*crevasse splay*) possuem, em sua arquitetura, litofácies de matriz maciça, seixos suportados. A estrutura sedimentar é caracterizada por areia muito fina até areia grossa, presença de seixos, estratificação cruzada e ripples. Os depósitos de rompimento de dique, além destas estruturas, apresentam silte e argila e ripples muito pequenas.

3.1.3. Padrão Fluvial Entrelaçado

A maioria dos canais entrelaçados caracteriza-se pela grande carga de sedimentos, pela rapidez com que seus canais se alteram de posição e por sua alta variação na descarga (PETTS & FOSTER, 1985).

Miall (1996) salienta que rios alpinos e de áreas árticas são bons exemplos desse tipo de sistema, pois apresentam elevada variação sazonal de descarga e tendem ao entrelaçamento, assim como rios efêmeros de regiões áridas. A competência desses rios tem variação similar à descarga, ou seja, quando não são mais capazes de mover sua carga ocorre a formação de barras e o surgimento de novos canais.

Em escala de bacia de contribuição, a cobertura vegetal exerce importante efeito sobre o escoamento superficial, já que são geralmente capazes de aumentar a infiltração e manter a estabilização de detritos. Além disso, podem ajudar na estabilidade das margens, o que faz diminuir o *input* de materiais no canal fluvial. Quando há retirada da cobertura vegetal, esta pode contribuir para um grande aporte de sedimentos para os canais fluviais, portanto a retirada da vegetação pode contribuir para o entrelaçamento de um canal. Os depósitos de rios entrelaçados são tipicamente caracterizados por pouca organização interna, grande variação no tamanho dos sedimentos, tanto nos depósitos de leito, quanto de barras de canal, devido à grande variação de descarga.

3.1.4. Padrão Fluvial Anastomosado

Sistemas de rios anastomosados são assim denominados por apresentarem agradação rápida, baixa energia, complexos de áreas alagadas e por sua formação exigir uma combinação geomorfológica, tectônica e climática bastante incomum (PETTS & FOSTER, 1985).

Estão associados a áreas de subsidência ou de elevação de níveis de base e normalmente estão relacionados a ambientes úmidos. São caracterizados por estabilidade lateral, devido ao seu baixo gradiente e por suas margens apresentarem material coeso. Porém podem apresentar avulsões, que são mudanças laterais bruscas de canal, sendo que os antigos canais são rapidamente preenchidos.

A avulsão começa freqüentemente com um rompimento de dique marginal (*crevasse splay*) e novos canais vão cortando as áreas alagadas. Posteriormente à avulsão, o antigo canal principal reduz sua largura, formando meandros abandonados. Estas extensas áreas alagadas apresentam lagos, pântanos e turfas, que formam um contínuo de ambientes de acumulação.

A estratigrafia desses ambientes é caracterizada, então, por sedimentos de ombreira de dique (*leveé*), que constituem depósitos de silte, areia fina com ocasionais lentes argilosas ricas em matéria orgânica, cortados por depósitos de rompimento de dique com estrutura plana, tabular e marcas de ondas relacionadas a formas de leito durante o preenchimento do canal, por acreção lateral e vertical.

3.1.5. Outros padrões fluviais

Além destes padrões já citados, um canal pode apresentar processos e formas que represente uma condição de transição entre padrões. O padrão retilíneo, geralmente, ocorre em pequenas distâncias num canal e seu padrão deposicional se assemelha ao de canais meandantes, consistindo em mudança lateral de canal, acúmulo de sedimentos em barras de canal e erosão em margens com profundidades maiores, e se caracterizam por possuírem sinuosidade insignificante.

Miall (1996) descreve uma mudança de padrão em direção à jusante dentro do canal, que de único passa para entrelaçado e depois para meandrante de acordo com a diminuição da declividade e tamanho dos sedimentos transportados. É o que estes autores denominam de “*wandering*”, e pode ser considerado simplesmente representante de uma condição de transição. As características da arquitetura deposicional de um canal nestas condições é similar à de rios entrelaçados e meandantes, mas o estilo dominante de deposição são os depósitos de acreção lateral.

3.2. Dinâmica erosiva de margens

Os mecanismos que envolvem a erosão marginal são muito complexos e pouco entendidos, e estão relacionados ao tamanho, geometria e estrutura das margens, além do tipo de material e de sua composição. Dois processos merecem destaque no que se refere à retirada de material marginal: a ação fluvial - corrente e ondas; e as forças de origem externa - precipitação e ação antrópica (PETTS & FOSTER, 1985).

Fernandez (1990), ao estudar a erosão das margens do rio Paraná enumerou alguns processos que atuam no recuo das margens, como a **corrasão**, o **desmoronamento**³ e o **escorregamento rotacional**. A corrasão consiste num processo lento de erosão dos materiais das margens grão a grão. Tal processo é facilitado pela intensa ação do fluxo d'água nas proximidades das margens. O desmoronamento se

³ O termo desmoronamento, neste caso, é utilizado para designar a queda livre de blocos de terra por efeito da gravidade a partir das faces verticais das margens fluviais.

caracteriza pela queda rápida de blocos, por efeito da gravidade, e pode ser dividido em três tipos (Figura 3):

- Cisalhamento: resulta do excesso de peso do material, que teve sua base solapada (geralmente material arenoso de baixa coesão);
- Basculamento: queda de bloco sem prévio solapamento acompanhado pela formação de fendas de tensão na superfície do barranco (geralmente ligadas à contração de material argiloso);
- Escorregamento rotacional: movimento rápido, de duração relativamente curta, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do barranco, ao longo de uma superfície de escorregamento. É mais comum em margens com alta porcentagem de silte e argila.

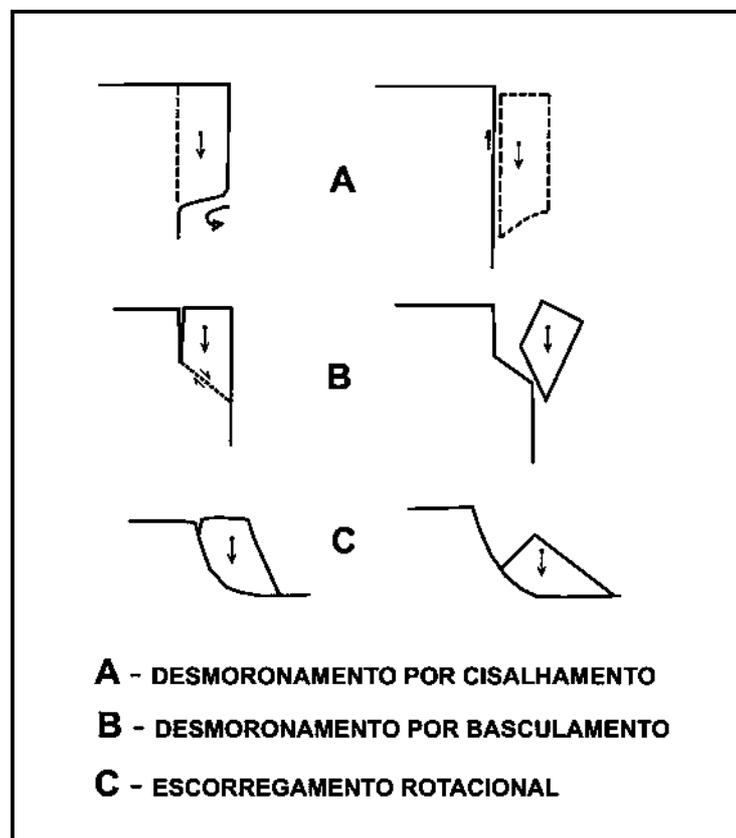


Figura 3: *Mecanismos de recuo de margens*
Fonte: Fernandez, 1990

Fernandez (1990) destaca ainda os principais métodos utilizados para o estudo da erosão marginal: a) medições diretas em campo pelo método dos pinos, por perfilagens sucessivas, pelo método da estaca ou por levantamento fotográfico; b) medição indireta por comparação entre fotografias, fotografias aéreas ou imagens de satélite com datas

distintas. Atualmente merece destaque a utilização de imagens de satélite com alta resolução temporal e espacial. A Figura 4 sintetiza as principais características dos métodos citados.

Método	Medição Direta	Medição Indireta
Pinos	Inserção horizontal de pinos na face dos barrancos, cujo recuo é medido pelo grau de exposição dos pinos. As características dos pinos como comprimento, diâmetro, tipo de material, distribuição espacial são decorrentes do tipo e magnitude dos processos erosivos atuantes na margem.	
Estacas	Inserção vertical de estacas de madeira na superfície do barranco. Distância medida por trena. Mais utilizado para registrar o recuo da borda da margem, pode ser empregado para auxiliar o método dos pinos. Não fornece informações sobre a evolução da face do barranco.	
Perfilagens Sucessivas	Levantamento de perfis das margens monitoradas; ilustra a evolução progressiva da face do barranco. Pode ser eficiente no caso de deposição de materiais nas margens.	
Fotográficos	Consiste no monitoramento da evolução do recuo das margens por meio de tomadas fotográficas sucessivas em tempos distintos.	
Fotografias Aéreas		Quantificação da área do canal e posterior sobreposição de fotografias aéreas com datas distintas. Permite a quantificação da migração lateral do canal em escala temporal maior.
Imagens de Satélites		Considera o comportamento espectral da água, é feito o delineamento do canal fluvial, e posteriormente se realiza o cálculo de variação de área, possibilitando uma comparação em diferentes períodos.

Figura 4: Principais métodos para estudos de erosão de margens
 Fonte: Modificado de Fernandez, 1990

3.3. Dinâmica de transporte fluvial

A quantidade e o tempo relativo do transporte de sedimentos em um rio reflete a combinação de processos atuantes nas vertentes da bacia de drenagem e nos processos intra-calha. O aporte e o controle da disponibilidade de sedimentos na carga de um rio podem ser avaliados pelo fornecimento de materiais da bacia de drenagem, por ação da chuva (*rainsplash*), pelo escoamento superficial, por afluentes, por ravinamentos, e por uma variedade de movimentos de massa. Os processos intra-calha controlam o equilíbrio entre deposição e transporte, podendo ser provido de sedimentos adicionais por erosão no próprio canal (PETTS & FOSTER, 1985).

Os sedimentos dos rios podem ser transportados em solução, em suspensão (uniforme ou gradual) ou como carga de fundo. A carga de fundo ou carga de arraste é geralmente composta pelas partículas mais pesadas, que se deslocam junto ao fundo, por rolamento, deslizamento ou saltação. A carga em suspensão é composta pelas partículas mais leves, que são transportadas suspensas na coluna d'água. Uma parte do material é suspenso de forma gradual, ou seja, os materiais de granulometria mais grossa permanecem próximos ao fundo, enquanto que os materiais mais finos são transportados em menor profundidade. Isto cria um gradiente granulométrico dos sedimentos em suspensão na coluna d'água (é a chamada suspensão gradual). Os materiais mais finos (silte fino e argila) são permanentemente transportados em suspensão, sem que haja um gradiente granulométrico (é a chamada suspensão uniforme). Alguns materiais são transportados na forma de íons dissolvidos em água, formando a chamada carga dissolvida.

Tanto a carga de fundo, quanto a suspensa elevam-se quando há um aumento na descarga, mas estas relações são bastante complexas e nem sempre diretamente proporcionais. Muitos são os fatores podem influenciar na disponibilidade de material para transporte, na distribuição granulométrica dos sedimentos, e no fornecimento de materiais detríticos.

Os leitos fluviais apresentam formas topográficas diferenciadas, geralmente dependentes ao tamanho de grão e à velocidade de fluxo. De acordo com Knighton (1984), o movimento dos grãos é similar, mas o leito assume formas distintas de acordo com o aumento da velocidade de fluxo.

De acordo com o mesmo autor, no que diz respeito às formas topográficas de fundo ou rugosidade de leitos fluviais⁴, podem ser identificados os seguintes tipos: *leito plano*, de ocorrência rara na natureza, limitada às condições de quase ausência de movimentação de sedimentos; *leito ondulado* ou com marcas ondulares (*ripple marks*); *dunas*: formas assimétricas similares ao leito ondulado; *antidunas*: formas assimétricas associadas a canais com altas declividades e carga sedimentar.

⁴ Estes tipos de formas são raramente encontradas em fluxos de leitos com carga grosseira, devido à maior restrição da mobilidade do leito.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

4.1. Localização

A bacia do Rio das Velhas localiza-se na porção central do Estado de Minas Gerais, com uma área de 27.867,2 km², sendo a extensão de seu curso principal de 761 km, em direção aproximada SE-NW. Fazem parte dessa bacia 51 municípios que compreendem cerca de 4,3 milhões de habitantes. O Rio das Velhas nasce no município de Ouro Preto e percorre o trecho central do Estado de Minas Gerais até desaguar no rio São Francisco, em Barra do Guaicuí, distrito de Várzea da Palma. Esta bacia possui uma divisão política administrativa, de acordo com seus cursos alto, médio e baixo, como pode ser observado na Figura 5 (COBRAPE, 2001).

O Alto Rio das Velhas compreende toda a região denominada Quadrilátero Ferrífero, tendo o Município de Ouro Preto como o limite sul dessa região e os Municípios de Belo Horizonte, Contagem e Sabará como limite ao norte. Uma porção do Município de Caeté faz parte do alto Rio das Velhas, tendo a Serra dos Cristais como limite leste. No entanto, neste trabalho todos os pontos de monitoramento foram instalados no vale do Rio das Velhas dentro da unidade do Quadrilátero Ferrífero, que circunscreve uma área mais elevada do que os terrenos em volta.

As principais vias de acesso à área de estudo são: Br – 040, que liga Belo Horizonte ao Rio de Janeiro; BR – 356 (Rodovia dos Imigrantes), que liga Ouro Preto a Itabirito; e a estrada de terra MG – 030, que liga as cidades de Itabirito, Rio Acima e Nova Lima. De acordo com Lana (2004), a última faz parte do conjunto de vias da Estrada Real, importante no contexto histórico da região por ter sido utilizada pelos bandeirantes que desbravaram o alto Rio das Velhas. A Figura 6 mostra a localização da área de estudo.

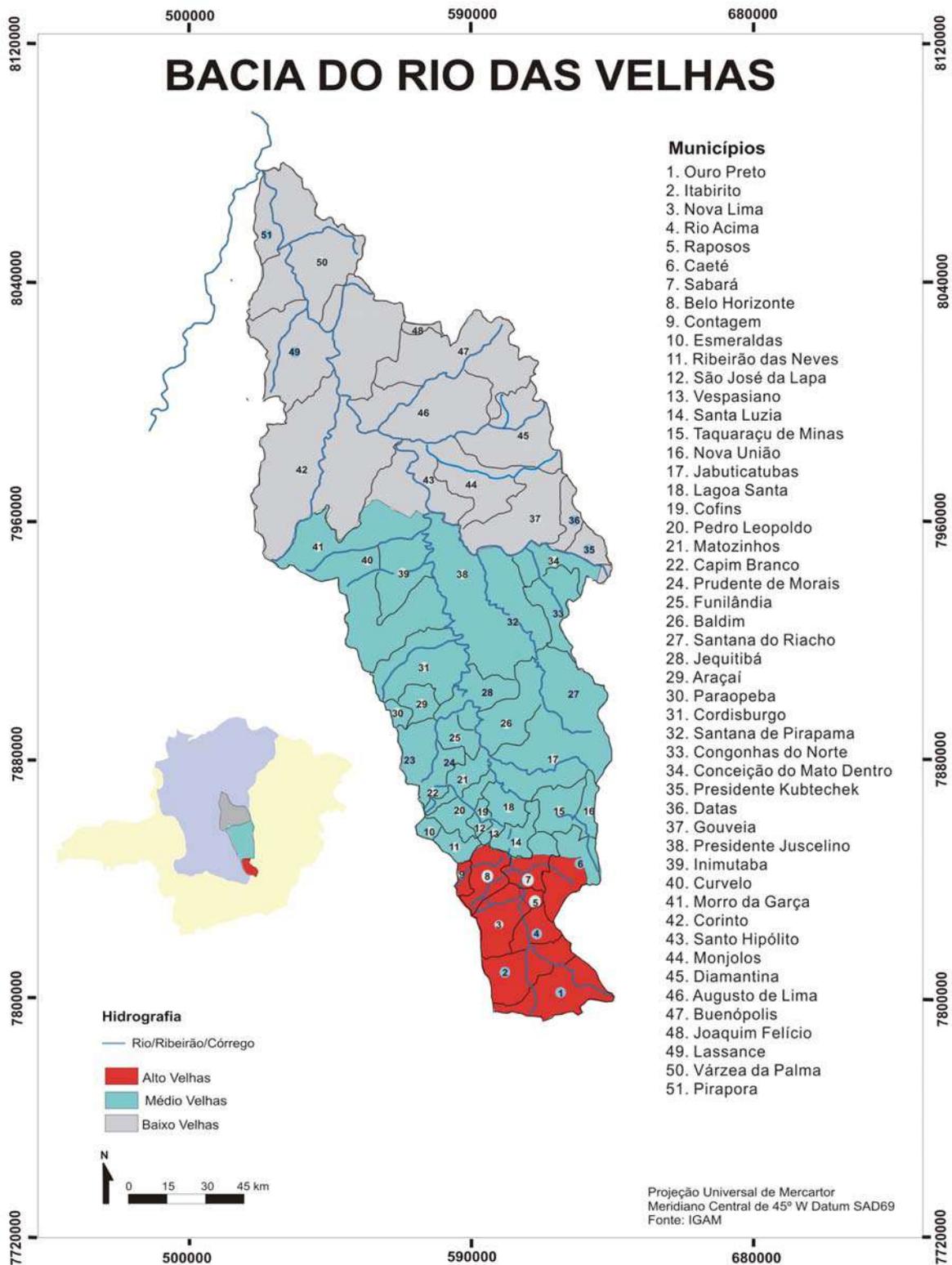


Figura 5: Divisão da Bacia do Rio das Velhas – MG
Fonte: modificado de Camargos, 2005

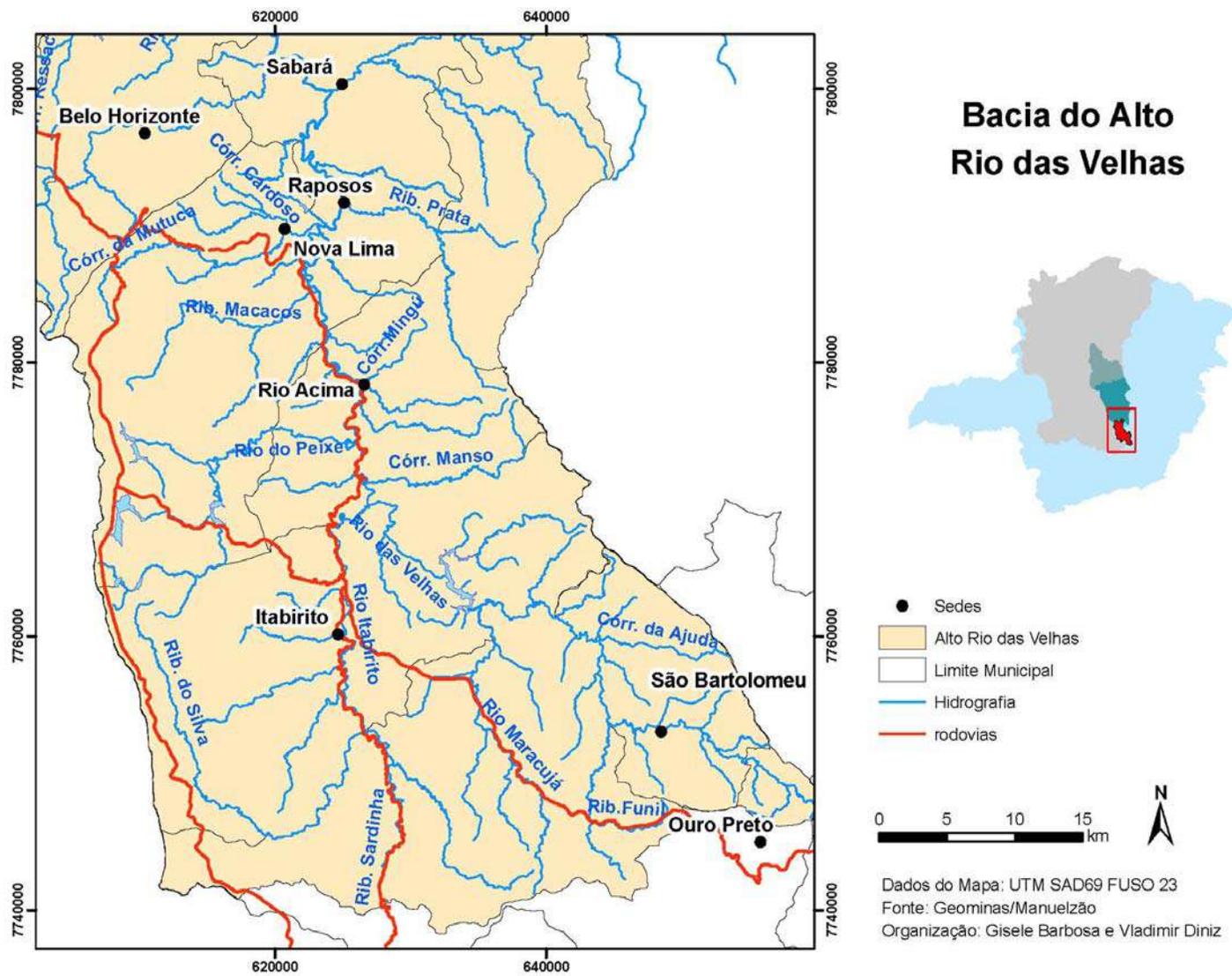


Figura 6: Área de estudo: Bacia do alto Rio das Velhas – MG

4.2. Geologia

O Rio das Velhas, desde suas nascentes em Ouro Preto até sua confluência com o Rio São Francisco, no município de Várzea da Palma, corta três grandes unidades litotectônicas: Quadrilátero Ferrífero, Depressão de Belo Horizonte e Bacia Sedimentar do Grupo Bambuí. O trecho estudado abrange a área do Quadrilátero Ferrífero, trecho mais meridional da bacia, aqui entendida como alta bacia do Rio das Velhas. O Quadrilátero Ferrífero caracteriza-se pela área limitada pela Serra de Ouro Branco, a sul, Serra da Moeda, a oeste, Serra do Caraça, a leste e Serra do Curral, a norte. Esses são considerados limites gerais, sendo os mais precisos relacionados à ocorrência das rochas do Super Grupo Minas.

Como afirma Endo *et al.*, 1991,

“O contorno do Quadrilátero Ferrífero é delineado pelos sedimentos do Super Grupo Minas, uma cobertura plataformal do Proterozóico Inferior. Está inserido no extremo sudoeste do Cráton do São Francisco, cuja região é composta basicamente de terrenos granitos-gnáissicos arqueanos e transamazônicos, *greenstone belts*, arqueanos e seqüências supracrustais do Proterozóico Inferior, Médio e Superior”. (ENDO; ROSIÈRE; CHEMALE, 1991, p.1).

Dentro deste contexto Alkmim & Marshak (1998) afirmam que na porção meridional do Cráton do São Francisco, os estratos da plataforma foram desgastados, expondo nessa região o afloramento de rochas do Arqueano e Paleo-proterozóico. Posteriormente coberta por um estrato Paleo/Mesoproterozóico para o Mesozóico.

Em linhas gerais, o Quadrilátero Ferrífero constitui-se do embasamento cristalino (rochas graníticas, gnáissicas e migmatíticas), sobre o qual se assenta uma seqüência arqueana tipo “*greenstone belt*” (Supergrupo Rio das Velhas), bem como duas seqüências proterozóicas metassedimentares (Supergrupo Minas e Itacolomi). A Figura 7 apresenta a coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero retirada de Alkmim & Marshak (1998) e a Figura 8 a distribuição em planta dessas unidades. No entanto, suas litologias vêm sendo ao longo das décadas denominadas e redenominadas por vários autores em formações distintas, grupos e séries, o que torna a estratigrafia local, ainda hoje, sujeita a visões pouco consensuais.

Embasamento Cristalino

De acordo com Alkmim & Marshak (1998), pertencem ao embasamento cristalino as rochas mais antigas da região. É um complexo metamórfico de rochas graníticas arqueadas, representadas principalmente por gnaisses e migmatitos, com composição granítica, com granitos, gnodioritos, anfibolitos e ultramáficas subordinadas. Apresentam estrutura dômica representadas, principalmente, pelo complexo do Bação de idade arqueana de 2,9 a 3,2 Ga.

Os gnaisses desse conjunto possuem um bandeamento de direção NS e mergulhos altos, quando não se encontram muito migmatizados (ENDO *et al.*, 1991).

Supergrupo Rio das Velhas

É o mais antigo conjunto estratigráfico do Quadrilátero Ferrífero deposita-se sobre as rochas graníticas. Essa unidade consiste de *greenstone* (basalto e komatiíto), lava riolítica e intercalada com rocha sedimentar. Deste modo, o Supergrupo Rio das Velhas, com rochas plutônicas 2.6-2.7 Ga., representam um clássico terreno granito-*greenstone* arqueano (ALKMIM & MARSHAK, 1998).

Essas rochas foram descritas e agrupadas por Dorr (1969) em dois grupos: Nova Lima (inferior) e Maquiné (superior).

Ladeira (1980) propôs que as rochas do Grupo Nova Lima formam três grandes unidades: a unidade basal, constituída por rochas metavulcânicas ultramáficas (xistos verdes, tufos xistosos e metaumáficas); a unidade intermediária, composta de metassedimentos químicos (Lapa Seca: sedimentos carbonáticos químicos, zonas de carbonato intraformacional, carbonato chertoso, filitos; e Raposos: *BIF's*, tufos xistosos, xistos grafíticos); e a unidade superior, de metassedimentos clásticos (grauvacas, xistos carbonáticos, quartzitos imaturos, quartzo xistos, conglomerados).

O Grupo Maquiné, sobreposto ao Grupo Nova Lima, apresenta predominantemente quartzitos, sericitaxistos, grauvacas, conglomerados e xistos. Segundo Barbosa & Rodrigues (1967), esse grupo apresenta uma espessura média de 1200 metros.

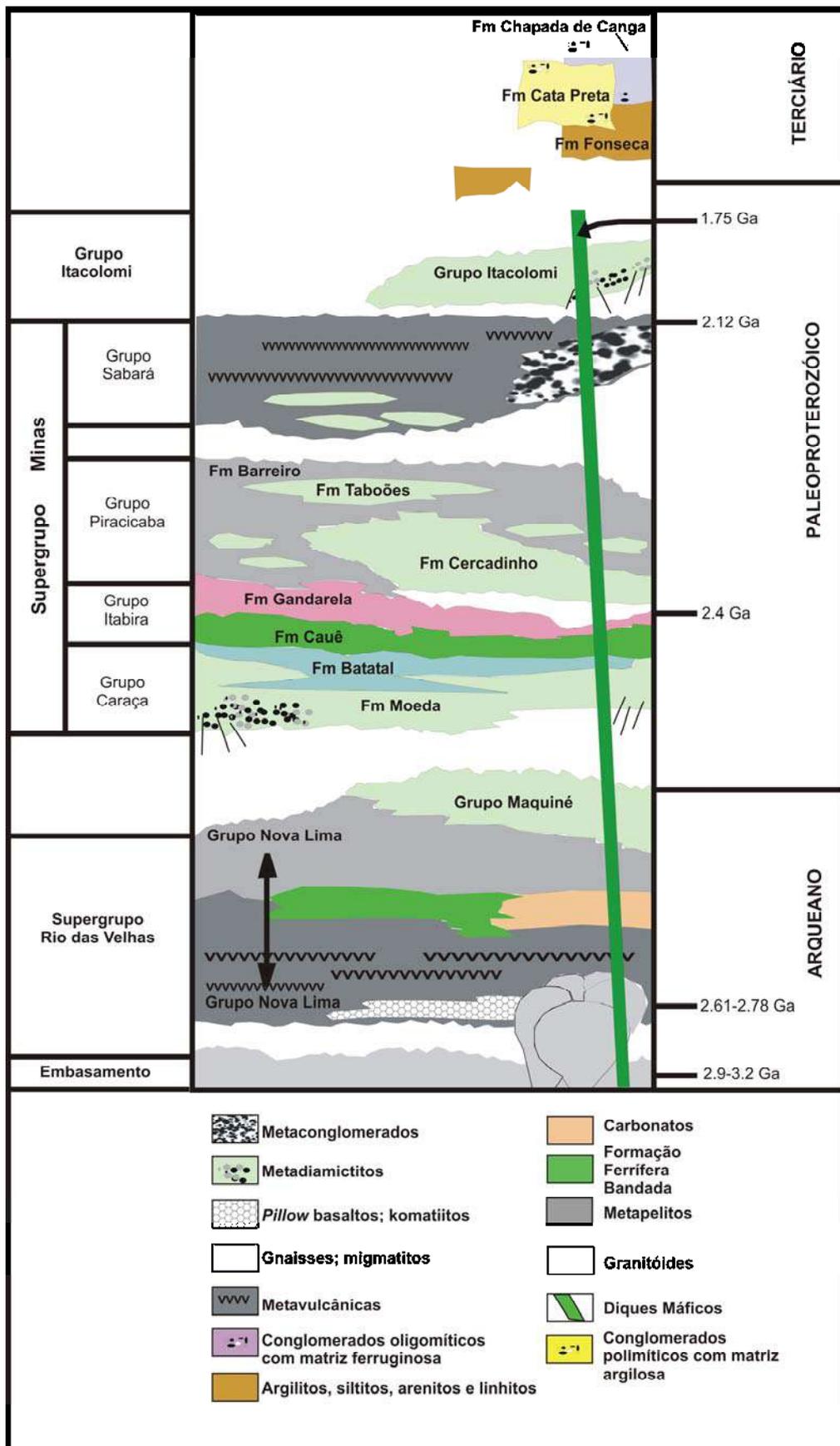


Figura 7: Coluna Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (LANA, 2004)
Modificada de (ALKMIM & MARSHAK, 1998)

Supergrupo Minas

O Supergrupo Minas é uma unidade metassedimentar que está sobre as camadas do Supergrupo Rio das Velhas. Os estratos do Supergrupo Minas resistem à erosão e, desse modo, formam serras que se destacam acima das regiões inferiores menos resistentes do embasamento ou *greenstone*. Essas serras apresentam um arranjo geomorfológico aproximado de um quadrilátero, daí vem o nome de “Quadrilátero Ferrífero” (ALKMIM & MARSHAK, 1998).

As rochas dessa unidade recobrem as unidades do Super Grupo Rio das Velhas e sua unidade basal é formada por quartzitos e meta-conglomerados aluviais, intercalados com depósitos pelíticos marinhos (Grupos Caraça e Tamanduá). Barbosa (1985) afirma que o Grupo Tamanduá deveria ser considerado um grupo à parte, já que sua ocorrência é limitada no Quadrilátero Ferrífero. O Grupo Caraça é constituído essencialmente de metassedimentos de origem clástica e engloba as formações Moeda e Batatal.

O Grupo Itabira é composto por rochas carbonáticas (Formação Gandarela) e ferríferas (Formação Cauê). Dorr (1969) afirma que a Formação Gandarela constitui-se basicamente de dolomitos, calcários, filitos dolomíticos, formação ferrífera dolomítica, filito e lentes quartzíticas. Os dolomitos, de cores vermelha, branca ou cinza, são típicos; geralmente são de granulometria fina a média, maciços ou estratificados, podendo apresentar estruturas indicativas de fluxo sedimentar e estruturas brechóides.

Já a Formação Cauê, segundo o mesmo autor, caracteriza-se por três litotipos, ora intercalados com pequenas lentes de filito e rocha carbonática: (1) itabirito (quartzo, hematita, magnetita), (2) itabirito dolomítico (quartzo, hematita, magnetita e dolomita) e (3) itabirito anfíbolítico.

O Grupo Piracicaba, que sobrepõe o Grupo Itabira, apresenta rochas ligadas a camadas espessas de estratos deltáicos, intercalados por rochas carbonáticas da Formação Gandarela (ALKMIM & MARSHAK, 1998).

O Grupo Sabará é significativamente mais jovem que as unidades subjacentes do Supergrupo Minas, com rochas que datam de 2,125 Ga. Esse grupo é composto principalmente por turbiditos, tuffos, clastos vulcânicos, conglomerados e diamictitos.

Grupo Itacolomi

O Grupo Itacolomi sobrepõe ao Grupo Sabará. Trata-se de uma unidade, formada por arenito grosseiro e conglomerado polimíctico e clastos de *BIF's*, que datam de aproximadamente 2,1 Ga. O Grupo Itacolomi é da mesma idade ou um pouco mais jovem que o Grupo de Sabará e é significativamente mais recente que as outras unidades do Supergrupo Minas.

Depósitos Sedimentares Cenozóicos

Os sedimentos cenozóicos no Quadrilátero Ferrífero ocorrem dispersos principalmente ao longo dos grandes sinclinais que afetam as rochas proterozóicas. Podem ser diferenciados em dois tipos:

- depósitos flúvio-lacustres ricos em conteúdo fossilífero, em especial palinológico;
- depósitos aluviais, formados por processos de fluxos de detritos.

Os primeiros ocorrem principalmente na porção leste do Quadrilátero Ferrífero, enquanto que o segundo tipo de depósitos se concentra nas regiões oeste e sul associadas aos sinclinais Dom Bosco e Moeda (CASTRO *et al.*, 2001).

Os depósitos flúvio-lacustres estão presentes na Bacia do Gandarela e na Bacia de Fonseca. Apresentam em sua base rochas de depósitos de ambientes meandantes (Formação Fonseca) e por depósitos de leques aluviais (Formação Cata Preta e Chapada de Canga). Os depósitos aluviais por fluxo de detritos apresentam geralmente variação na composição dos clastos, sendo essencialmente itabiríticos e hematíticos e fragmentos de filito, quartzito ferruginoso e quartzo de veio.

Geologia da Bacia do Alto Rio das Velhas

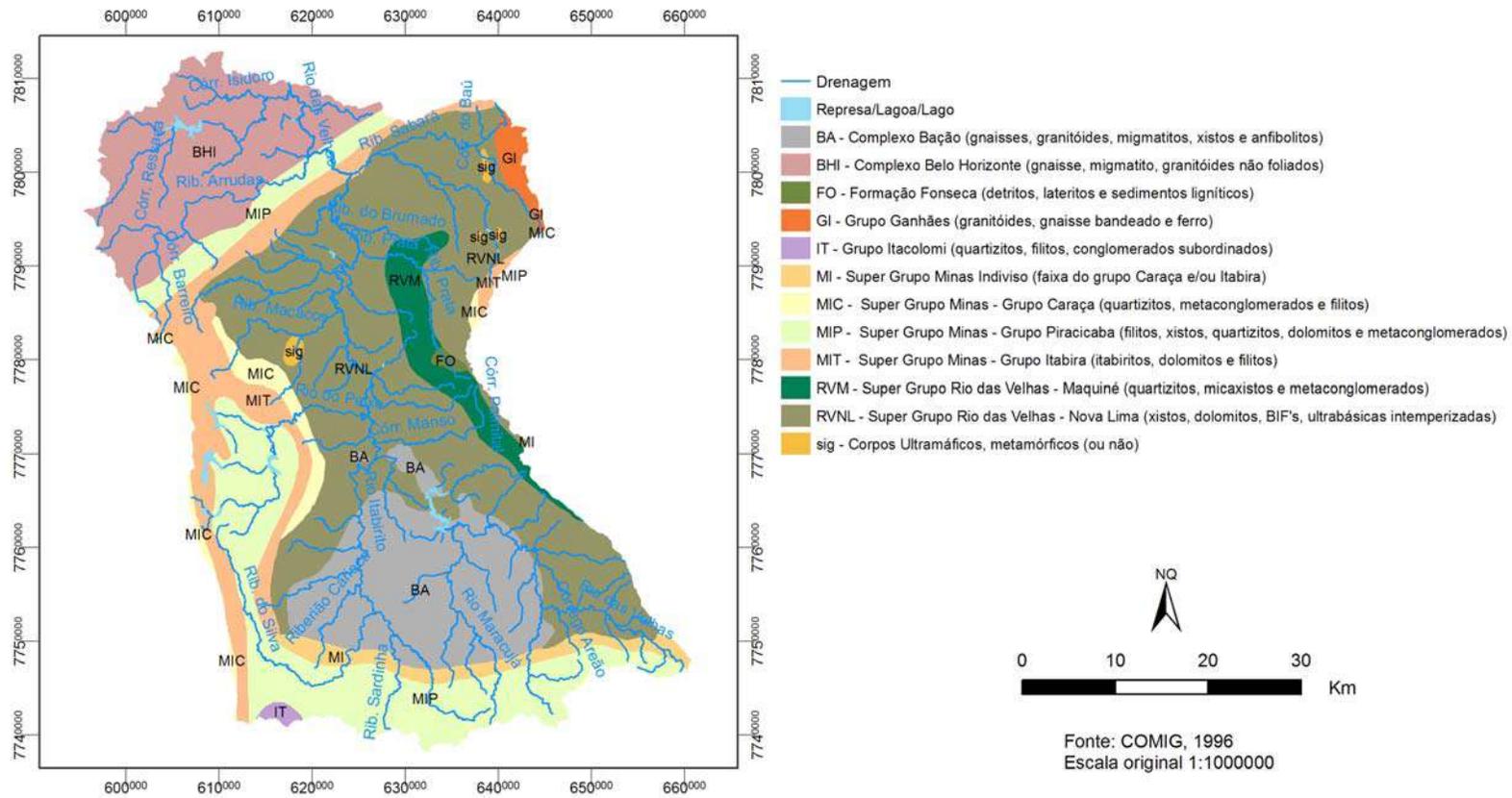


Figura 8: Geologia da bacia do alto Rio das Velhas

De acordo com Barbosa (1985), vários ciclos foram responsáveis pelo metamorfismo das rochas que sofreram complexa deformação polifásica, revelando arcabouço estrutural marcado por grandes sinclinais e anticlinais.

Dorr (1969) destacou três períodos de metamorfismo. O primeiro período ocorreu após a seqüência deposicional do Supergrupo Rio das Velhas e antes da deposição do Supergrupo Minas, e teve um caráter extensional, por volta de 2.5 Ga. É o período intrusivo mais antigo e metamorfozou quartzitos e arcósios para gnaisses graníticos.

O segundo período ocorreu durante a deposição das Rochas do Supergrupo Minas e é datado entre 2.1 a 1.7 Ga. Teve caráter compressional e foi responsável pela transformação de filitos e biotita-xisto em quartzitos biotíticos e, em seguida, para gnaisses-graníticos.

O terceiro período ocorreu há aproximadamente 0,3 Ga, após a deposição do Grupo Itacolomi. Tratou-se de um metamorfismo hidrotermal, atuando sobre sedimentos e transformando-os em anfíbolitos.

4.3. Clima

Em termos gerais a bacia do alto Rio das Velhas apresenta dois tipos climáticos: nas áreas serranas (CWA) e nas áreas de menor altitude (CWb) pela classificação de Köppen (AYOADE, 1998). O primeiro tipo caracteriza-se por apresentar chuvas de verão e verão moderadamente quente (o mês mais quente possui temperatura média menor que 22° C) e o segundo, por chuvas de verão e verão quente (o mês mais quente possui temperatura superior a 22° C).

A alta bacia do Rio das Velhas apresenta período seco de quatro a cinco meses (maio a setembro), enquanto no resto da bacia são três os meses mais secos (junho, julho e agosto). Ocorrem precipitações máximas totais mensais acima de 900 mm, o que representa três vezes mais do que a média do mês mais chuvoso de toda a bacia. As maiores médias de precipitação são observadas nas nascentes localizadas na Serra de Ouro Preto, onde a ocorrência de fenômenos orográficos mantém a precipitação média anual em torno de 2000 mm. A temperatura média anual é de 18° C e umidade relativa do ar apresenta valores médios da ordem de 75%, ocorrendo as maiores médias entre os meses de novembro a abril, enquanto as menores ocorrem entre os meses de julho a setembro (CAMARGOS, 2005).

4.4. Geomorfologia

A configuração geomorfológica do Quadrilátero Ferrífero representa um prolongamento fisiográfico da Serra do Espinhaço e apresenta forte condicionamento litoestrutural, com uma sucessão de sinclinais suspensos e anticlinais escavados. As bordas do domínio são representadas por um complexo serrano, contendo as maiores altitudes, que vão decaindo em direção ao centro (Figura 9 e 10). De acordo com Ramalho Filho & Beck (1995), as classes de declividades podem ser divididas em intervalos de 0-3% (plano); 3-8% (suave ondulado); 8-20% (ondulado); 20-45% (forte ondulado); 45-75% (montanhoso); e > 75% (escarpado). Ao observar a Figura 8, fica clara a configuração do complexo serrano das bordas do Quadrilátero Ferrífero (maior declividade), bem como a presença de vertentes suavemente onduladas a onduladas, com vales planos na porção central da unidade, que corresponde ao Complexo do Bação e na porção oeste correspondente ao Sinclinal Moeda, que se configura por colinas alongadas.

Varajão (1991) refere-se ao Quadrilátero Ferrífero como um mosaico formado por “províncias geomorfológicas”, propostas por Barbosa & Rodrigues (1967) que estão relacionadas ao controle estrutural, a declividade das vertentes e variações litológicas.

As principais províncias geomorfológicas são Serra do Caraça, Serra do Curral, Sinclinal Moeda, Serra de Ouro Branco, Complexo do Bação e Sinclinal Gandarela.

A Serra do Caraça possui as maiores altitudes do Quadrilátero Ferrífero, chegando a atingir 2000 metros. Sua organização primária consiste em uma sucessão de sinclinais e anticlinais que, por ação da tectônica e falhamentos, transformou-se em um complexo de blocos imbricados. A Serra do Curral é caracterizada por Endo *et al.*, (1991) como uma megaestrutura de direção NE-SW, com extensão de aproximadamente 100 km. É representada pelo dobramento de rochas do Supergrupo Minas e possui altitude média de aproximadamente 1200 m, com picos que podem chegar a até 1783m (Serra da Piedade). O Rio das Velhas atravessa a Serra do Curral em forma de corte epigênico. O Sinclinal Moeda estende-se em direção N-S e é considerado um sinclinal suspenso, com altitude média aproximada de 1300 metros. As altitudes desta serra são variadas, as cotas diminuem em direção ao interior do Sinclinal e se elevam novamente nas proximidades do Pico de Itabirito. A Serra de Ouro Branco é limite sul do Quadrilátero Ferrífero. Trata-se de uma superfície estrutural do reverso do anticlinal escavado de São Bartolomeu, localidade onde nasce o Rio das Velhas.

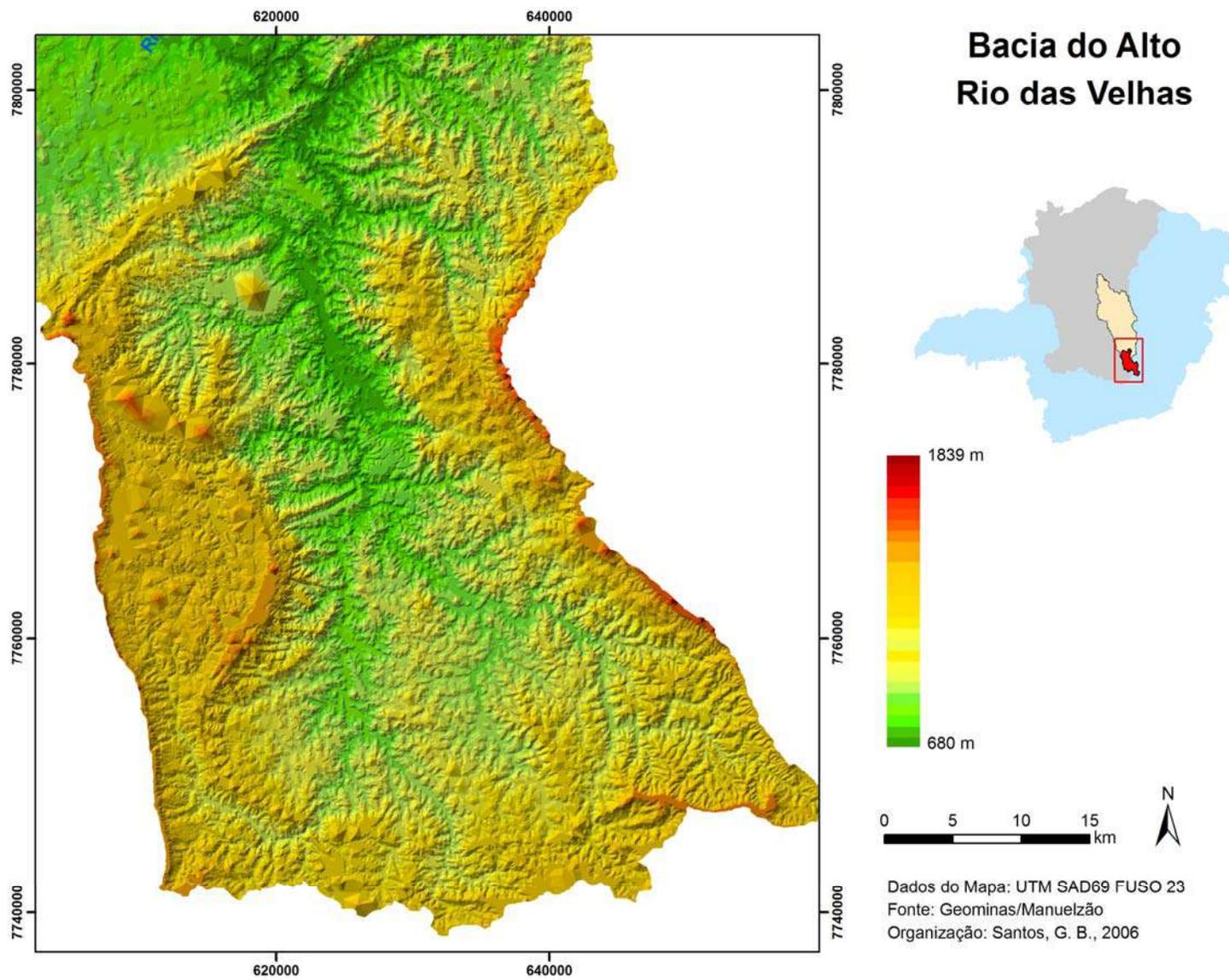


Figura 9: Hipsometria da bacia do alto Rio das Velhas

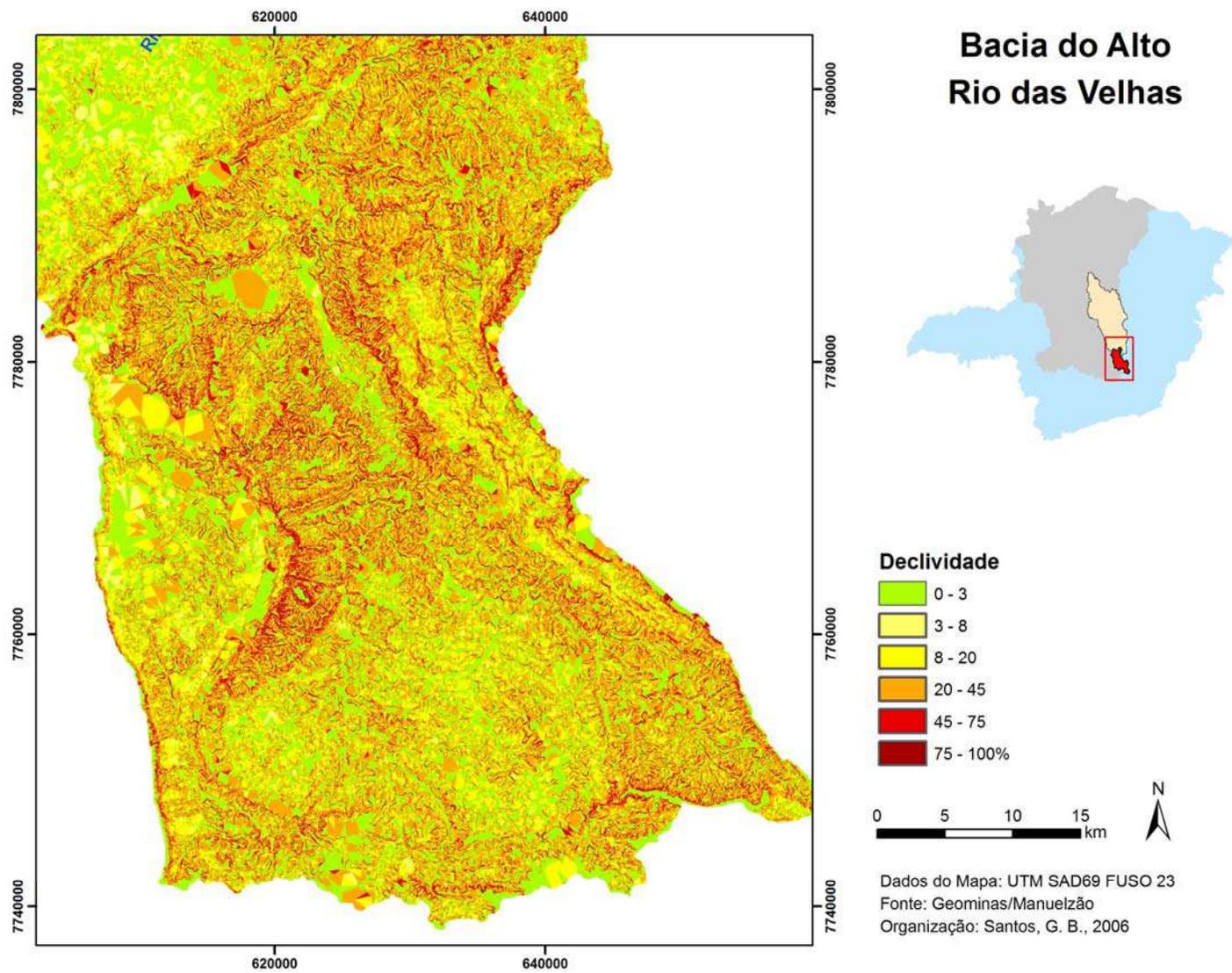


Figura 10: Declividade da bacia do alto Rio das Velhas

O Complexo do Bação, por sua vez, apresenta uma área caracterizada por colinas arredondadas, vales encaixados e trechos abertos. Situa-se na porção central do Quadrilátero Ferrífero e sua dissecação é condicionada pelo intemperismo avançado das rochas do embasamento cristalino. O Sinclinal Gandarela é considerado como sinclinal suspenso e está situado na porção NE do Quadrilátero Ferrífero. Sua elevação está entre 1100 a 1400 metros, apresentando picos de 1581 metros e seus compartimentos suavizados são geralmente cobertos por lateritas.

Barbosa & Rodrigues (1967) destacam o “Anticlinal invertido do Rio das Velhas” que se estende desde Itabirito até Sabará e é limitado pelo Sinclinal Moeda à oeste e pelo sinclinal Gandarela à leste. Essa região é constituída por colinas alongadas em direção E-W, correspondendo ao sentido predominante dos dobramentos do Supergrupo Rio das Velhas, separadas pelos afluentes do Rio das Velhas (Figura 11).

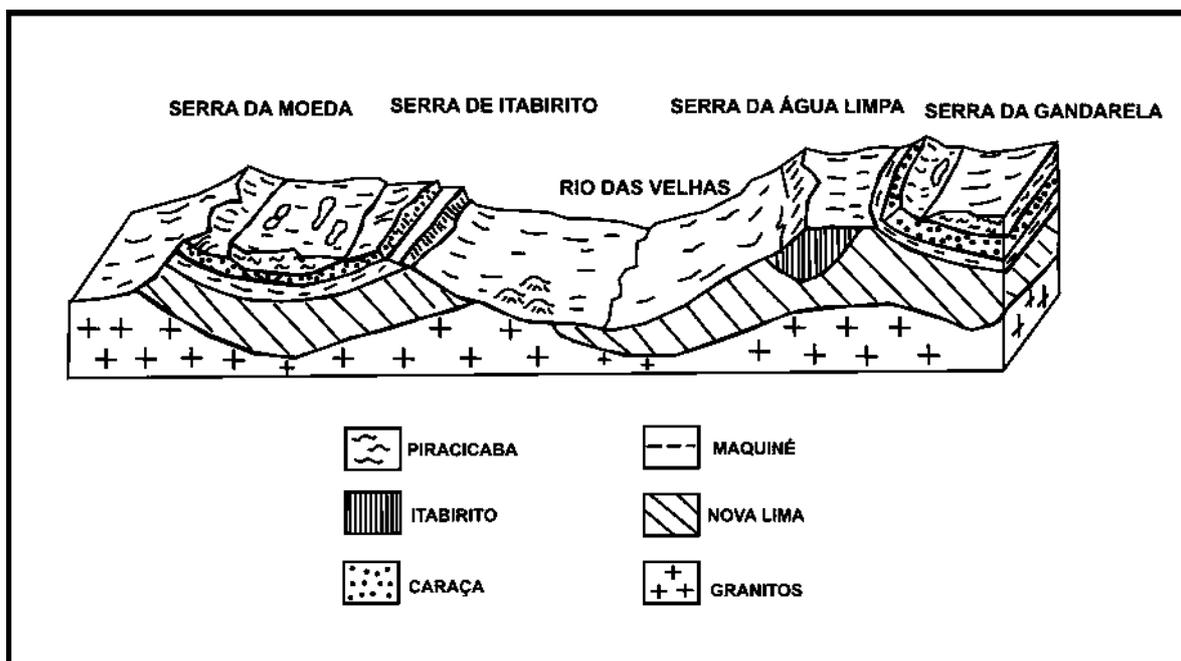


Figura 11: *Anticlinal Rio das Velhas*
 Fonte: Barbosa e Rodrigues, 1967

De modo geral, Varajão (1991) atesta que a evolução morfogenética do Quadrilátero Ferrífero revela um traço marcante de erosão diferencial que, ao longo do tempo, gerou pequenas superfícies de erosão, cuja articulação apresenta um nítido controle litoestrutural.

Salgado *et al.*, (2004) ao relacionarem o papel da denudação geoquímica no processo de erosão diferencial no Quadrilátero Ferrífero, observaram a existência de três comportamentos denudacionais geoquímicos distintos:

- rochas carbonáticas: elevadas taxas de denudação geoquímica;
- granitos, gnaisses, xistos e filitos: taxas médias de denudação geoquímica;
- quartzitos e itabiritos em relação às depressões adjacentes (xistos, filitos, granitos e gnaisses): baixas taxas de denudação geoquímica.

Ainda de acordo com esses autores, tais características, relacionadas à erosão diferencial como explicação para a gênese do modelado do relevo da região, assumem caráter consensual. Por outro lado, os estudos que relacionam os ciclos de erosão às superfícies de aplainamento no Quadrilátero Ferrífero, como aponta Varajão (1991), ainda se revelam como um tema complexo e fundamentado em tópicos ainda não devidamente esclarecidos, como condições paleoclimáticas e ação da tectônica pós-cretácea. Alguns trabalhos correlacionam remanescentes de superfícies de aplainamento com níveis deposicionais fluviais no Quadrilátero Ferrífero, como mostra a Figura 12.

Idade	James 1933**	De Martone 1943**	Freitas 1951**	Ab'Saber 1951**	King 1956**	Bigarella & Ab'Saber 1964**	Barbosa & Rodrigues 1965, 1967*	Dorr 1969*	Maxwell 1972**	Lichte 1979*	Valadão 1998**	
Quaternário	Holoceno					Paraguçu				Superfície Contemporânea	Sulamericana II (Estágio Final)	
	Pleistoceno										Sulamericana II (Estágio Inicial)	
Terciário	Plioceno	Planaltos Cristalinos	Superfície Niogênica	3º Ciclo		Velhas 650 m	Pd 1	Pediplano Pliocênico 1200 m	Velhas 700-750 m	Superfície IV	Velhas (Pliocênica)	Sulamericana I (Estágio Final)
	Mioceno						Pd 2					Sulamericana (Miocênica)
	Oligoceno		Superfícies de Cristas Médias (Paleogênica)	2º Ciclo		Sulamericana 900 m	Pd 3		Sulamericana 850-900 m 1000-1100 m	Superfície III		Sulamericana (Estágio Final)
	Eoceno											
	Paleoceno											
Cretáceo	Superior	Cordilheira de Montanhas Cristalinas	Superfície de Campos	1º Ciclo		Pós- Gondwânica 1200-1300m	Pd 4	Superfície Cimeira	Pós- Gondwânica 1250-1400 m	Superfície II	Pós- Gondwânica	Sulamericana (Estágio Inicial)
	Médio								Cretácea Média 1500-1650 m	Superfície I	Gondwânica	
	Inferior								Cretáce Inferior 1750-1850 m	Superfície Anciã	Superfície Relíquia	

* Dados referentes ao Quadrilátero Ferrífero

** Dados referentes ao Brasil de Oriental

Figura 12: Superfícies de Aplainamento do Quadrilátero Ferrífero e do Brasil Oriental
Fonte: Salgado, 2006

4.5. Solos

De acordo com Camargos (2005), as classes de solos predominantes na bacia são as seguintes:

1. Cambissolos;
2. Neossolos Litólicos;
3. Latossolos.

Observando-se o mapa de declividade (Figura 10), podem-se associar os cambissolos a relevos fortemente ondulados (20-45%), podem ser álicos, eutróficos e distróficos, com textura argilosa. Nas porções de relevo, com intervalos de declividade entre 0-3% (plano); 3-8% (suave ondulado) e 8-20% (ondulado), ou seja, relevo mais suave e aplainado, observam-se latossolos vermelho-amarelos, que podem ser álicos, eutróficos e distróficos, com textura argilosa (COBRAPE, 1997).

Os neossolos litólicos estão ligados aos terrenos mais elevados, com declividade entre 45-75% (montanhoso) e > 75% (escarpado), são rasos, pouco desenvolvidos e podem apresentar afloramentos de rochas, principalmente quartzitos.

Além destes três tipos de solos, são encontrados em pequenas áreas os Neossolos Flúvicos. Que são os solos aluviais, formados ao longo dos cursos d'água e originados pela constante deposição de material transportado pelos rios. São pouco desenvolvidos e constituídos de camadas mais ou menos estratificadas e não consolidadas.

A história da paisagem regional é resultante de fenômenos tectônicos e climáticos que individualizaram o Quadrilátero Ferrífero, com diversos compartimentos erosivos e estruturais, em níveis altimétricos diversos que interferem na pedogênese local.

Modificações climáticas possibilitaram a formação policíclica de canga laterítica, e a deposição de sedimentos detrítico-lateríticos coluviais, em posições inicialmente rebaixadas, mas muitas vezes deslocadas positivamente por movimentos neotectônicos, assumindo formas de pequenas chapadas, localmente apresentando basculamentos, sendo freqüente a ocorrência de bauxita em subsuperfície.

Em estudo realizado recentemente pelo IEF 2005, resume a distribuição dos solos na região:

“Do ponto de vista pedológico, as áreas embutidas nas colinas convexas mostram-se dominadas por Latossolos, no terço superior áreas mais elevadas, geralmente em relevos aplainados ou suavemente dissecados; Cambissolos são dominantes onde há um rejuvenescimento mais acentuado da paisagem, com preponderância da

morfogênese em regime mais sazonal, especialmente; Neossolos Litólicos e Afloramentos de Rochas ocorrem sob forte condicionamento geotectônico, em associação com escarpas e serras que circundam a bacia, e em áreas de cristas e patamares estruturais. Nos domínios das planícies fluviais quaternárias, ocorrem Neossolos Flúvicos, Cambissolos e Neossolos Flúvicos”. (IEF, 2005, p.41).

4.6. Vegetação

A área estudada está inserida em uma região de transição entre dois grandes domínios morfoclimáticos⁵ neotropicais: o Cerrado e a Mata Atlântica, apresentando grande diversidade e complexidade estrutural de ambientes e tipos fitofisionômicos, com destaque para as matas de galeria, florestas semidecíduais, candeiais, cerrado, campos de altitude (IEF, 2005).

No local onde predominam rochas pouco intemperizáveis, como quartzitos e itabiritos, a vegetação predominante é a de campos de altitude. Nos locais que apresentam substrato relacionados a xisto e filitos, rochas mais intemperizáveis do Supergrupo Minas, a vegetação primária é a floresta semidecidual. Os campos cerrados estariam localizados nas porções mais elevadas do embasamento (Complexo Bação) e em encostas cobertas por canga que sofrem atuação erosiva. As matas de galeria estão ligadas às planícies ao longo da rede de drenagem ou em áreas de cabeceiras (BACELLAR, 2000). Próximo a essa vegetação (áreas de cabeceiras), observam-se as matas de encosta que se intercalam com as matas de candeias⁶ (*Vanillosmopsis erythropappa Schult.*), presença marcante na área. A região circunda a área das nascentes do Rio das Velhas e contém a porção mais preservada da Mata Atlântica de toda a bacia. A região das nascentes do Rio das Velhas, que tem sua nascente oficial na Cachoeira das Andorinhas (Figura 13) está inserida na APA (Área de Preservação Ambiental) de mesmo nome. Além de visar a preservação das nascentes, a APA foi criada com o intuito de proteger uma porção bastante preservada de Mata Atlântica, bem como minimizar o desmatamento ilegal, em especial da candeia, os incêndios florestais para formação de pastos, a exploração ilegal de quartzito, entre outros.

⁵ De acordo com Ab’Saber (2003) domínios morfoclimáticos são sistemas em equilíbrio em que se verifica a interação e interdependência dos elementos naturais.

⁶ Vegetação associada à maior disponibilidade de água proporcionada por solos mais profundos ou pela situação do sítio no fundo dos vales (OLIVEIRA FILHO & FLUMINHAN FILHO, 1999).



Figura 13: *Nascentes do Rio das Velhas – Cachoeira das Andorinhas*

4.7. Contexto histórico de ocupação

As primeiras entradas e bandeiras perseguiram índios e procuravam pedras preciosas. Mas, somente depois de quase dois séculos do início da colonização, com a descoberta de ouro em Minas Gerais, é que se iniciou o processo de ocupação regional. Uma história que vai ter sempre a marca das complexas relações entre a população, com suas desigualdades, e a natureza na sua heterogeneidade de recursos, nem sempre renováveis (COELHO, 2002).

O povoamento da alta bacia do Rio das Velhas data de meados do século XVII e início do XVIII e esteve diretamente relacionado à exploração do ouro. Os dois principais eixos de povoamento foram Mariana e Ouro, seguidos de Sabará e Caeté Preto. De acordo com Barbosa & Rodrigues (1967), a fase de descoberta do ouro foi feita de forma geral, seguindo o eixo dos rios por meio do retrabalhamento dos cascalhos dos terraços de até 60 a 70 metros acima do nível dos rios. A exploração do ouro de aluvião durou aproximadamente até o final do século XVIII. No século seguinte, a extração passou a ser feita por meio de galerias e, além do ouro, começou a mineração de ferro, com técnicas mais modernas, de origem inglesa.

A exploração do minério de ferro não aumentou, substancialmente, o número de cidades na região, mas houve uma inversão na forma de ocupação. A população rural, ligada à exploração do ouro de aluvião, passou a se inserir em atividades industriais ligadas a atividades das siderúrgicas.

De acordo com Coelho (2002), o crescimento da siderurgia e das exportações de minério de ferro e manganês modificou o panorama das cidades do alto Rio das Velhas e também gerou impactos ambientais, tanto das atividades mineradoras, quanto da utilização de recursos florestais, por ser o carvão mineral o principal combustível utilizado.

A extração mineral com técnicas mais mecanizadas diminuiu muito o efetivo demográfico comparativamente com as atividades de extração de ouro de aluvião. E a transferência da capital mineira de Ouro Preto para Belo Horizonte em 1897 direcionou o crescimento populacional, econômico e industrial para a nova capital.

Contudo, este crescimento não foi imediato. Somente a partir do final da década de 1960, foi observado um intenso processo de urbanização na região, o que reflete ainda hoje na concentração populacional nas áreas urbanas, principalmente Belo Horizonte. Atualmente, a Região Metropolitana de Belo Horizonte ou RMBH é a terceira maior aglomeração urbana do Brasil com 5,1 milhões⁷ de habitantes (IBGE, 2007).

Diante disso, fica claro que a ocupação da região da alta bacia do Rio das Velhas foi marcada por pressões de seus recursos naturais, destacado no Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio das Velhas:

“Além da mineração, outros fatores, como a atividade agropecuária e a urbanização, que se desenvolveram a partir da instalação dos povoados mineradores, principalmente no alto trecho, contribuíram para a alteração das características qualitativas e quantitativas das águas do Rio das Velhas. Ao atravessar a Região Metropolitana de Belo Horizonte, o Rio das Velhas recebe uma grande quantidade de efluentes domésticos e industriais, além de resíduos sólidos. O fator de pressão sobre os recursos hídricos nessa região é a urbanização.” (CAMARGOS, 2005, p.49).

Portanto, esse panorama foi, de maneira geral, o que marcou a evolução do povoamento e ocupação da área de estudo, bem como seus efeitos ou impactos dentro da bacia do alto Rio das Velhas.

⁷ População referente à RMBH, porém esta população não está totalmente inserida na Bacia do Rio das Velhas, localiza-se fora da Bacia a população das cidades de Betim, um terço de Contagem, Ibirité, Igarapé e Bicas.

4.8. Uso do solo

A alta bacia do Rio das Velhas conta com uma área de 2731 km², nos quais predominam as áreas de mata, campo, pasto e área urbana, como mostra as Figuras 14 e 15.

Classe	km ²	%
Mata	723	26,49
Cerrado	0	0,00
Campo	600	21,98
Capoeira	201	7,35
Pasto	668	24,46
Agricultura	0	0,00
Urbano	388	14,21
Mineração	31	1,14
Afloramento Rochoso	1	0,002
Reflorestamento	119	4,35
TOTAL	2.731	100,00

Figura 14: Distribuição das classes de uso do solo na bacia do alto Rio das Velhas
Fonte: Modificado de Camargos, 2005

As áreas de mata representam 26,19 % da área total da alta bacia e a APA Cachoeira das Andorinhas possui a porção mais preservada da mata atlântica de toda a bacia do Rio das Velhas. Além desta, a alta bacia do Rio das Velhas possui mais 13 UCs (Unidades de Conservação) e, de acordo com o Plano Diretor da Bacia do Rio das Velhas, 2004,

“a concentração dessas áreas, principalmente no Quadrilátero Ferrífero, deu-se como medida de controle diante da grande exploração de recursos naturais na região e, principalmente, como forma de proteção dos mananciais de água da Região Metropolitana de Belo Horizonte”. (CAMARGOS, 2005, p. 38)

As áreas de campo (campo rupestre) ocupam uma porção significativa dessa porção da bacia. Esse tipo de vegetação está associado a altitudes e declividades mais elevadas e solos poucos desenvolvidos. Além do campo rupestre, destacam-se outros

tipos de campo como: campo úmido, campo rupestre com lenhosas do cerrado, campo de canga (IEF, 2005).

As áreas de pasto apresentam-se como a terceira maior classe de uso do solo, sendo também a classe dominante na maioria dos pontos de monitoramento desta pesquisa. De acordo com Barbosa & Rodrigues (1967), a utilização da bacia por áreas de pastagens deve-se ao fim das atividades de extração de ouro de aluvião e ao relevo difícil, com solos geralmente inférteis para atividades agrícolas.

Quanto à classe urbana, destaca-se pela presença da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), que se encontra a jusante da área de estudo e apresenta relevância no que diz respeito à captação de água para abastecimento público, realizada no Rio das Velhas, bem como ao lançamento de efluentes domésticos e industriais nesse mesmo rio.

A atividade mineradora, apesar de abranger pequena extensão em área, é geralmente indicada como grande responsável pela degradação ambiental da região. Camargos (2005) destaca que a mineração é fonte expressiva da degradação dos corpos d'água, tanto pelas substâncias químicas utilizadas no processo de exploração, quanto pelas altas taxas de carreamento de sólidos em suspensão.

Finalmente, as áreas de capoeiras estão ligadas a estágios iniciais de sucessão vegetal, ou seja, são produtos do abandono de áreas de pastagens ou de culturas. As áreas de reflorestamento misturam-se às matas secundárias e se destacam as áreas desativadas de mineração, que por vezes eram recuperadas por meio do plantio de eucalipto.

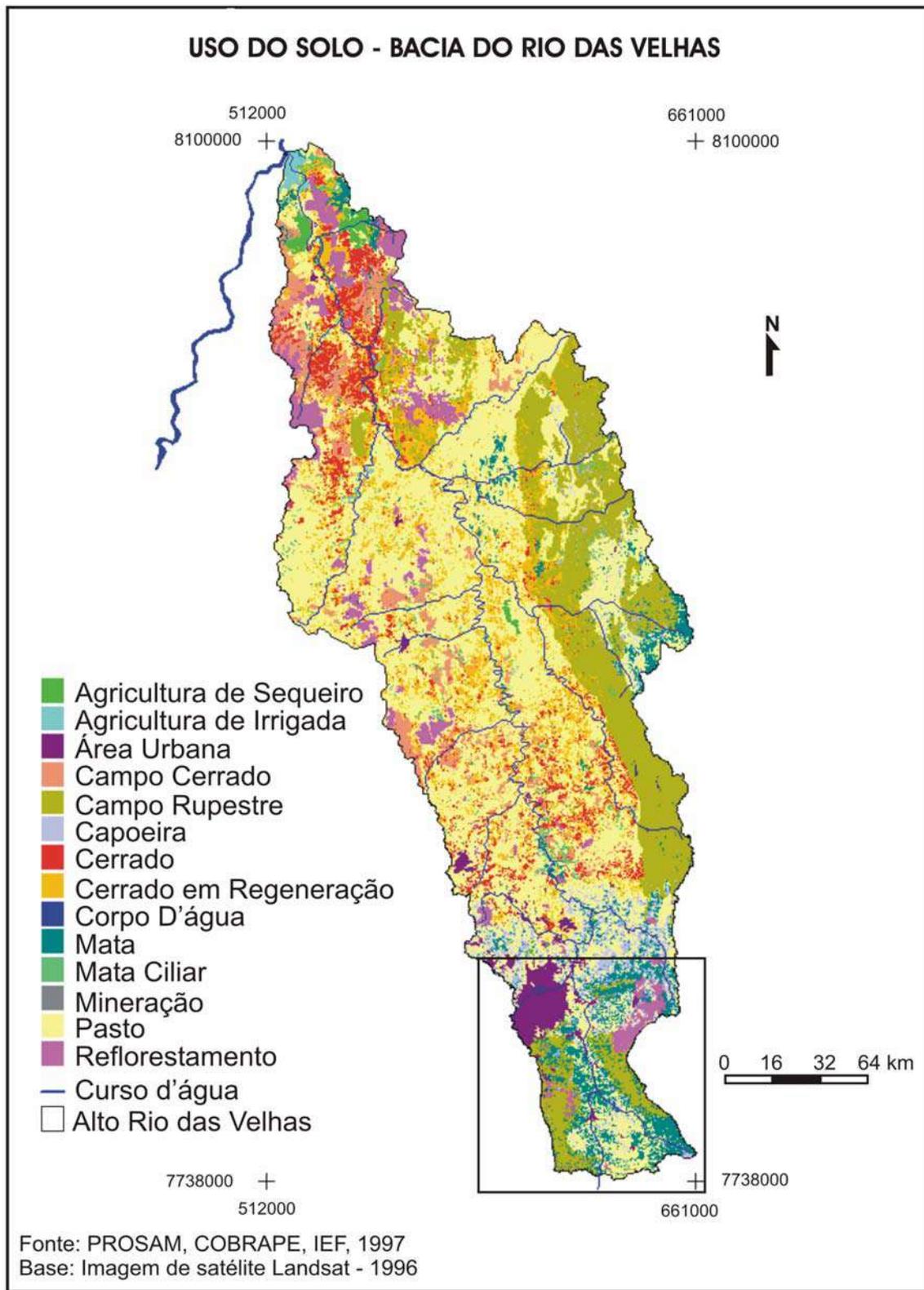


Figura 15: *Uso do Solo da Bacia do Rio das Velhas*
 Fonte: Cobrape, 1997

5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Todos os procedimentos metodológicos listados neste capítulo foram fontes de informação para a interpretação dos processos atuantes na dinâmica do alto Rio das Velhas, e forneceram a base de elementos para a classificação dos ambientes fluviais.

5.1. Identificação e caracterização dos níveis deposicionais

A identificação e caracterização dos níveis deposicionais foi realizada diretamente em campo, onde foram descritos os diferentes níveis das seqüências deposicionais aluviais. Para tanto, foram observadas as seguintes características dos depósitos: textura do material, cor, arranjo, organização, espessura, presença e tipo de estruturas primárias, presença e tipos de concreções, mosqueamentos e matéria orgânica. Para o caso de seqüências deposicionais de seixos, registrou-se o tamanho médio do material, a litologia, o grau de arredondamento, a organização e a matriz.

Os níveis de terraços foram devidamente georreferenciados com o auxílio de um GPS, seguidos de registros fotográficos. As seqüências estratigráficas da área levantadas em campo foram devidamente reproduzidas de forma fiel em desenhos esquemáticos.

Concluído o estudo vertical dos depósitos passou-se então para a etapa de mapeamento em planta dos diferentes níveis de terraços. Isto foi feito considerando a correlação existente entre as diferentes características dos depósitos (feições sedimentológicas semelhantes, posicionamento estratigráfico, relação-lateral, vertical, altitude e altura). A base utilizada para o mapeamento foi um mosaico de ortofotos com escala de 1:8000, datadas de 1989 e cedidas pelo Departamento de Cartografia do Instituto de Geociências (Laboratório de Geoprocessamento) da Universidade Federal de Minas Gerais.

O mapeamento do trecho estudado foi feito com o auxílio do *software* *ARC VIEW 9*. Este SIG (Sistema de Informação Geográfica) permitiu a criação de um banco de dados que armazena a localização geográfica (coordenadas) dos diferentes níveis deposicionais e os atributos associados a cada um destes níveis.

5.2. Caracterização da Morfodinâmica Fluvial

5.2.1. Monitoramento da erosão marginal

Devido à heterogeneidade das margens do Rio das Velhas, todos os métodos diretos foram aplicados: métodos dos pinos, das estacas, perfilagens sucessivas e o levantamento fotográfico, cada um devidamente adaptado às características próprias de cada ponto de monitoramento. O monitoramento foi feito em um período de um ano, tendo sido a instalação dos pinos feita em outubro de 2006. A medição das taxas de recuo das margens foram feitas mensalmente no período entre dezembro de 2006 e dezembro de 2007.

Nesta etapa, foram utilizados os materiais listados a seguir:

- Pinos de ferro com 1 metro de comprimento, 5 milímetros de diâmetro, inseridos horizontalmente na face das margens, posicionados em seqüência vertical em cada ponto monitorado (Figura 16a);
- Estacas de estacas com 1 metro de comprimento e 8 centímetros de lado; foram inseridas verticalmente na planície de inundação próximas à seqüência de pinos (Figura 16b);
- Trena de 20 metros utilizada na medição de quanto material foi erodido ou depositado, tanto nos pinos, quanto nas estacas;
- Transferidor: utilizado para medir o grau de inclinação dos níveis das margens monitoradas por perfilagem sucessiva.



Figura 16: *Modelo Pino (a) e Estaca (b)*

A escolha dos pontos de monitoramento seguiu os seguintes critérios e etapas:

- campo para reconhecimento da área de estudo;
- constatação visual de processos erosivos e deposicionais nas margens;
- diferenciação de níveis e seqüências deposicionais marginais e de calha;
- segurança do material instalado;
- acessibilidade ao local;
- diferentes litologias;
- diferenciação visual entre as margens escolhidas.

A localização dos pontos de monitoramento pode ser observada na Figuras 17 e 18, todos localizados no vale do Rio das Velhas. Seus códigos foram criados de acordo com o município ou distrito do qual fazem parte.

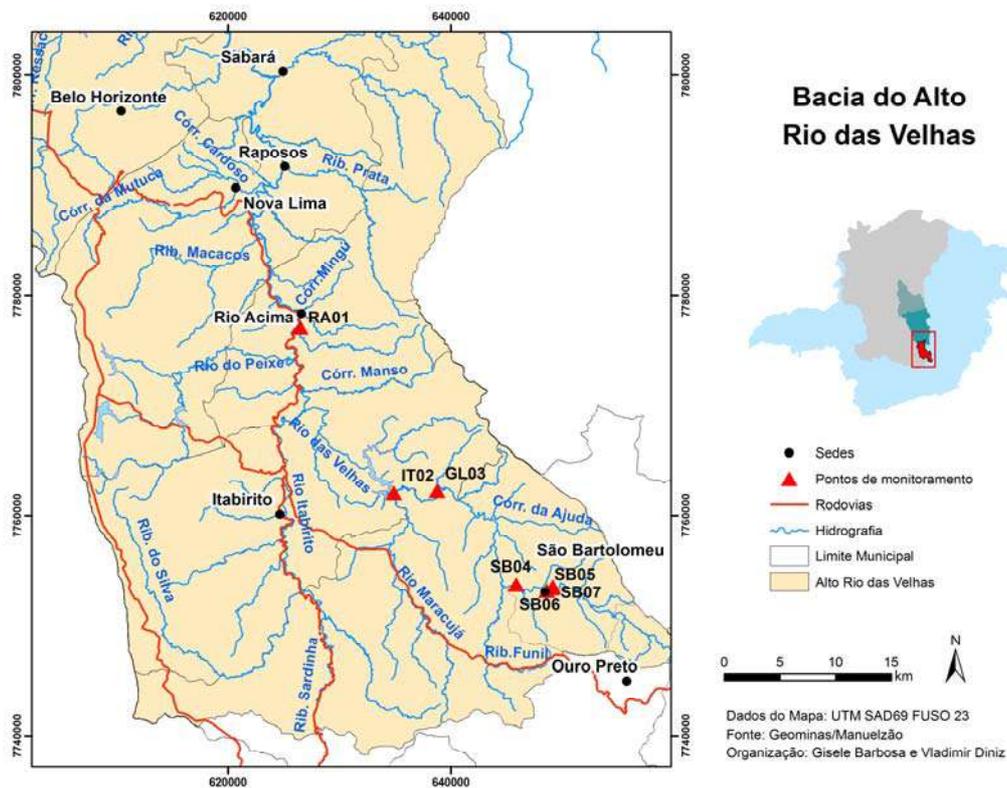


Figura 17: Localização dos Pontos de Monitoramento na Bacia do Alto Rio das Velhas

PONTOS DE MONITORAMENTO

Nº	Código	Coordenadas		Altitude (m)	Descrição
		Latitude S	Longitude W		
		UTM (N)	UTM (E)		
01	RA01	20° 5' 57,77" 7777056,67	43° 47' 24,3" 626491,7	740	Próximo à área urbana de Rio Acima.
02	IT02	20° 14' 3,7" 7762050,447	43° 42' 31,04" 634893,101	894	Município de Itabirito, à montante da Represa Rio das Pedras.
03	GL03	20° 13' 56,7" 7762234,832	43° 40' 16,69" 638793,505	912	Glaura, distrito de Ouro Preto.
04	SB04	20° 18' 31,28" 7753733,5	43° 36' 10,32" 645871,916	964	Próximo ao núcleo urbano de São Bartolomeu ⁸ distrito de Ouro Preto (área bastante antropizada).
05	SB05	20° 18' 49,87" 7753138,358	43° 34' 35,07" 648630,083	976	São Bartolomeu
06	SB06	20° 18' 41,09" 7753404,259	43° 34' 19,06" 649096,866	983	São Bartolomeu
07	SB07	20° 18' 36,81" 7753531,429	43° 34' 16,68" 649166,881	980	São Bartolomeu

Figura 18: Informações dos Pontos de Monitoramento

⁸ Pontos mais próximos às nascentes do Rio das Velhas.

A Figura 19 resume as principais características dos pontos monitorados. Cabe ressaltar que o levantamento dos níveis de terraços não está condicionado aos pontos monitoramento das margens e sim ao longo de todo o trecho estudado.

PONTOS DE MONITORAMENTO		
Nº	Código	Descrição
01	RA01	- Supergrupo Rio das Velhas; - uso: urbano; - próximo à confluência com o córrego Cortesia; - descrição: margem (erosiva) com altura aproximada de 7m, face vertical; presença de barra de seixos; - método: pinos/fotográfico.
02	IT02	- Complexo Bação; - uso: pastagem, mineração de areia do leite; próximo à confluência com o rio Maracujá; - descrição: margem (deposicional) com declividade suave; presença de barras arenosas; barras vegetadas (ilhas) - método: pinos/estacas/perfilagens sucessivas/fotográfico.
03	GL03	- Complexo Bação; uso: pastagem; presença de pequenas barras arenosas; margem erosiva face vertical; - método: pinos/estacas/fotográfico.
04	SB04	- Supergrupo Rio das Velhas; - uso: pastagem; presença de barra lateral de seixos, estabilizada por vegetação; margem com face vertical; - método: pinos/fotográfico.
05	SB05	- Supergrupo Rio das Velhas; - uso: pastagem/núcleo urbano; presença de barra lateral de seixos, estabilizada por vegetação; margem com declividade suave; método: pino/fotográfico.
06	SB06	- Supergrupo Rio das Velhas; - uso: pastagem/lazer; margem erosiva com face vertical; - método: pino/fotográfico.
07	SB07	- Supergrupo Rio das Velhas; - uso: pastagem/lazer; margem escalonada; presença de barra parcialmente vegetada com granulometria variada; - método: pinos/fotográfico.

Figura 19: Descrição dos Pontos /monitorados

5.2.2. Análise granulométrica: composição dos materiais das margens

As propriedades mecânicas das margens estão relacionadas à sua composição granulométrica, e são geralmente responsáveis pelo grau de coesividade dos materiais constituintes, o que pode interferir na resistência da margem à erosão. Diante disso, foram coletadas amostras na face de cada margem monitorada. Estas amostras foram tratadas no Laboratório de Geomorfologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais onde foram submetidas à análise granulométrica (peneiramento e pipetagem).

Os procedimentos metodológicos para análise granulométrica (Dispersão Total) seguem as normas da Embrapa (1997) listadas abaixo:

1. *Preparo das amostras:* depois de devidamente protocoladas, as amostras foram colocadas em tabuleiro adequado, deixado em local seco e ventilado até

completar dessecação pelo ar. Em seguida, cada amostra foi destorroada; verteu-se a amostra destorroada através da peneira de malha 2 mm e eliminou-se o material retido na peneira; o restante do material, de granulometria inferior a 2 mm, foi acondicionado em sacos plásticos devidamente etiquetadas e identificadas.

2. *Separação Granulométrica*: pesou-se 20 gramas da amostra; foram transferidas para um béquer de 400 ml, contendo 100 ml de água e 10 ml de NaOH 1mol/l; foi feita a agitação com bastão de vidro e, em seguida, foram deixadas em repouso durante aproximadamente 12 horas; após este período o conteúdo foi transferido para agitador elétrico (coqueteleira), onde a amostra foi agitada por 15 minutos com rotação de 12000 rpm. Depois disso, passou-se o conteúdo em uma peneira de malha 0,053 mm, tendo logo abaixo uma proveta de 1000 ml, neste momento, a fração areia foi separada da argila; deixou-se o material fino em repouso durante 4 horas;
3. *Pesagem da areia*: o material de granulometria superior a 0,053 mm (fração areia) foi transferido para uma placa de Petri numerada e de peso conhecido; colocou-se na estufa por aproximadamente 5 horas a uma temperatura de 105°C; o material seco foi peneirado em peneiras de malha 1,00/0,50/0,250/0,125 mm, o que permitiu a separação das diferentes classes de areia.
4. *Pesagem do silte e da argila*: após o tempo de repouso para decantação do silte, pipetou-se uma alíquota de 50 ml utilizando-se uma pipeta volumétrica, colocada em pipetador automático. A coleta foi feita a 5 cm de profundidade; transferiu-se a suspensão para cápsula de porcelana numerada e previamente tarada, colocou-se a cápsula na estufa, após a evaporação da suspensão pesou-se a porção argila.
5. *Prova em Branco*: foram colocados 10 ml de NaOH 1mol/l em uma proveta de 1000 ml, agitada durante 20 segundos, depois de um repouso durante 4 horas; pipetou-se 50 ml, utilizando a pipeta volumétrica com a profundidade de 5 cm; transferiu-se a suspensão para a cápsula, deixou-se na estufa; após a evaporação, pesou-se a massa dispersante.

5.3. Análise dos materiais de transporte fluvial

- *Carga de fundo:*

A coleta de carga de fundo foi realizada em dois períodos distintos, ambas no ano de 2007. A primeira, em julho, está dentro do período de estiagem da região, que normalmente se estende entre os meses de maio e setembro. A outra coleta foi realizada no mês de dezembro, que compreende o período de maior pluviosidade da bacia, com início em outubro e término em fevereiro.

A coleta de sedimentos de fundo foi realizada com o auxílio de um amostrador de sedimentos do tipo amostrador de arraste (Figura 20). No material de leito com granulometria inferior a 1,0 mm foi realizada a análise granulométrica em laboratório seguindo as mesmas etapas descritas no item 5.2.2.. Já o material mais grosseiro foi caracterizado quanto ao tamanho dos seixos e sua litologia.



Figura 20: Amostrador de sedimentos – Carga de fundo

- *Carga suspensa:*

O estudo da carga suspensa foi realizado em duas etapas: amostragem em campo e extração dos dados quantitativos em laboratório. As amostras foram coletadas em garrafas plásticas de 1,5 litros posicionadas perpendicularmente à seção do rio. Os ensaios são realizados no Laboratório de Geoquímica Ambiental do CPMTCC (Centro de Pesquisa Prof. Manoel Teixeira da Costa)/IGC.

O processamento das amostras foi realizado segundo o método de Melo *et al.* (1975), devidamente adaptado, já que esta metodologia foi descrita para o estudo de

material em suspensão em água do mar. Foi utilizado o sistema, que consiste de dois funis de filtragem conectados a uma bomba de vácuo (Figura 21).

Os equipamentos utilizados nesse processo foram:

- Garrafas plásticas de 1,5 litros;
- Equipamento de filtragem: constituído por um de funil e receptáculos de filtragem, conectados a uma bomba de vácuo;
- Filtros: filtros da marca Millipore R. com diâmetro de 47 mm e poros de valor nominal de 0,45 microns.



Figura 21: Sistema de filtragem

A partir desse método, foi feita a análise da concentração de sedimentos por meio de filtragem rápida, utilizando como filtro uma membrana de celulose, cujas etapas foram as seguintes:

1. *Preparação:* Os filtros foram pesados⁹, um a um, em balança de precisão. Após pesados, foram acondicionados individualmente em envelope de papel alumínio. Foi colada no lado de fora do envelope de papel alumínio uma etiqueta de identificação com o número do filtro e seu peso inicial;

2. *Coleta de Material:* para a determinação da carga suspensa coletou-se uma amostra de 1,5 litros de água em garrafas plásticas;

3. *Filtragem:* o processo de filtragem das amostras foi feito somente com 2 litros por amostra. Utilizou-se 2 filtros por amostra. Os filtros foram colocados na bomba de vácuo. A amostra foi agitada e, desta, foram retirados 2 litros que foram filtrados, 1 litro em cada proveta. Cada proveta foi despejada em um filtro. Utilizou-se água destilada

⁹ Os filtros são pesados após a chegada das amostras ao laboratório (no momento de realização do ensaio).

para auxiliar na remoção da carga das provetas. Anotou-se na caderneta de campo o nome da amostra e o número dos filtros utilizados para esta. Depois de filtrados, foram retirados com a ajuda de uma pinça e acondicionados em seu envelope de origem;

4. *Secagem*: Os filtros secaram em estufa com temperatura de 105° a 110°C por período mínimo de 24 horas;

5. *Pesagem*: Ao retirar da estufa para a pesagem, os filtros foram resfriados no secador por 20 minutos. Em seguida, foram pesados individualmente, anotando-se o seu peso final. A quantidade de material foi dada pela diferença de peso final menos o peso inicial.

Os equipamentos utilizados nesse processo foram:

- Garrafas plásticas de 1,5 litros;
- Equipamento de filtragem: constituído por um de funil e receptáculos de filtragem, conectados a uma bomba de vácuo;
- Filtros: filtros da marca Millipore R. com diâmetro de 47 mm e poros de valor nominal de 0,45 microns.

- *Medição de Vazão*:

A determinação da vazão foi realizada em duas etapas: na primeira, fez-se uma batimetria da seção transversais do rio, possibilitando o cálculo da área da seção escolhida, sendo tomadas medidas verticais (profundidade) e a medida transversal do canal (largura). Na segunda etapa, determinou-se a velocidade de fluxo da seção com o auxílio de um molinete fluviométrico, modelo Watermark USGS, posicionado-o a 50% da profundidade total, determinando-se então a velocidade média.

O cálculo das vazões foi realizado seguindo as seguintes fórmulas:

$$A = L/n+1 \times (Y1 + Y2 + Y3 + \dots Yn)$$

Onde:

A= área da seção do canal (m²);

L= largura do rio (m);

Y1 = profundidade do rio no ponto 1 (m);

n= número de medidas de profundidade que você realizou.

$$Q = A.V_m$$

Onde:

Q: vazão do rio

A: área transversal do rio na seção de medição

V_m: velocidade média na seção

5.4. Elaboração da proposta de compartimentação geomorfológica do vale do alto Rio das Velhas

A nomenclatura dos parâmetros utilizados na compartimentação dos distintos trechos fluviais do alto Rio das Velhas foi inspirada na classificação de códigos de fácies proposta por Miall (1996). Nesta classificação, os códigos de fácies são representados pela primeira letra maiúscula, que indica o tamanho do grão dominante (G= *gravel*; S= *Sand*) e a segunda letra minúscula, que indica uma característica mnemônica como textura ou estrutura das litofácies (p= planar, ms= *matrix-supported*). O autor estabelece ainda uma análise e classificação dos elementos arquiteturais, que prima pela descrição e genética das associações de fácies como componentes de um sistema deposicional: depósitos de canais (*Channels*=CH), barras (*Gravels Bars e Bedforms*= GB), fluxo de gravidade (*Sediment-Gravity-Flow Deposits*= SG), depósitos por acreção lateral (*Lateral-Accretion Deposits*= LA), formas de leito arenosas (*Sandy Bedforms*= SB).

É importante salientar que neste trabalho as litofácies não foram os principais elementos norteadores para a associação dos parâmetros que resultaram na compartimentação do vale, mas, sim, o levantamento e análise dos níveis deposicionais marginais e da dinâmica intra-calha. Portanto, tanto a escala, quanto os parâmetros deste trabalho são distintos da proposta de Miall (1996), no entanto, a essência da criação dos códigos é coerente para ambos.

A divisão dos trechos fluviais baseou-se em diferentes variáveis e dimensões geomorfológicas:

- hidrológicas;
- estratigráficas;
- geométricas / morfológicas;
- sedimentológicas;
- processos morfodinâmicos: erosivos e deposicionais;

A Figura 22 ilustra os elementos analisados para a proposta de compartimentação dos trechos fluviais:

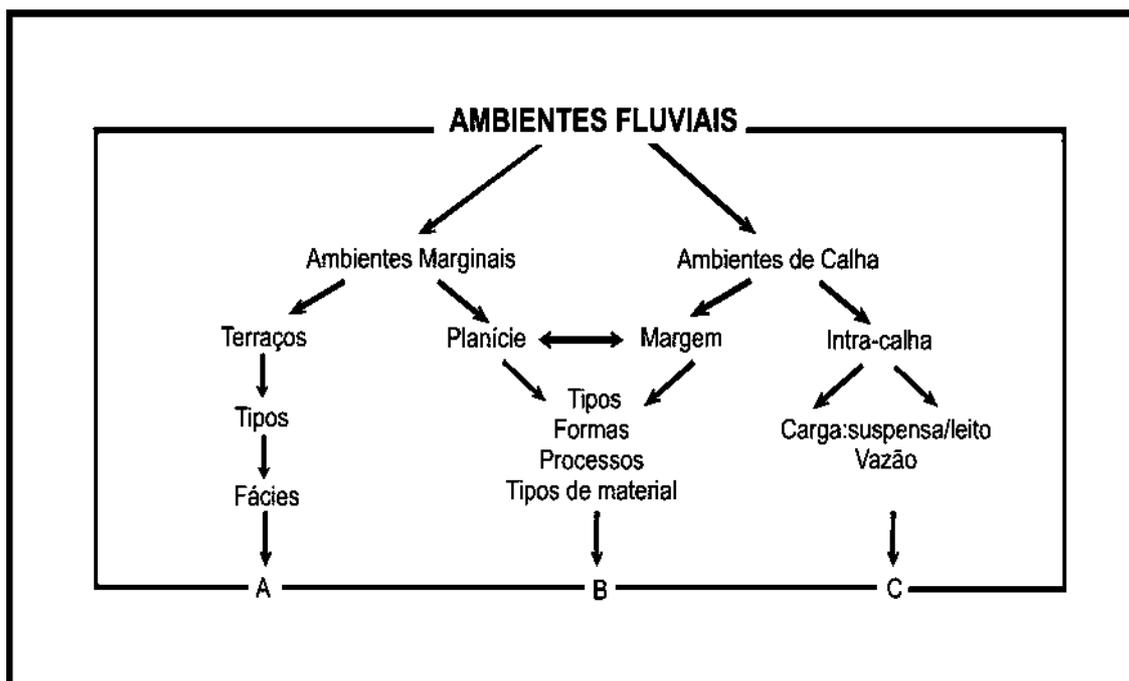


Figura 22: Fluxograma dos elementos investigativos do vale fluvial

No caso do Rio das Velhas, os códigos (A, B e C) foram substituídos por códigos relacionados às características e/ou evidências encontradas em de campo e/ou em laboratório. Estes códigos foram utilizados na divisão dos distintos trechos fluviais como resultado do cruzamento de uma associação de processos e formas (deposicionais e erosivos) encontrados.

Os ambientes marginais foram diferenciados entre níveis deposicionais pretéritos (terraços), deposicional atual (planície), processos e formas-dinâmica atual (margens). As margens foram analisadas de acordo com os principais processos atuantes (erosão, queda e escorregamento), a morfologia, o perfil transversal (íngreme ou plano), a velocidade da remoção e/ou deposição de materiais, a composição granulométrica.

Os terraços foram diferenciados em relação a sua distribuição espacial, tipos, variações no perfil longitudinal, bem como sua altitude, petrografia, comprimento dos seixos e à altura da base dos níveis aluviais (desnível em relação à calha fluvial). Para tanto, foram construídos perfis estratigráficos de cada nível aluvial e perfis transversais que ilustram a disposição destes níveis em relação à calha fluvial.

A planície aluvial foi abordada de acordo com o tipo de depósito e quanto aos processos morfodinâmicos predominantes. Já os ambientes intra-calha foram diferenciados de acordo com o tipo de leito (forma e carga sedimentar), a vazão, medição da carga suspensa, a caracterização da carga de leito e a presença de barras

(granulometria do material). Por fim, o cruzamento das variáveis acima descritas resultou em uma compartimentação, que refletem as principais características morfológicas e dinâmicas de trechos do vale do alto Rio das Velhas.

6. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1. Descrição e distribuição dos níveis deposicionais fluviais

Neste item, serão apresentadas as descrições efetuadas para níveis deposicionais presentes no trecho do vale estudado, como requisito para as interpretações e conclusões sobre a geomorfologia fluvial da bacia do alto Rio das Velhas. Foram descritos um ponto¹⁰ e sete perfis ao longo do trecho de estudo. Serão apresentados também uma seqüência de sete mapas em escala original de 1:8000, com a distribuição espacial dos níveis deposicionais. Além dos níveis deposicionais, foram mapeadas as áreas urbanas próximas ao canal fluvial e áreas alagadas por barramento, que, possivelmente, recobrem os níveis aluviais.

Foram identificados quatro níveis deposicionais aluviais na área, sendo um Nível de Várzea e três Níveis de Terraços. Os Níveis de Terraços apresentam a seguinte tipologia:

- *Terraço Superior escalonado*: é o nível deposicional mais antigo e menos preservado em relação aos outros níveis. A altura da base deste terraço em relação à calha atual do rio variou entre 30 e 50 metros.

O nível de Terraço Superior apresenta, basicamente, a ocorrência de três fácies sedimentares. Na base, ocorre um nível de seixos de quartzo e itabirito suportados por matriz arenosa, alternando com fácies areno-argilosas com presença de matéria orgânica e nível de seixos suportados pelos clastos concrecionados por ferro.

- *Terraço Intermediário escalonado*: nível identificado ao longo de todo o vale do Rio das Velhas, esculpido diretamente sobre o substrato rochoso. A altura da base variou entre 10 e 30 metros.

O nível de Terraço Intermediário apresenta sinteticamente fácies representada por um nível basal de seixos de quartzo e itabirito suportados pelos clastos ferruginizados, por vezes suportados por matriz de areia fina à média, alternando com fácies de areia fina maciça.

- *Terraço Inferior*: nível também encontrado ao longo de todo vale. Apresenta-se escalonado em relação ao Nível Intermediário, porém com variações em relação ao Nível de Várzea. O Terraço Inferior seguido do Nível de Várzea escalonado foi encontrado em dois trechos, um próximo a São Bartolomeu e outro nas proximidades de

¹⁰ O Ponto 1 foi descrito separadamente. Trata-se da descrição do perfil estratigráfico do nível de Terraço Superior, identificado próximo a Rio Acima. Este ponto foi assim representado por não apresentar correspondência, numa seqüência transversal, com os níveis inferiores do vale.

Itabirito. A altura da base, nestes dois trechos, variou entre 10 e 30 metros. O Terraço Inferior recoberto pelo Nível de Várzea foi identificado à montante dos dois trechos anteriormente citados (Terraço Inferior escalonado). A altura da base, nestes trechos, variou entre 0 e 10 metros. O Terraço Inferior com Nível de Várzea embutida foi identificado no trecho à jusante da cidade de Rio Acima. A altura média de sua base variou entre 10 e 20 metros.

O nível de Terraço Inferior apresenta, basicamente, a ocorrência de três fácies, sendo sua base representada por nível de seixos de quartzo e itabirito suportados pelos clastos, alternando com fácies areno-argilosas com presença de matéria orgânica e nível de seixos de quartzo e itabirito ferruginizados suportados por matriz arenosa.

O escalonamento dos níveis de terraços demonstra a permanente ocorrência de um soerguimento crustal de alcance regional (soerguimento do Escudo Brasileiro), fato já anteriormente verificado na área (MAGALHÃES JR., 1993; MAGALHÃES JR. & SAADI, 1994). O Terraço Inferior, por sua vez, apresenta uma diferenciação tipológica que, provavelmente, ocorre devido a soerguimentos diferenciais de blocos ao longo do vale, o que resulta em uma compartimentação morfológica. O comportamento diferencial de blocos e o seu condicionamento na dinâmica fluvial do Rio das Velhas já foi verificado por Magalhães Jr. (1993) no trecho entre Sabará e Santa Luzia. Neste sentido, nos blocos com soerguimento tectônico mais acelerado (blocos mais ativos) o Nível de Várzea encontra-se escalonado em relação ao Terraço Inferior, enquanto nos blocos menos ativos as inundações periódicas encobrem o Terraço Inferior, fazendo com que este nível seja recoberto pelo Nível de Várzea. O trecho onde o Nível de Várzea está embutido no Terraço Inferior pode ser explicado por sua proximidade com a Serra do Curral, que representa uma barreira estrutural à dinâmica sedimentar da rede de drenagem, fazendo com que o canal tenha dificuldades de encaixamento passando então, a migrar lateralmente.

A Figura 23 apresenta uma disposição esquemática e um perfil longitudinal da distribuição da variação dos tipos que o Terraço Inferior se apresenta ao longo do vale. Ao observar o perfil, é possível perceber também a existência de três trechos onde não foram mapeados níveis de terraços. O primeiro deles, representado pela cor preta, corresponde a um trecho de 8,4 km de difícil acesso, devido à ausência de vias e estradas em boas condições. Também não foi possível visualizar os níveis deposicionais por meio da interpretação das ortofotos. O outro trecho, representado pela cor amarela, corresponde a uma área de 1,39 km² alagada pela Represa Rio de Pedras (Figura 24) e

que, possivelmente, encobre os níveis deposicionais. O intervalo de 15,5 km representado pela cor marrom, corresponde a um trecho onde o canal se encontra muito encaixado (Figura 25), com margens íngremes. Neste trecho, o leito corre sobre o substrato rochoso. Esta área se configura por um forte controle estrutural, apresentando trechos retilíneos e curvas fechadas. Visualmente, tanto em campo, quanto por meio da interpretação das ortofotos, não foram identificados níveis deposicionais. O trecho correspondente à cor cinza representa a área urbana de Rio Acima. Neste trecho, as características naturais foram bastante alteradas, não permitindo assim a identificação de possíveis níveis deposicionais.

- *Nível de Várzea*: o Nível de Várzea não apresenta grandes variações no que diz respeito à composição dos sedimentos depositados ao longo do vale do alto Rio das Velhas, mas, sim, em relação à distribuição dos referidos sedimentos e de sua largura em relação ao canal. Apresenta, basicamente, composição de areia grossa até muito fina, de coloração marrom amarelada, com abundância de matéria orgânica (raízes), possuindo em alguns trechos estruturas plano-paralelas. Nos trechos já citados onde se localizam os terraços recobertos pelo Nível de Várzea apresenta pacotes de 0,40 m a 0,60 m. Próximo a São Bartolomeu, a várzea apresenta por vezes um nível de seixos provenientes de atividade minerária. É importante ressaltar a grande variação da largura da várzea ao longo do vale: próximo à São Bartolomeu chega a atingir 180 m de largura, enquanto que o canal possui largura de 6 a 8 metros (várzea simétrica). A montante da Represa Rio de Pedras a largura é de 40 metros e a largura do canal também possui 40 metros (várzea assimétrica/ apenas na margem esquerda). No trecho encaixado do rio, apresenta calha rochosa sem deposição lateral. Próximo a Rio Acima o Nível de Várzea volta a apresentar largura de 60 m e a largura do canal, neste trecho, varia entre 40m a 60 m (várzea simétrica).

Os mapas e quadros representados pelas Figuras 26 a 40 ilustram as seqüências estratigráficas, a organização espacial dos níveis deposicionais, bem como a localização das seções transversais levantadas.

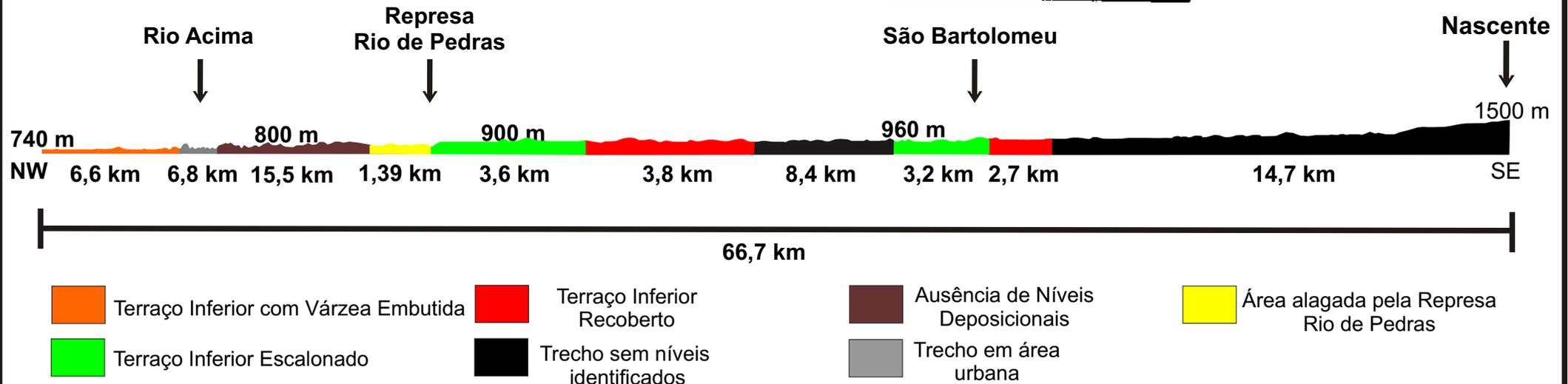
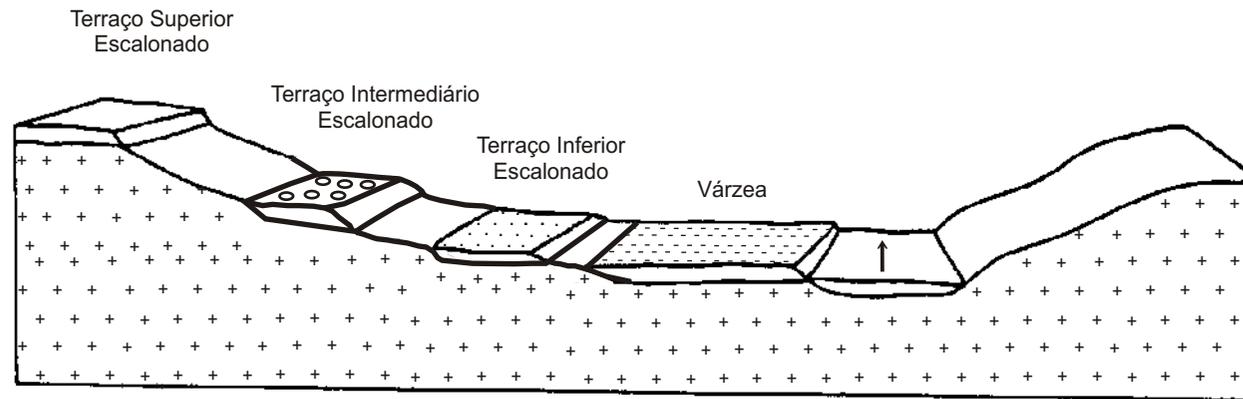
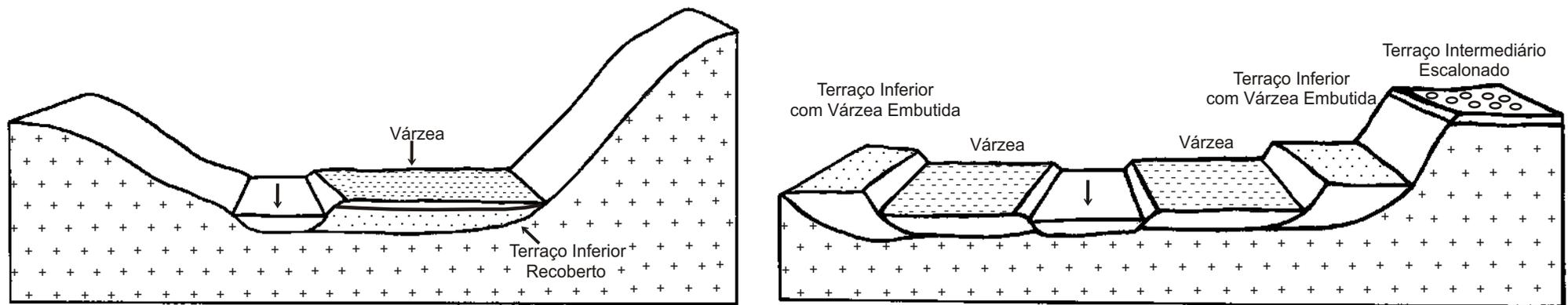


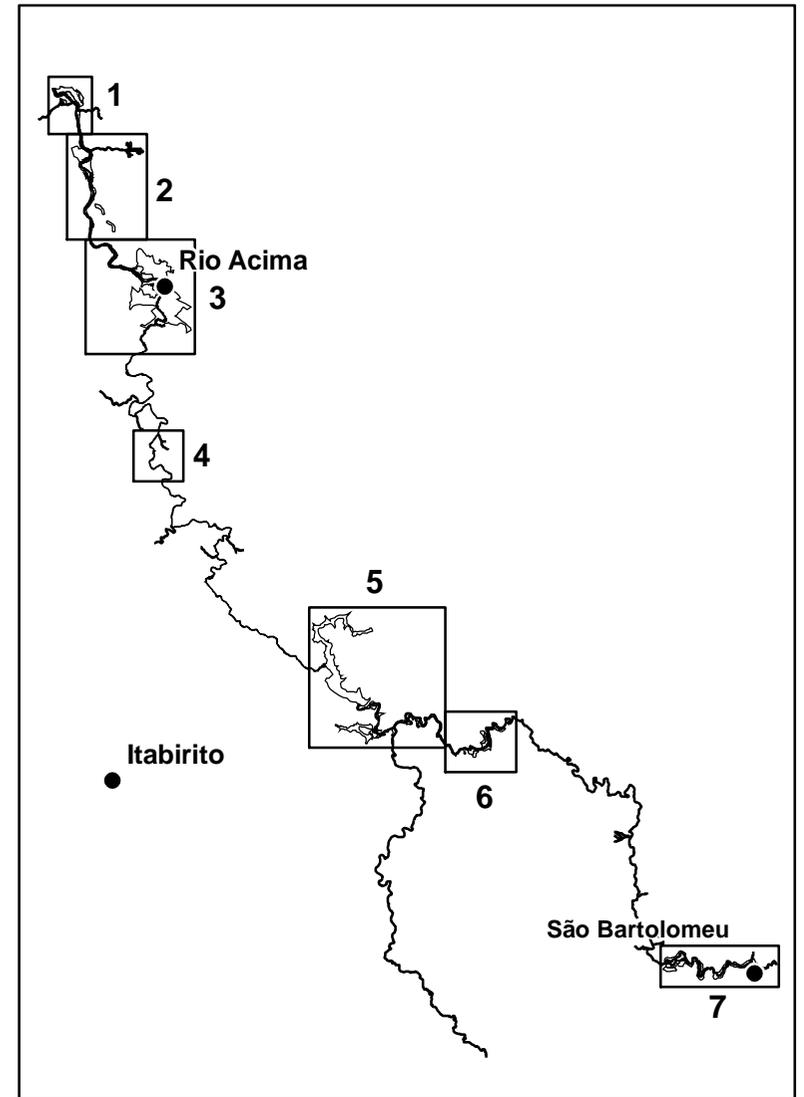
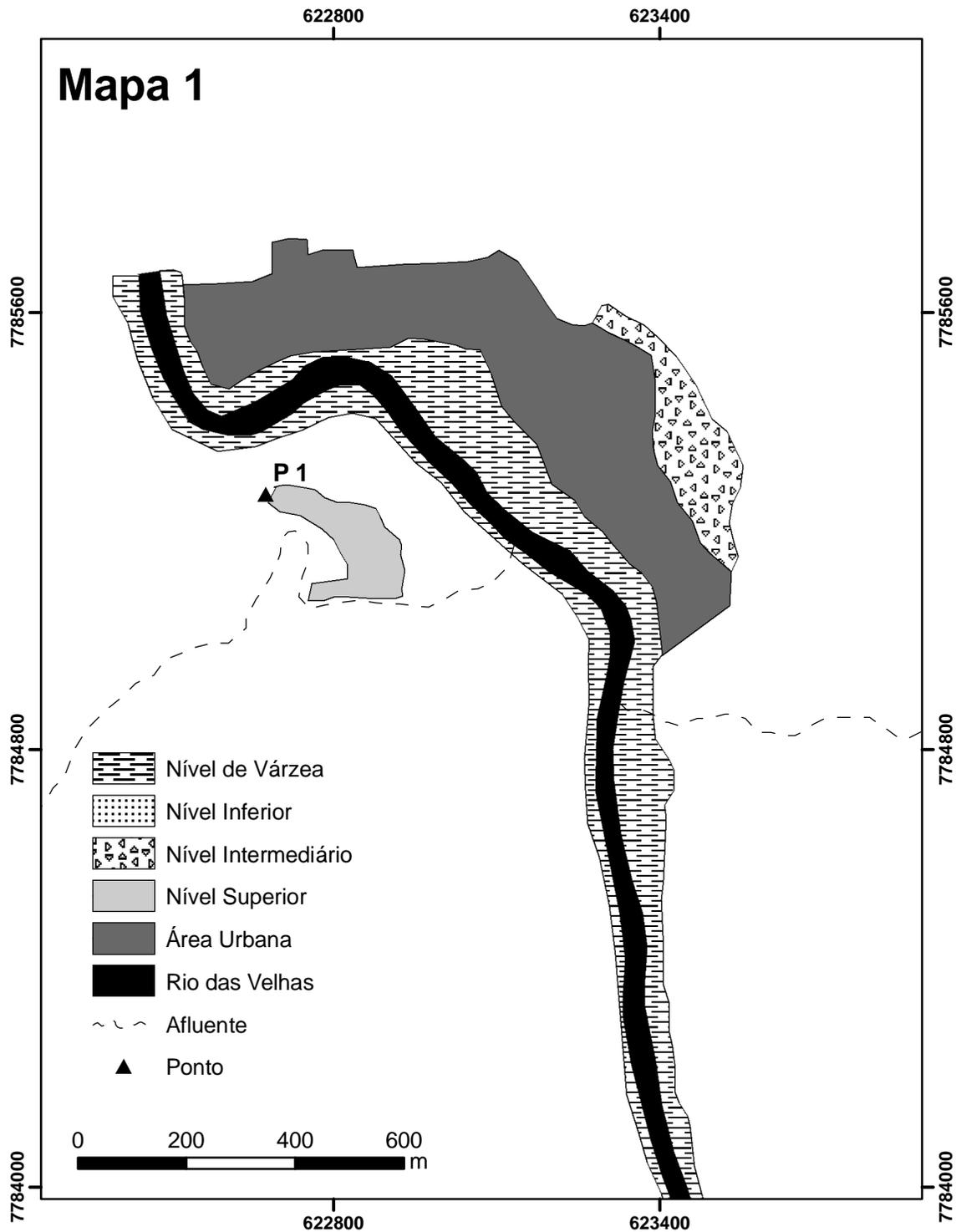
Figura 23: Disposição esquemática dos níveis deposicionais o longo do vale



Figura 24: *Área alagada da Represa Rio de Pedras*

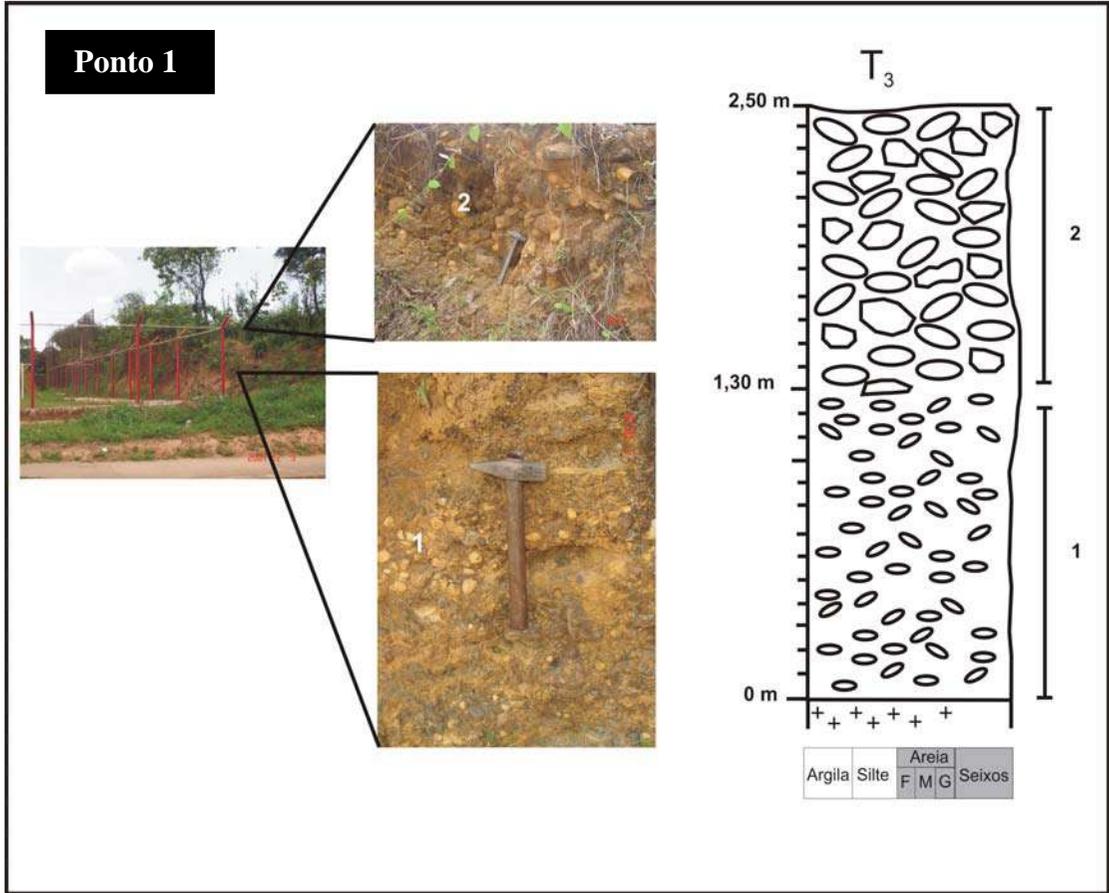


Figura 25: *Trecho encaixado do Rio das Velhas*



Dados do Mapa: UTM SAD 69 - Fuso 23
 Bases: Ortofoto escala 1:8000 - Data: 1989
 Autor: Gisele Barbosa e Vladimir Diniz

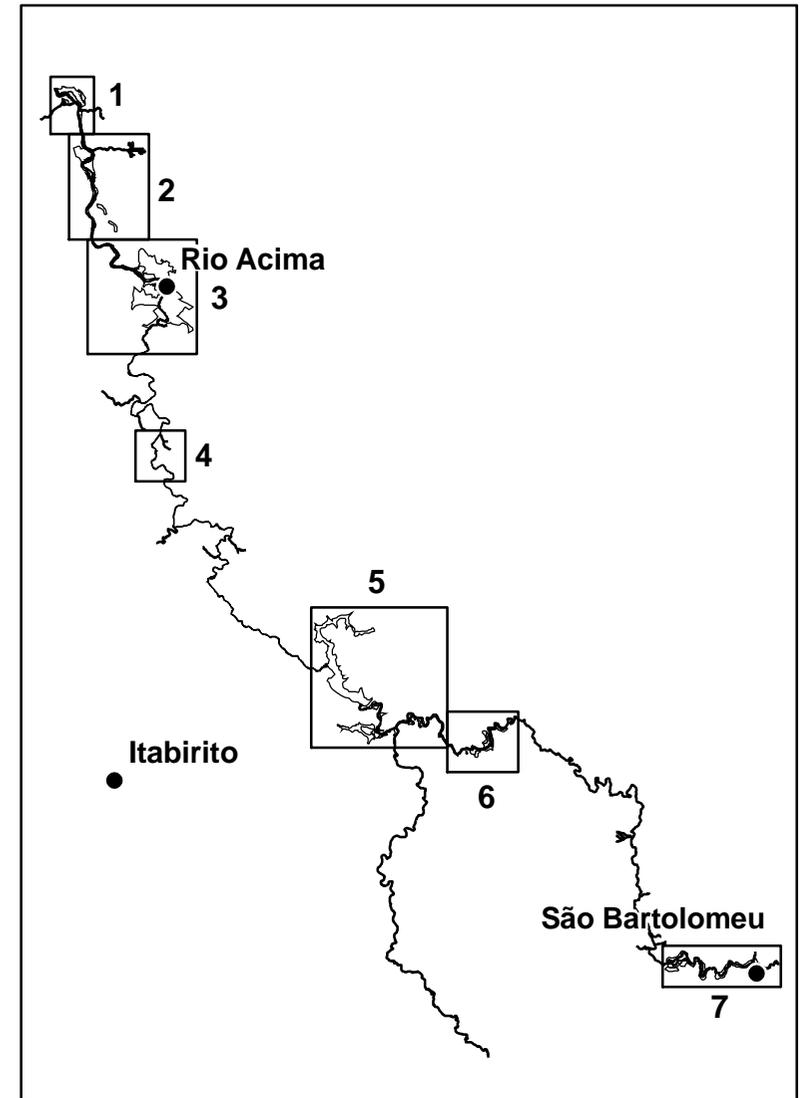
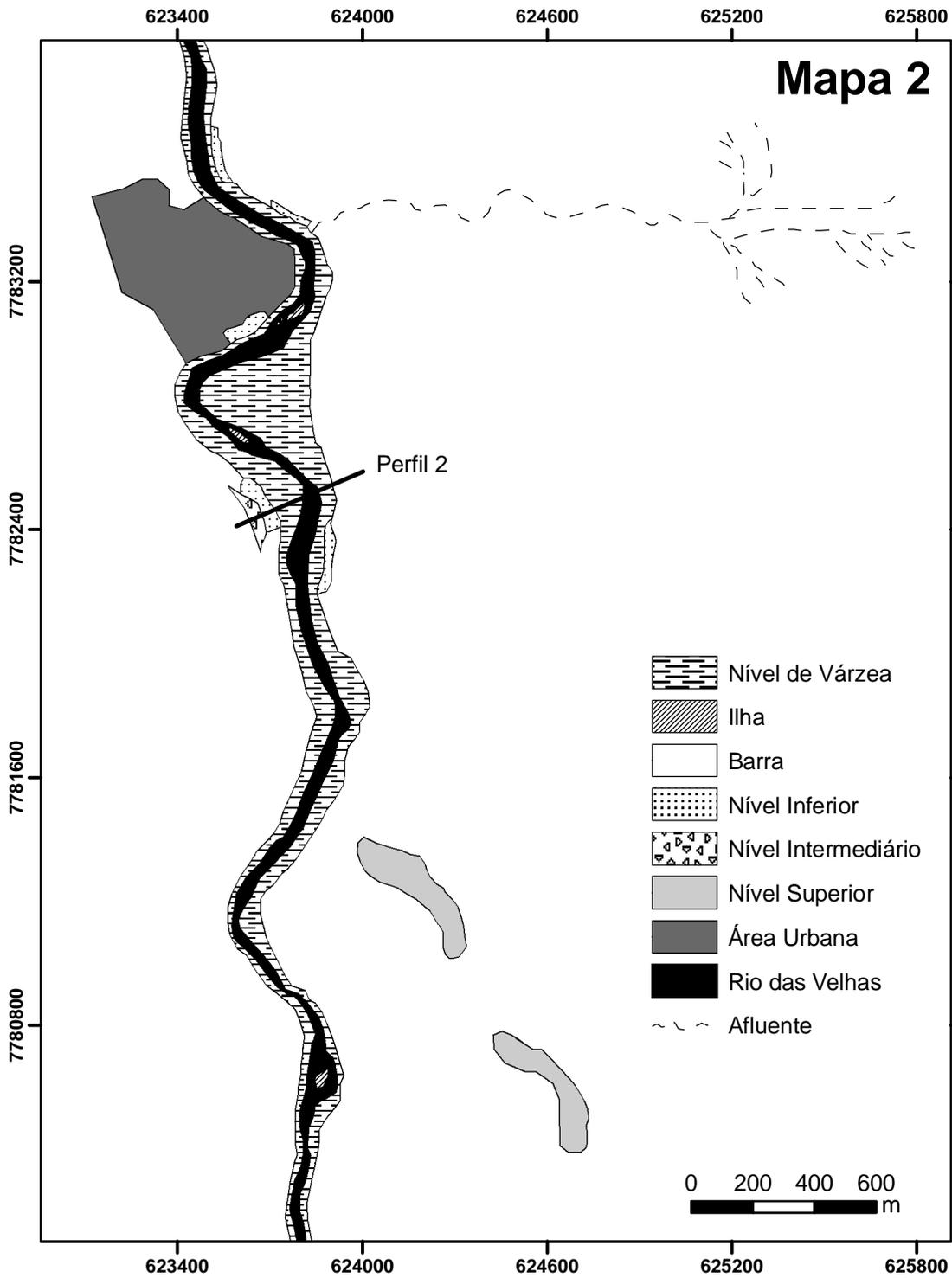




1 – Nível de seixos de itabirito arredondados com comprimento médio de 4 cm; e quartzo sub-arredondados ferruginizados com comprimento médio de 8 cm; matriz de areia média a fina marrom amarelada.

2 – Nível de seixos de itabirito arredondados com comprimento médio de 7 cm e quartzo com tamanho médio de 10 cm, suportados pelos clastos.

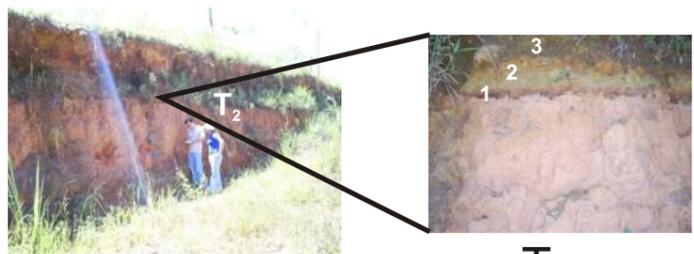
Figura 27: Perfil estratigráfico do Terraço Superior – Próximo a Rio Acima



Dados do Mapa: UTM SAD 69 - Fuso 23
 Bases: Ortofoto escala 1:8000 - Data: 1989
 Autor: Gisele Barbosa e Vladimir Diniz



Figura 29: Quadro Descritivo dos Níveis Depositionais - Perfil 2



- Perfil 2 - Rio Acima;
- Coordenadas: 20° 03' 0,01" S / 43° 48' 5,7" W;
- Altitude da Calha: 720 metros;
- Margem: esquerda.

Planície: altura em relação à calha: 4 metros; aproximadamente 60 metros de largura da margem até o T₁;

1 Nível silto-arenoso (areia fina); marrom acinzentado; presença de matéria orgânica.

Terraço Inferior (T₁) - Altura em relação à calha: 20 metros;

1 Nível areno-argiloso (areia fina); marrom amarelado; partes com material mais argiloso com mosqueamento avermelhado acinzentado; presença de matéria orgânica.

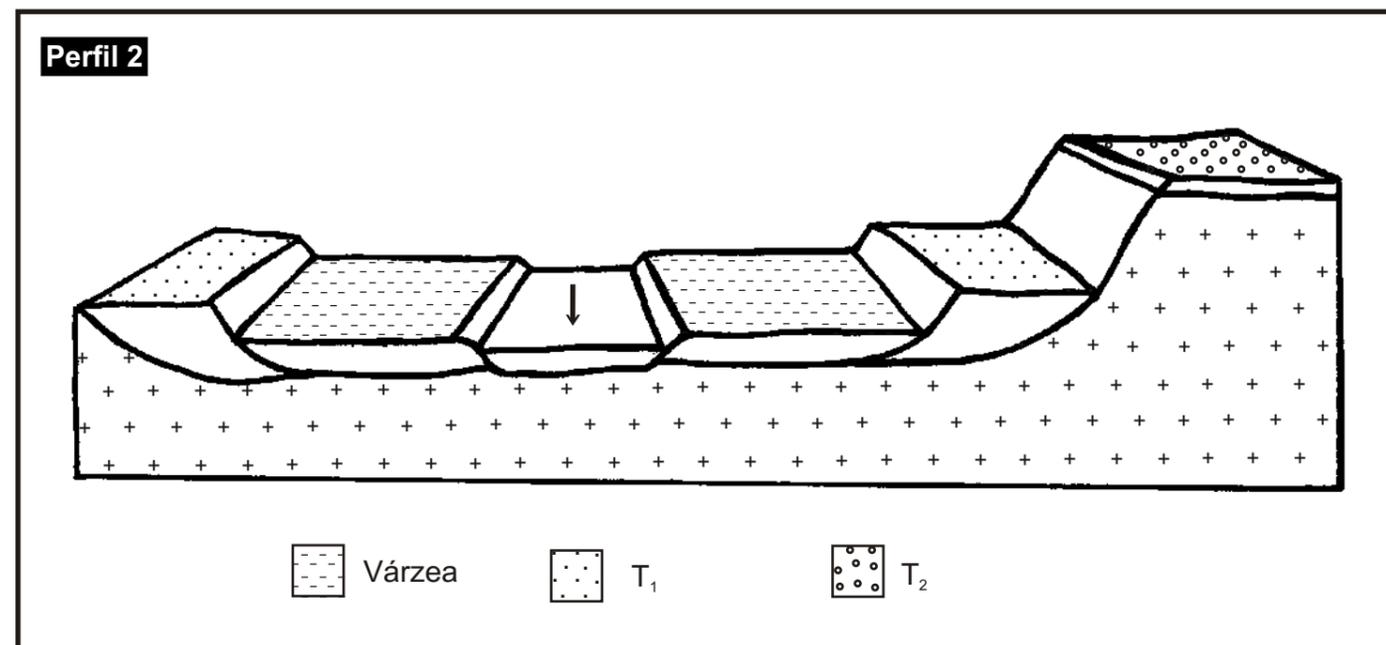
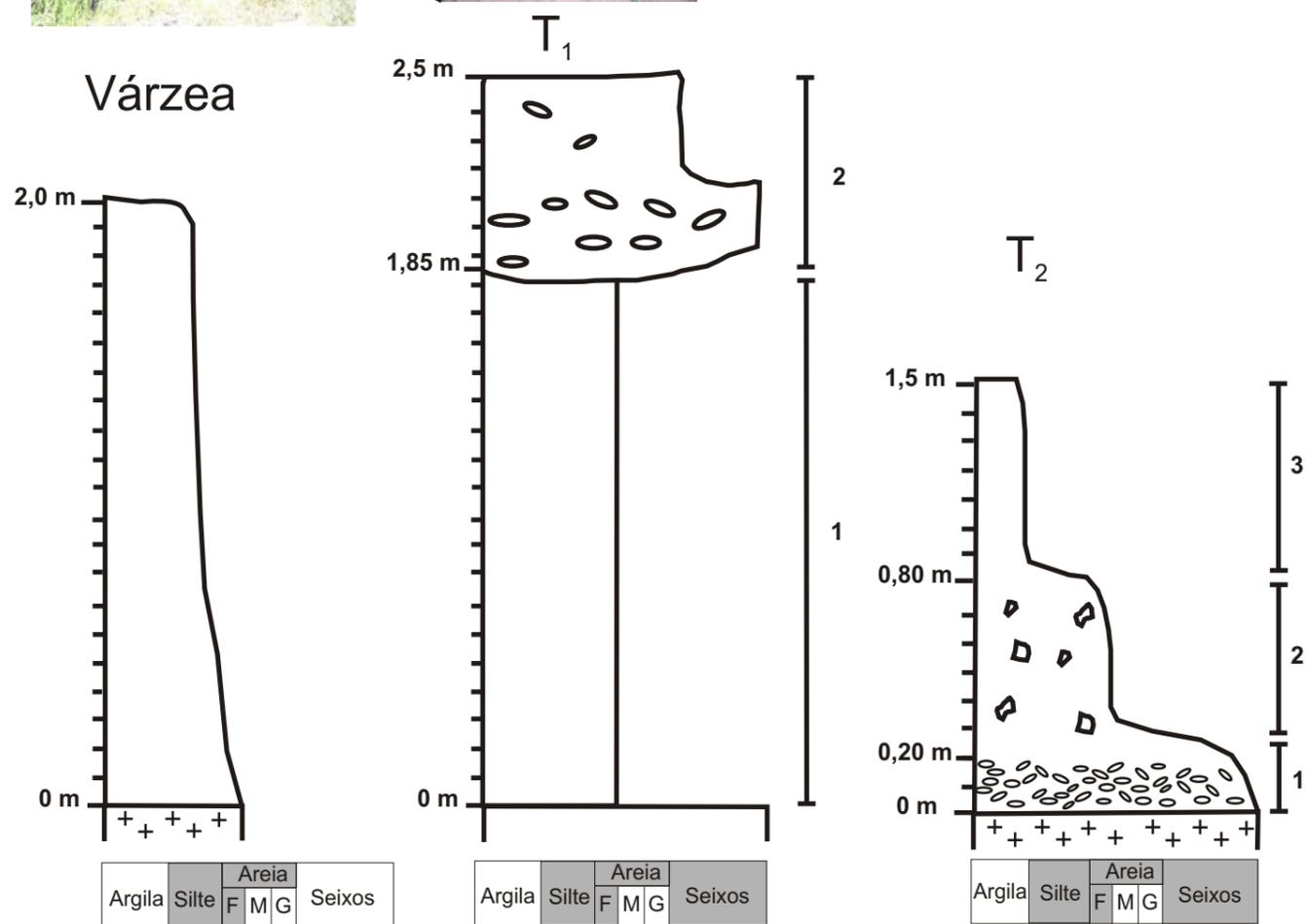
2 Nível arenoso (areia fina à média); marrom avermelhado partes com material mais argiloso marrom avermelhado; presença de seixos isolados arredondados a sub-arredondados de tamanho variado.

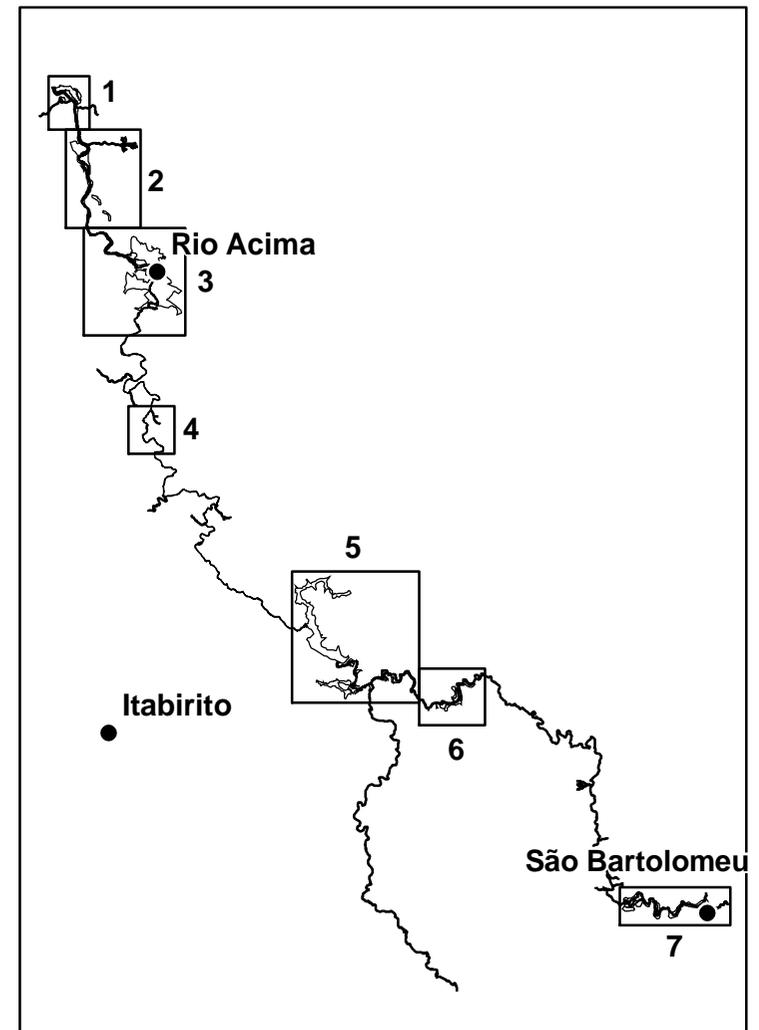
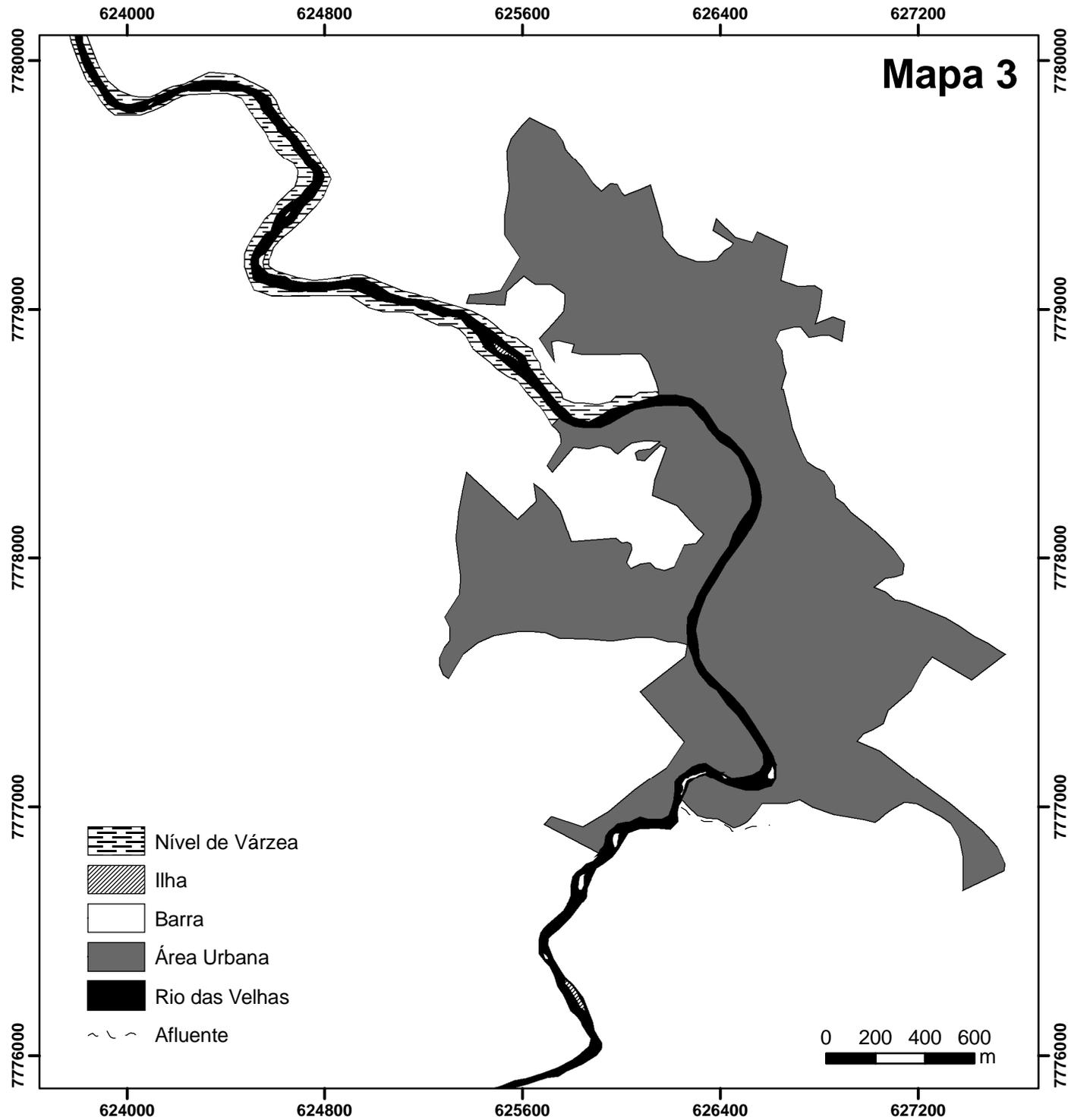
Terraço Intermediário (T₂) - Altura em relação à calha: 22 metros;

1 Nível de seixos de quartzo e itabirito arredondados, suportados pelos clastos, com comprimento médio de 2 cm; ferruginizado.

2 Nível areno-siltoso (areia fina) com abundantes fragmentos de filito pouco transportados com estratificação aparente; cinza amarelado.

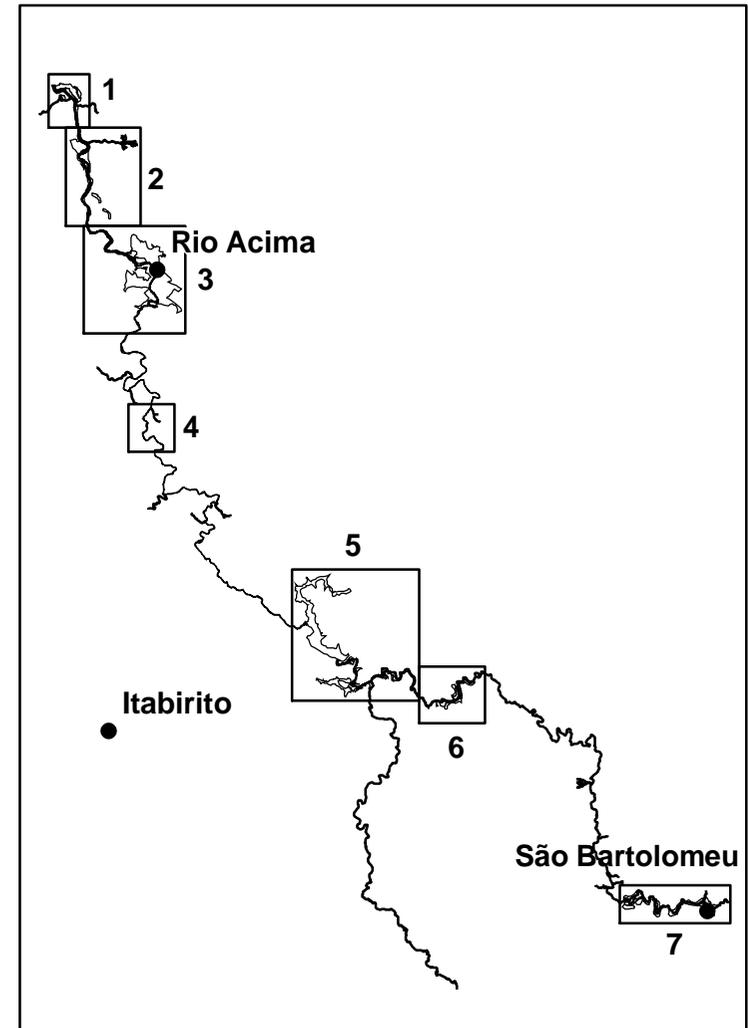
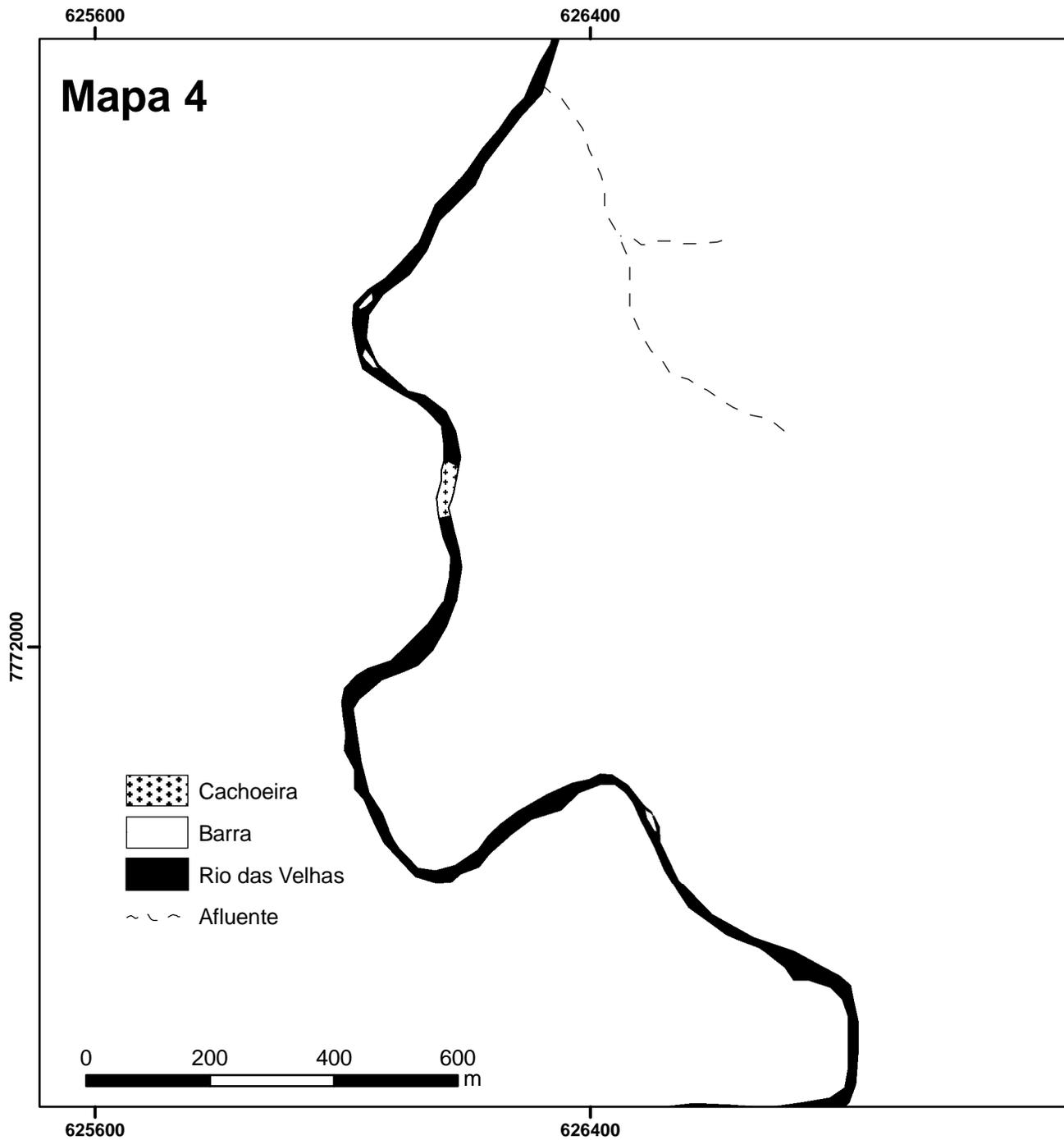
3 Nível siltoso; marrom claro.





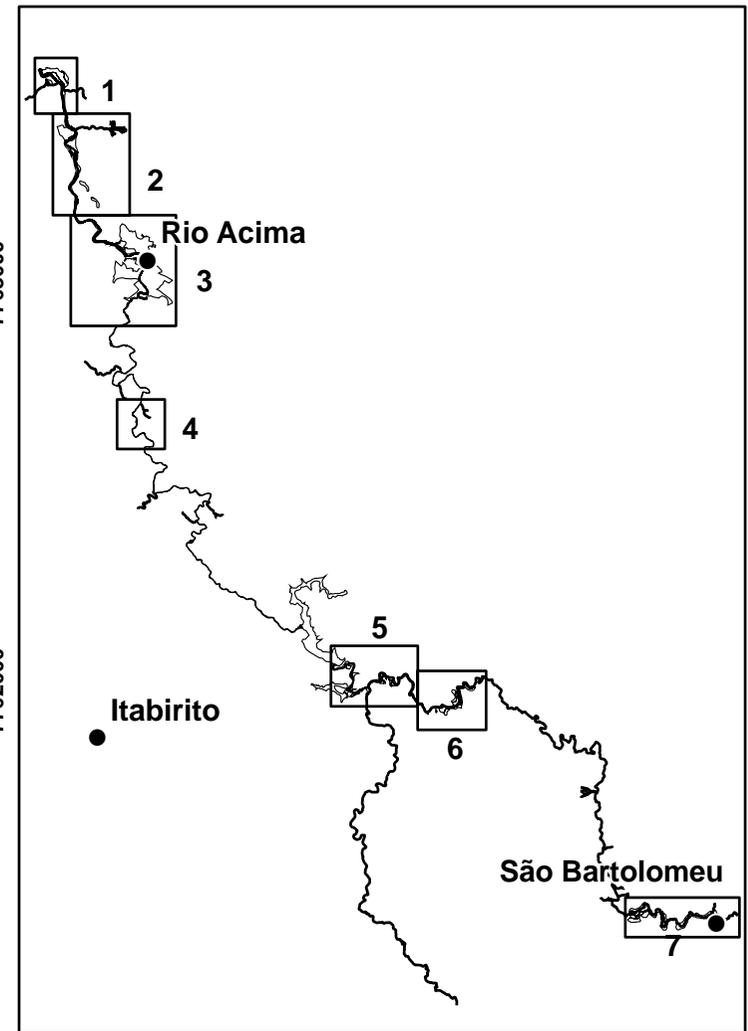
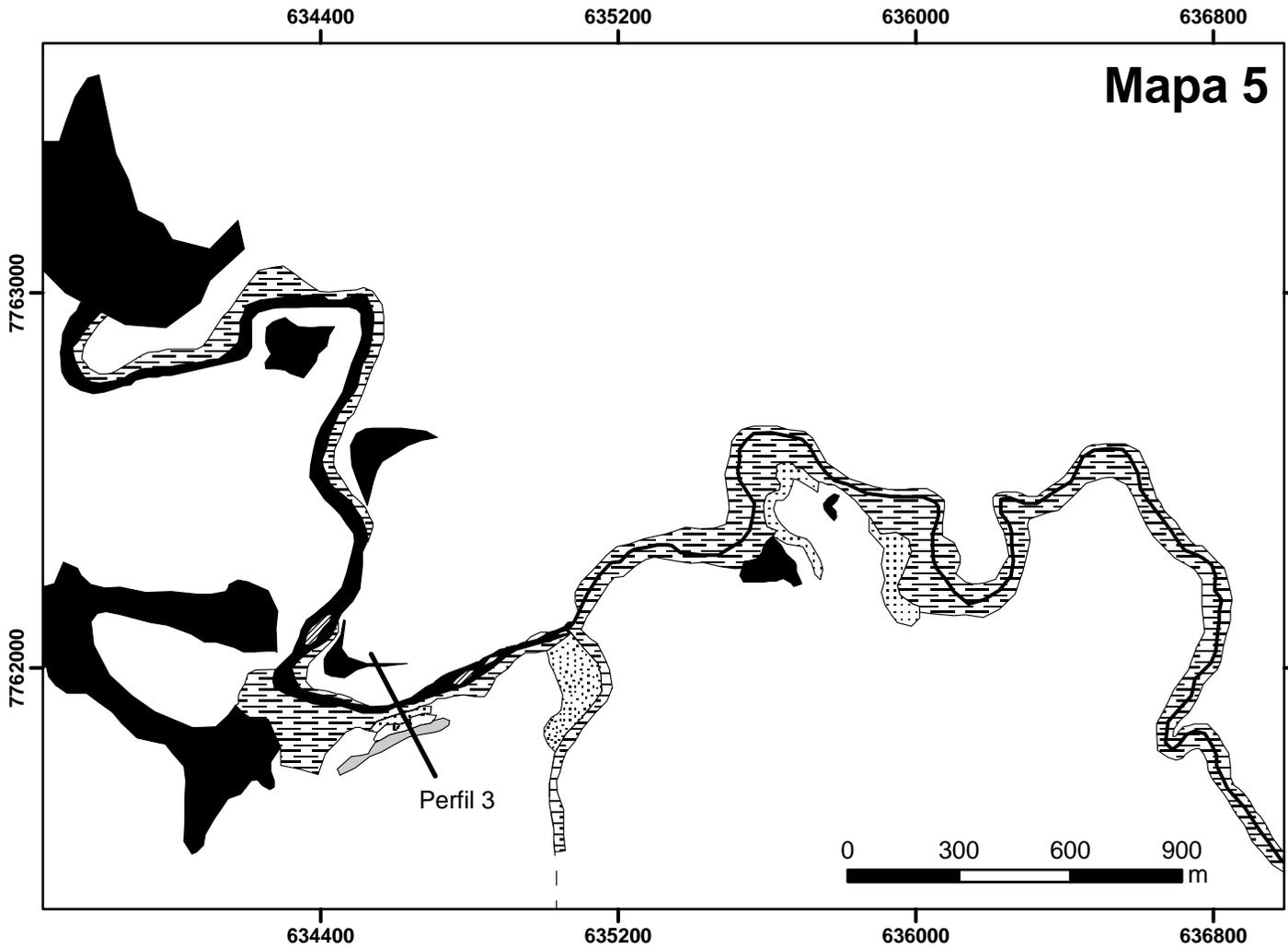
Dados do Mapa: UTM SAD 69 - Fuso 23
 Bases: Ortofoto escala 1:8000 - Data: 1989
 Autor: Gisele Barbosa e Vladimir Diniz

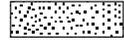
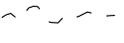
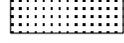
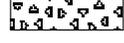




Dados do Mapa: UTM SAD 69 - Fuso 23
 Bases: Ortofoto escala 1:8000 - Data: 1989
 Autor: Gisele Barbosa e Vladimir Diniz



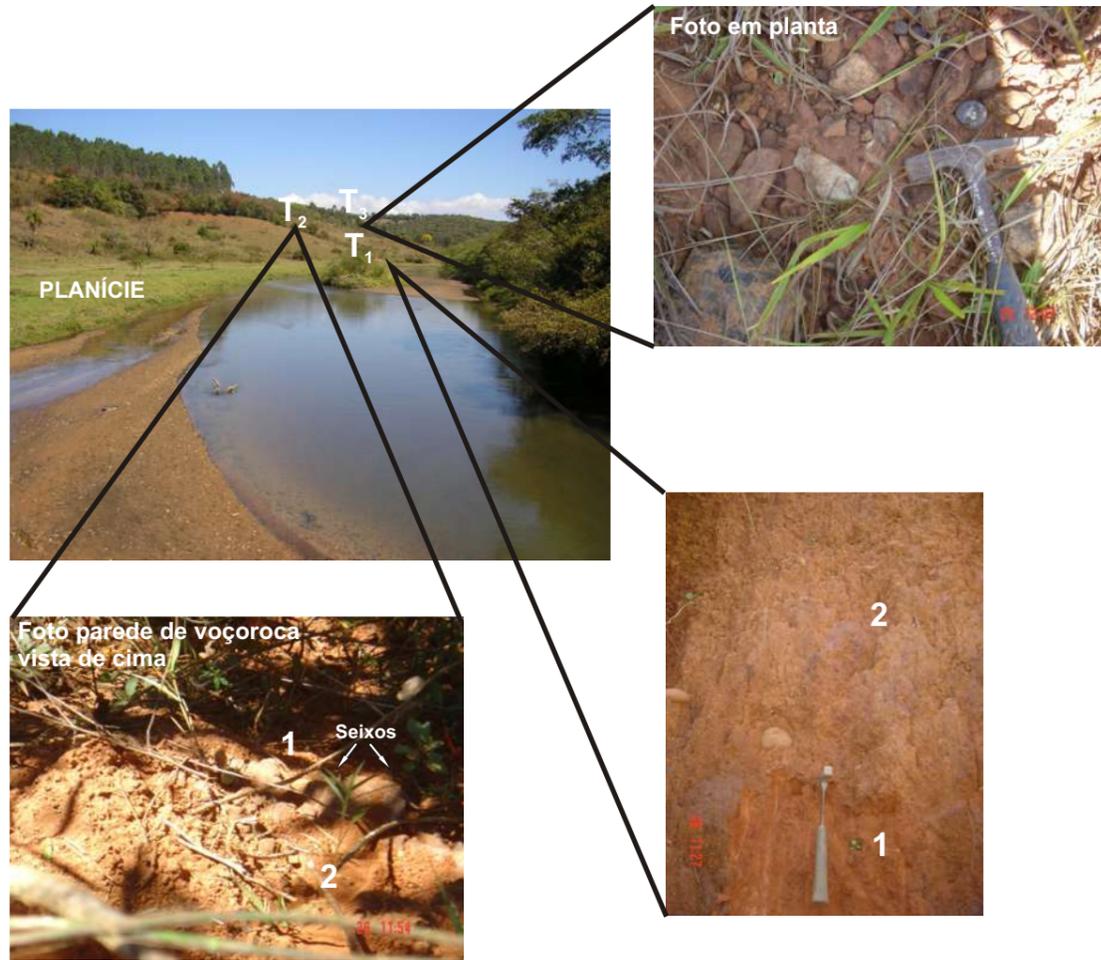


- | | | | |
|--|---------------------|---|---|
|  | Ilha |  | Nível Superior |
|  | Barra |  | Área Urbana |
|  | Extração de Areia |  | Rio das Velhas, Lagoa, Área alagada RRP |
|  | Nível de Várzea |  | Rio Maracujá |
|  | Nível Inferior |  | Rio das Velhas |
|  | Nível Intermediário | | |

Dados do Mapa: UTM SAD 69 - Fuso 23
 Bases: Ortofoto escala 1:8000 - Data: 1989
 Autor: Gisele Barbosa e Vladimir Diniz



Figura 33: Quadro Descritivo dos Níveis Deposicionais - Perfil 3



- Perfil 3 - Itabirito
 - Coordenadas: 20° 14' 3,7" S/ 43° 42' 31,04" W
 - Altitude da Calha: 890 metros

Planície: altura em relação a calha: 3 metros; aproximadamente 32 metros de largura;
 Nível areno-siltoso (areia muito fina e fina);

Terraço Inferior (T₁)- Altura em relação à calha: 13 metros;

1 Nível basal de seixos arredondados a sub-arredondados de quartzo e quartzitos, raros de itabirito com comprimento médio entre 2 cm e 7 cm; matriz de areia grossa.

2 Nível areno-argiloso marrom avermelhado (areia fina à média).

Terraço Intermediário (T₂) - Altura em relação à calha: 15 metros;

1 Nível de seixos de quartzo arredondados a sub-arredondados, com comprimento médio de 30 cm; matriz arenosa (fina à média); marrom avermelhado.

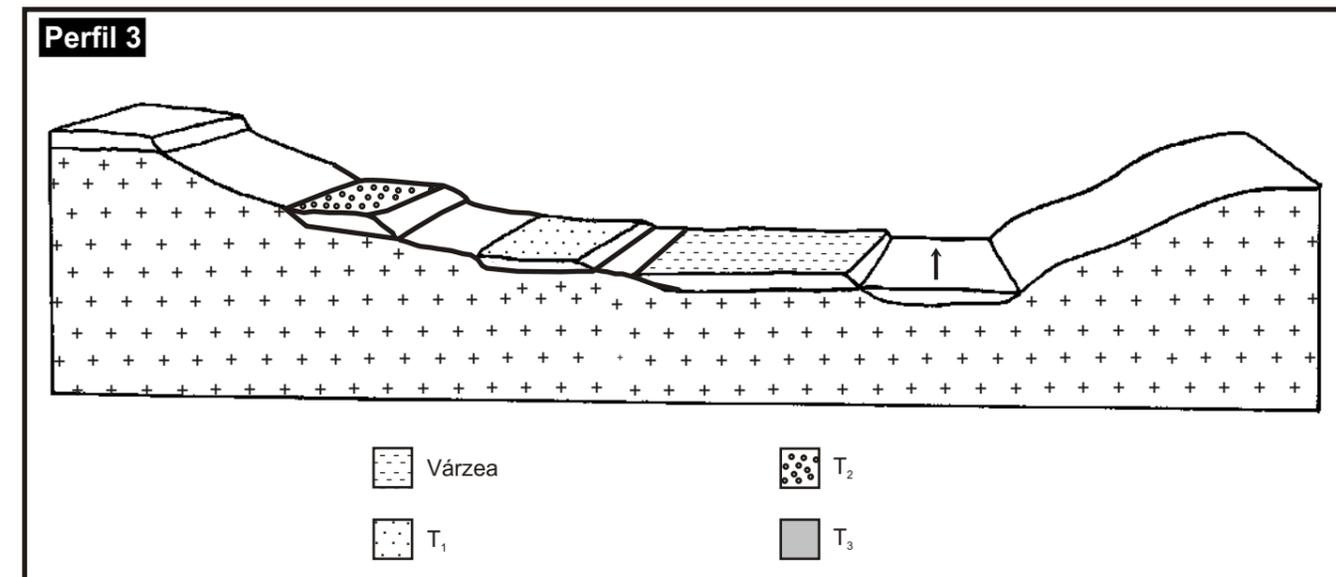
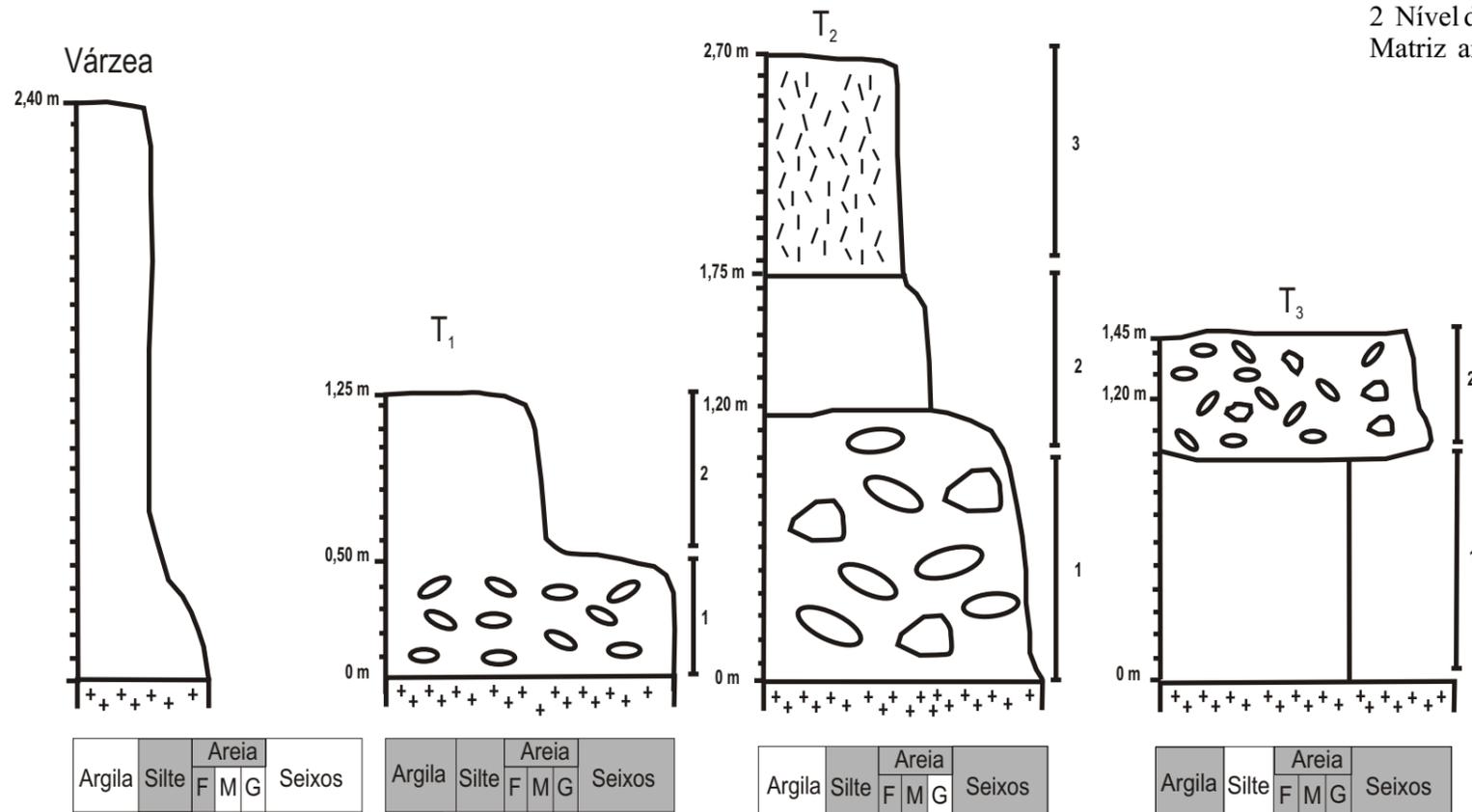
2 Nível arenoso; areia fina à média marrom avermelhado.

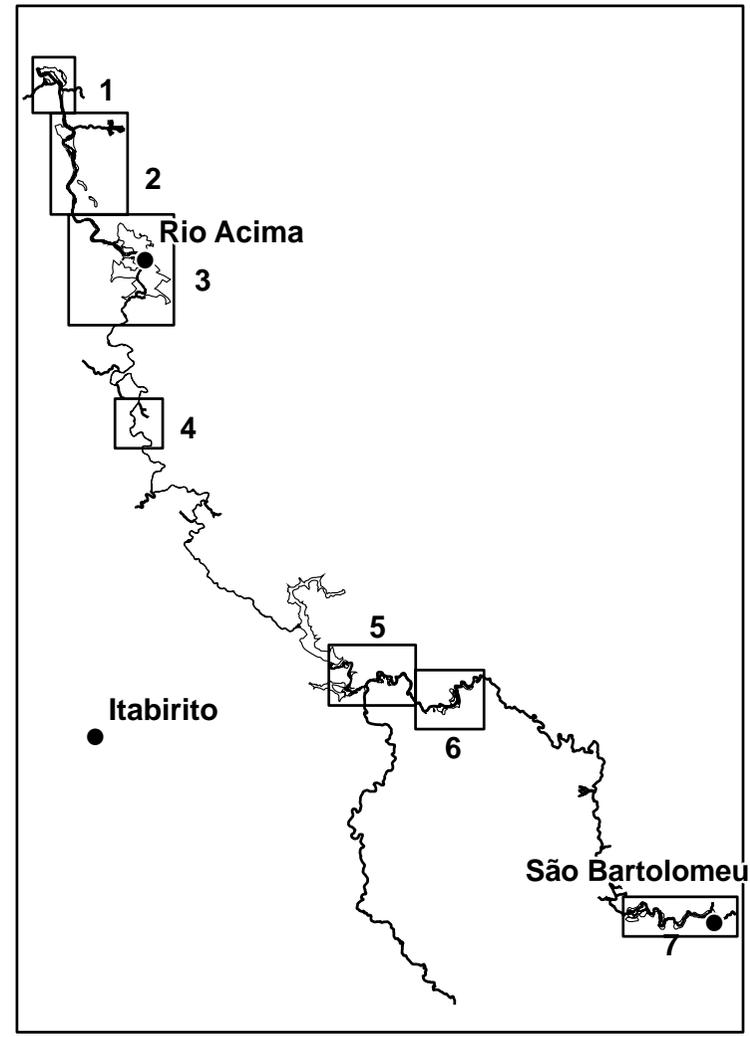
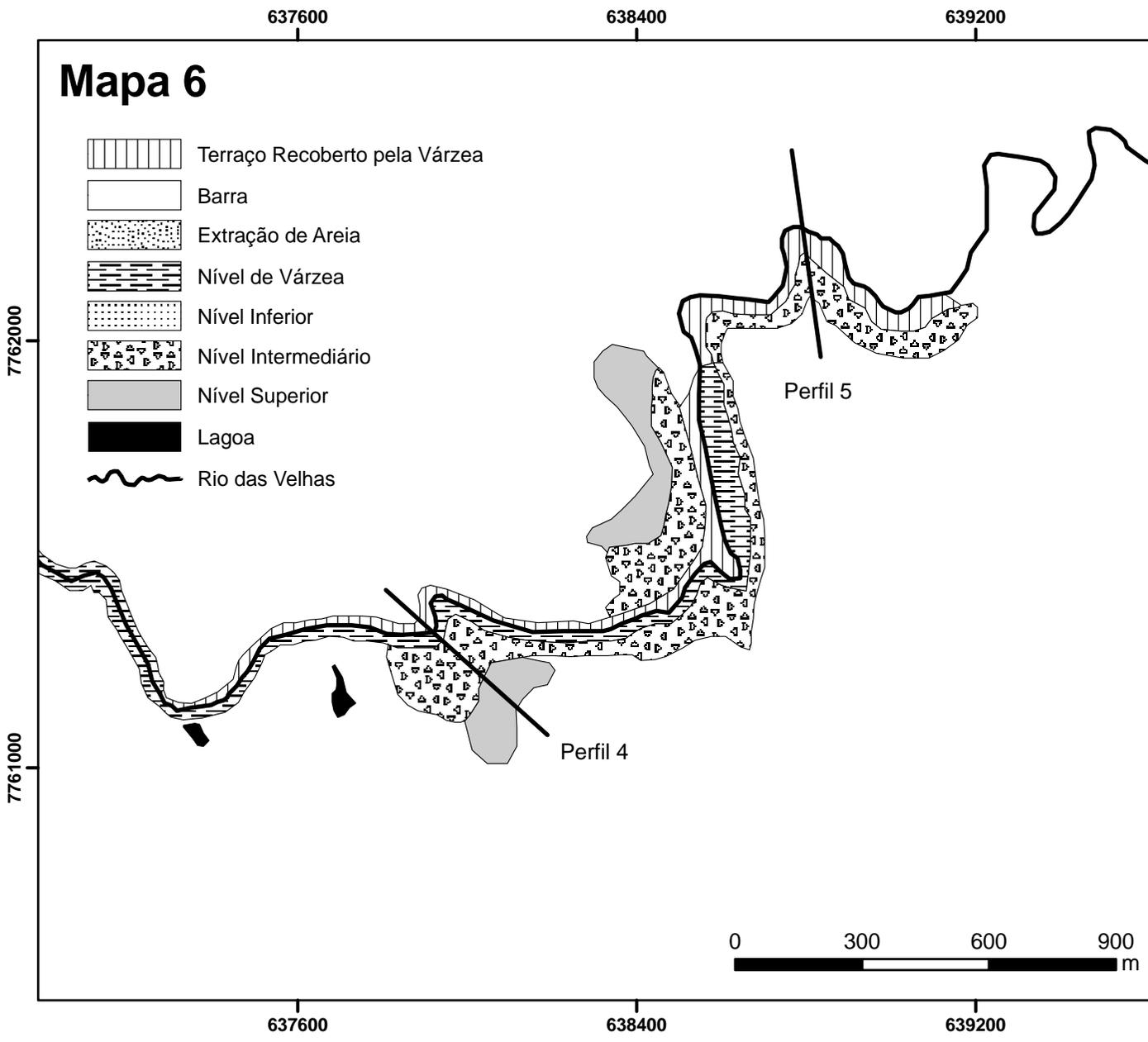
3 - Colúvio arenoso-siltoso (areia fina); marrom claro avermelhado.

Terraço Superior (T₃) - Altura em relação à calha: 40 metros;

1 Nível areno-argiloso (areia média a grossa) marrom acinzentado; rico em matéria orgânica.

2 Nível de seixos arredondados; poucos de quartzo e abundantes de itabirito, com comprimento médio de 10cm; Matriz arenosa (areia fina a média); marrom acinzentada.

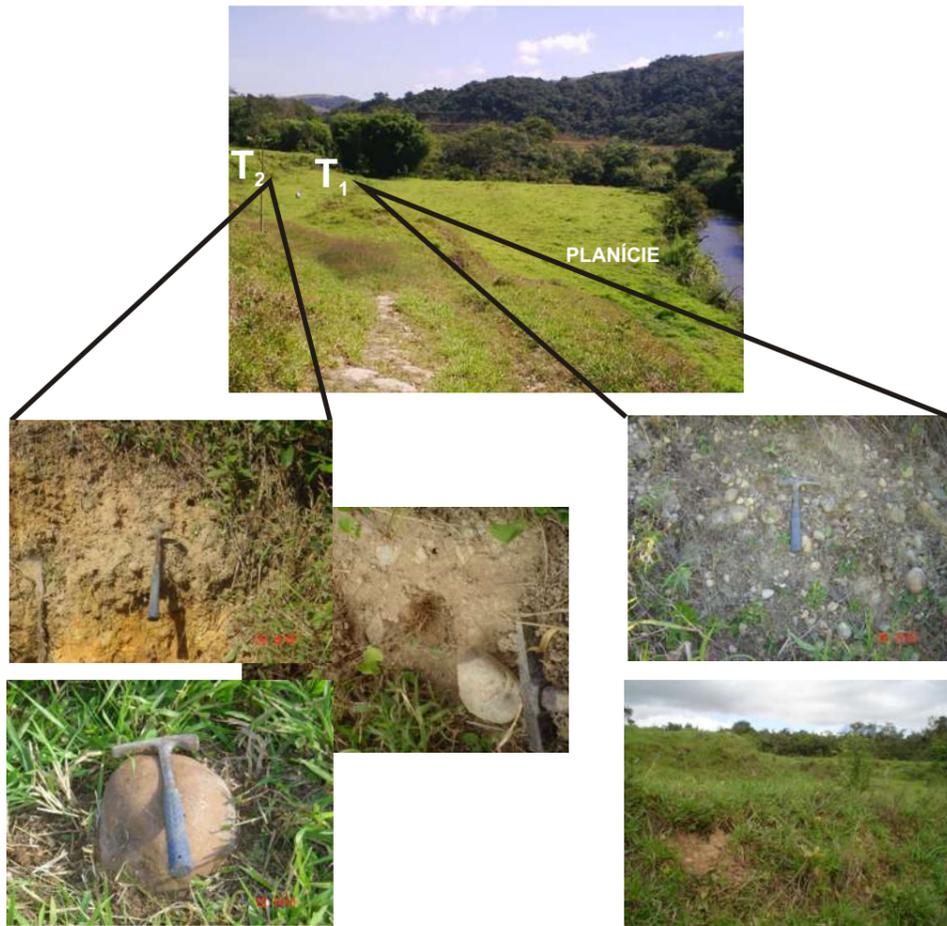




Dados do Mapa: UTM SAD 69 - Fuso 23
 Bases: Ortofoto escala 1:8000 - Data: 1989
 Autor: Gisele Barbosa e Vladimir Diniz



Figura 35: Quadro Descritivo dos Níveis Depositionais - Perfil 4



- Perfil 4 - Glaura;
- Coordenadas: 20° 14' 29,3" S/ 43° 40' 38,9" W
- Altitude da calha: 910 metros
- Margem: esquerda

Planície: altura em relação a calha: 5 metros; aproximadamente 50 metros de largura;
Nível arenoso (areia fina á média), marrom amarelado, presença de matéria orgânica.

Terraço Inferior (T₁) - Altura em relação a calha: 24 metros.

1 Nível de seixos de quartzo arredondados e sub-arredondados; suportados por clastos, pouco seleccionados de comprimento variado entre 5cm e 40 cm; por vezes com matriz arenosa (areia média) marrom clara; presença de lentes areno-argilosas marrom amareladas.

2 Nível arenoso (areia fina e média) marrom amarelado.

Terraço Intermediário (T₂) - Altura em relação a calha: 30 metros.

1 Nível de seixos de quartzo arredondados e sub-angulosos, com comprimento médio de 30 cm; matriz arenosa (fina e média) marrom avermelhada.

2 Nível de seixos de quartzo e itabirito arredondados com comprimento médio de 10cm); suportados pelos clastos; por vezes com matriz arenosa (fina à média) marrom acinzentada.

3 Nível arenoso (fina e média) cinza amarelado.

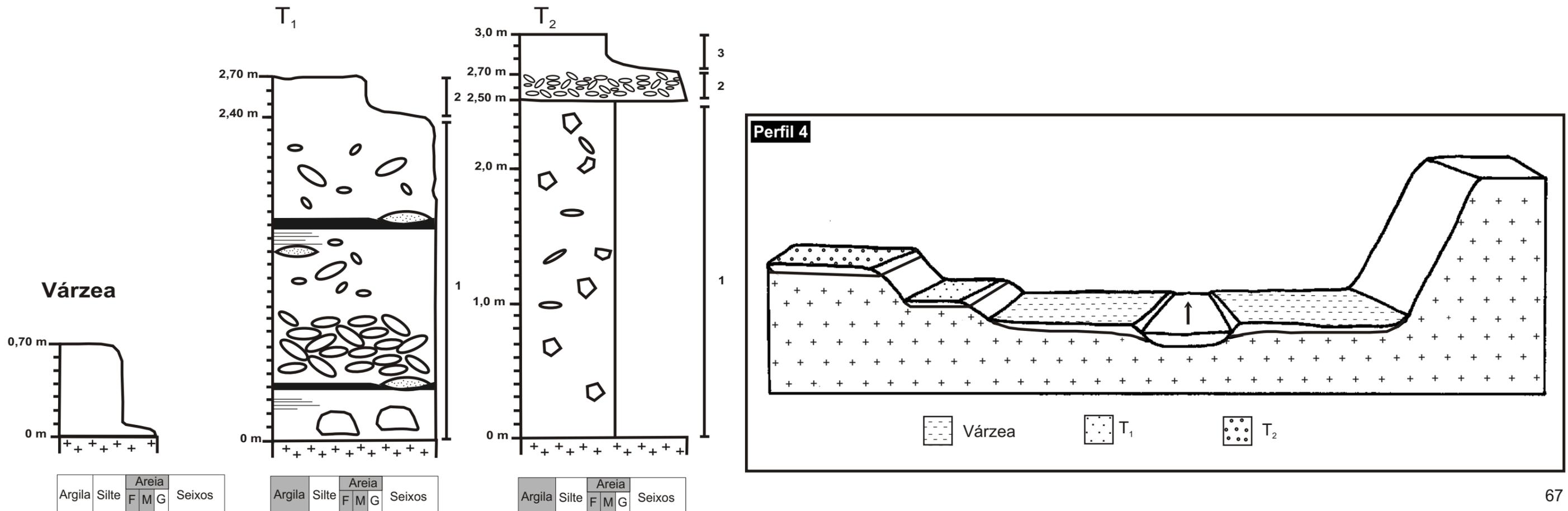
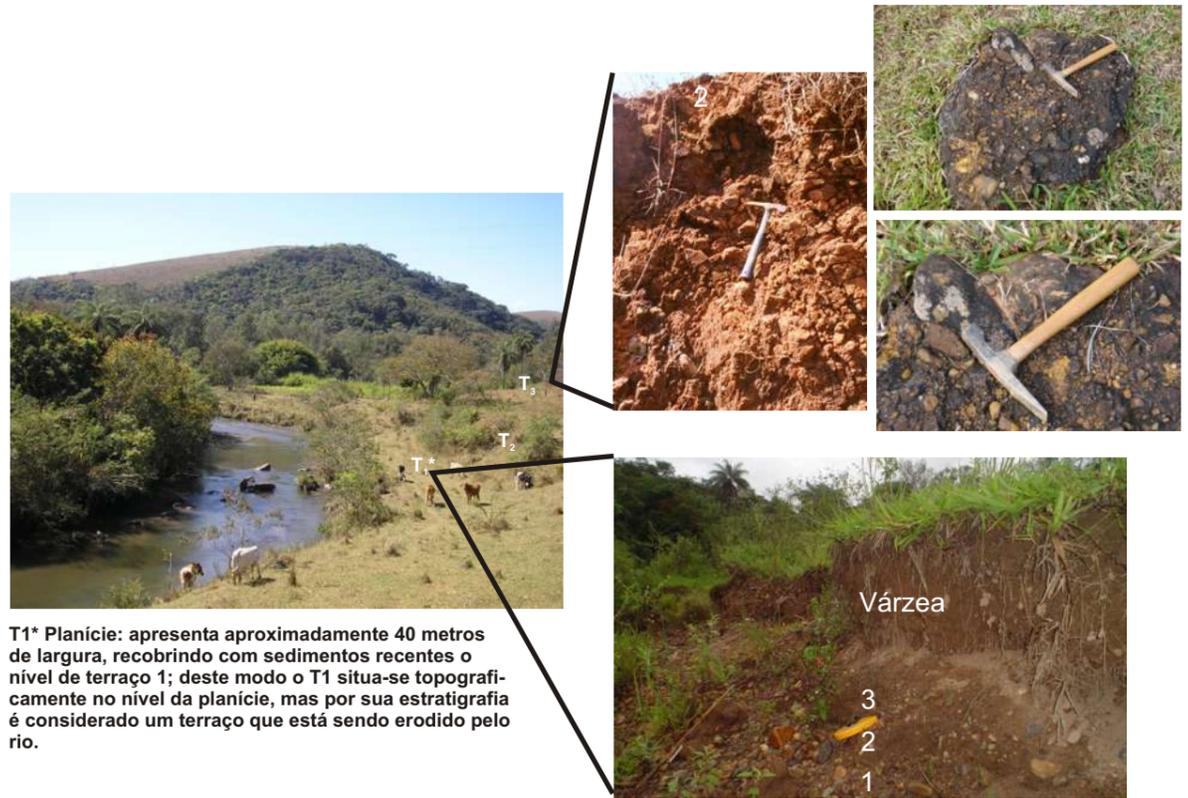


Figura 36: Quadro Descritivo dos Níveis Depositionais - Perfil 5



T1* Planície: apresenta aproximadamente 40 metros de largura, recoberto com sedimentos recentes o nível de terraço 1; deste modo o T1 situa-se topograficamente no nível da planície, mas por sua estratigrafia é considerado um terraço que está sendo erodido pelo rio.

- Perfil 5 - Glaura
- Coordenadas: 20° 13' 56,7''S/ 43° 40' 16,69''W
- Altitude da Calha: 915 metros
- Margem: esquerda

Planície: altura em relação à calha: 4 metros; aproximadamente 40 metros de largura da margem até o T₁; Nível areno-siltoso (areia muito fina); marrom amarelada, presença de matéria orgânica.

Terraço Inferior (T₁) - Altura em relação à calha: 4 metros

1 Nível basal de seixos arredondados de quartzo e itabirito, comprimento variado entre 4 cm e 10cm; matriz arenosa (média à grossa); marrom acinzentado.

2 Nível areno-siltoso (areia muito fina); marrom amarelado.

3 Nível de seixos de quartzo abundante, com comprimento médio de 10 cm; e poucos de itabirito com comprimento médio de 7 cm; matriz arenosa (areia grossa).

Terraço Intermediário (T₂) - Altura em relação à calha: 12 metros

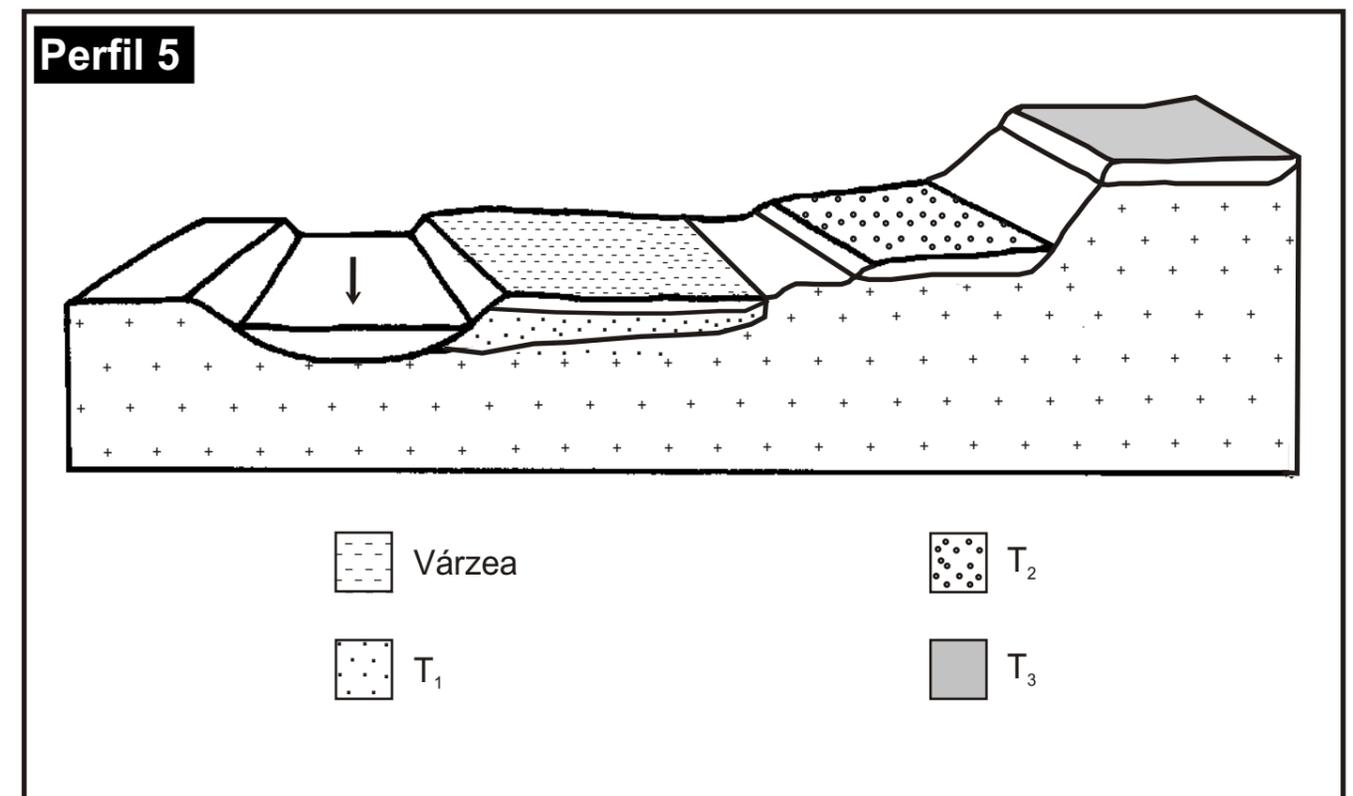
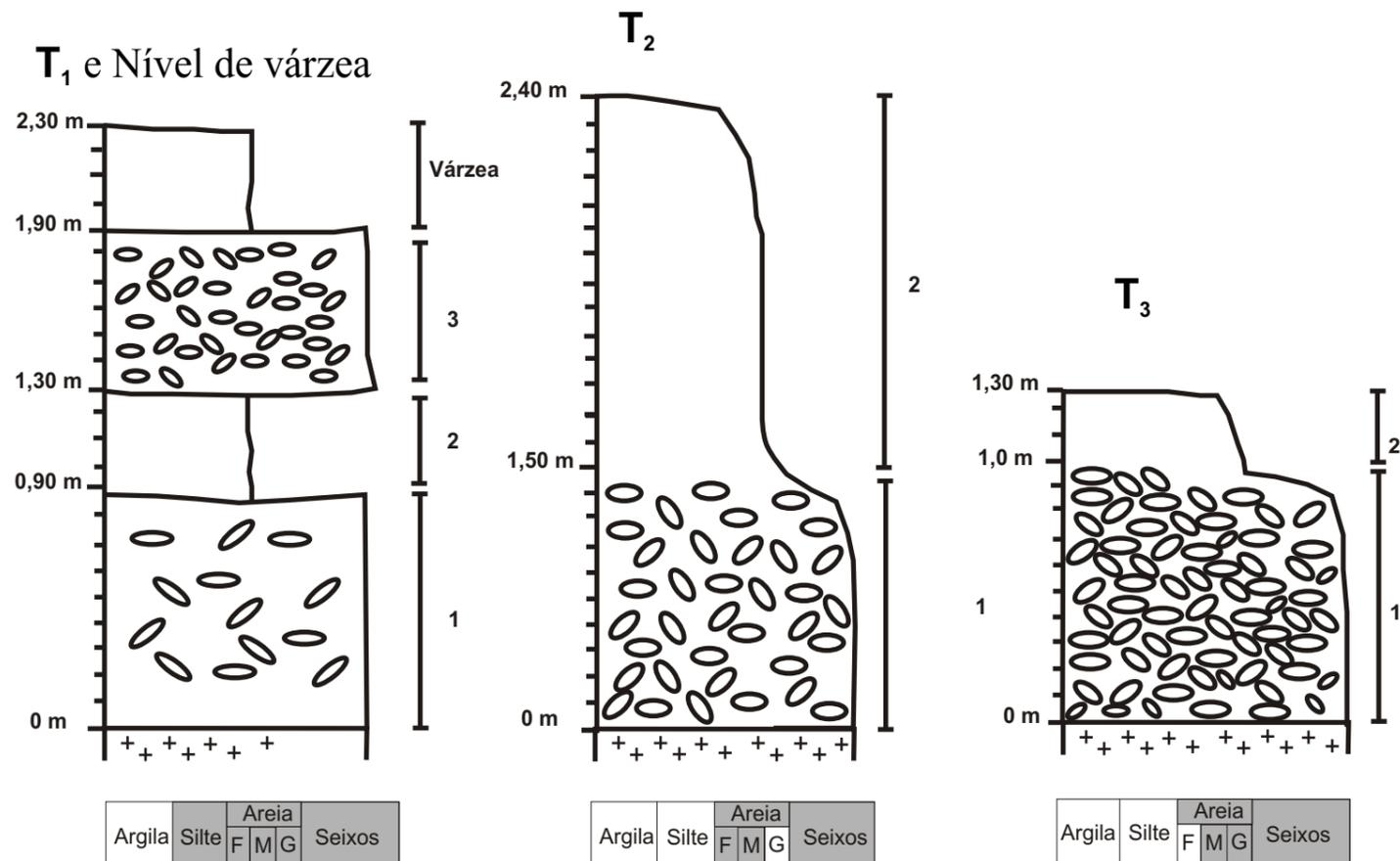
1 Nível basal de seixos arredondados de quartzo e itabirito com comprimento médio de 10 cm; matriz arenosa (fina à média) marrom clara avermelhada.

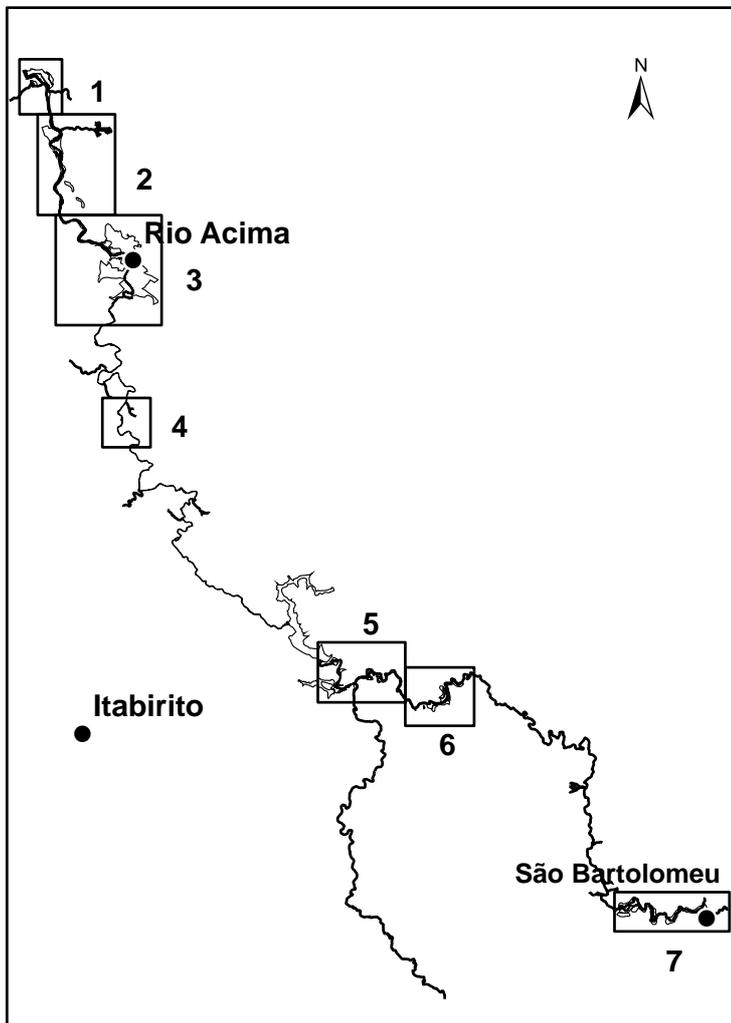
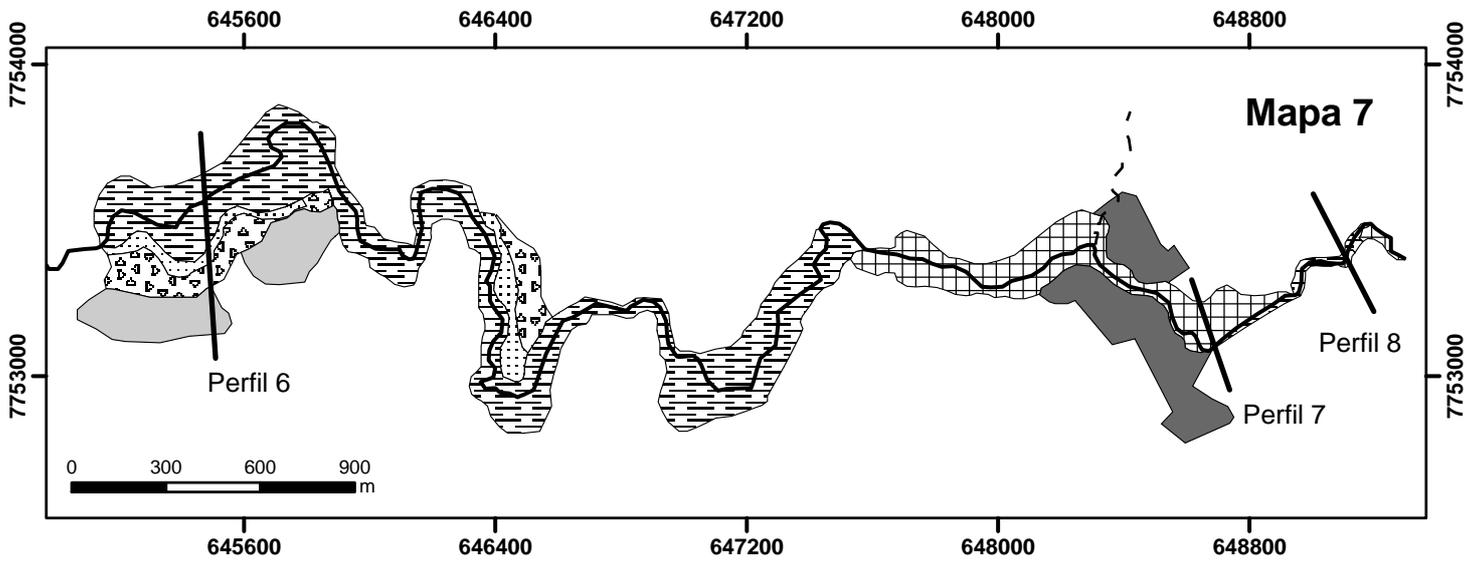
2 Nível arenoso (areia fina à média) marrom acinzentado.

Terraço Superior (T₃) - Altura em relação à calha: 30 metros

1 Nível basal de seixos de itabirito e poucos de quartzo arredondados a sub-arredondados suportados pelos clastos com comprimento médio de 12 cm; concreções ferruginosas e matéria orgânica.

2 Nível arenoso (areia média a grossa) marrom avermelhado, abundância de ferro.





-  Nível Alterado
-  Terraço Recoberto pela Várzea
-  Nível de Várzea
-  Nível Inferior
-  Nível Intermediário
-  Nível Superior
-  Área Urbana
-  Afluente
-  Rio das Velhas

Dados do Mapa: UTM SAD 69 - Fuso 23
 Bases: Ortofoto escala 1:8000 - Data: 1989
 Autor: Gisele Barbosa e Vladimir Diniz

Figura 38: Quadro Descritivo dos Níveis Depositionais - Perfil 6



T₃

- Perfil 6 - São Bartolomeu;
 - Coordenadas: 20° 18' 40,27" S/ 43° 36' 23,15" W
 - Altitude da Calha: 950 metros
 - Margem: esquerda

Planície: altura em relação a base: 5 metros; aproximadamente 150 metros de largura até o T₁;
 Nível arenoso (areia média e grossa).

Terraço Inferior (T) - Altura em relação a base: 10 metros.

1 Nível areno-argiloso (areia fina à média) marrom claro; estratificação plano-paralela; seixos esparsos de quartzo arredondados com comprimento médio de 3 cm.

Terraço Intermediário (T) - Altura em relação a base: 20 metros.

1 Nível de seixos de quartzo sub-arredondados, com comprimento médio de 20 cm; matriz arenosa (fina à média); marrom amarelada; presença de matacões isolados com comprimento médio de 40 cm.

2 Nível arenoso (areia fina à média); marrom amarelado.

3 Nível de seixos arredondados de quartzo e poucos de itabirito suportados pelos clastos, com comprimento médio de 15 cm, por vezes matriz arenosa (fina à média); marrom amarelada.

Terraço Superior (T) - Altura em relação a base: 50 metros.

1 Nível de seixos de quartzo e abundantes de itabirito arredondados a sub-arredondados, com comprimento médio entre 7 cm e 15 cm; matriz arenosa (média e grossa) abundância de ferro.

2 Nível areno-siltoso (areia fina à média) amarelo avermelhado.



T₂



T₁

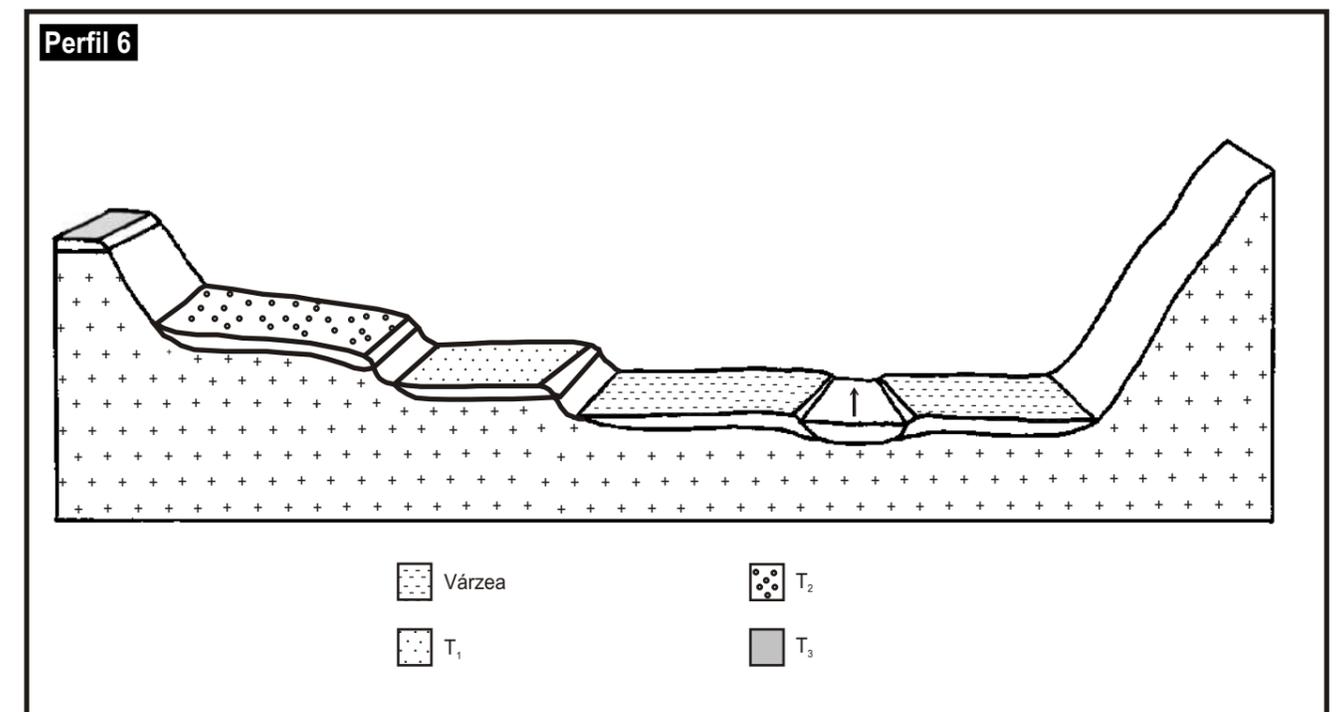
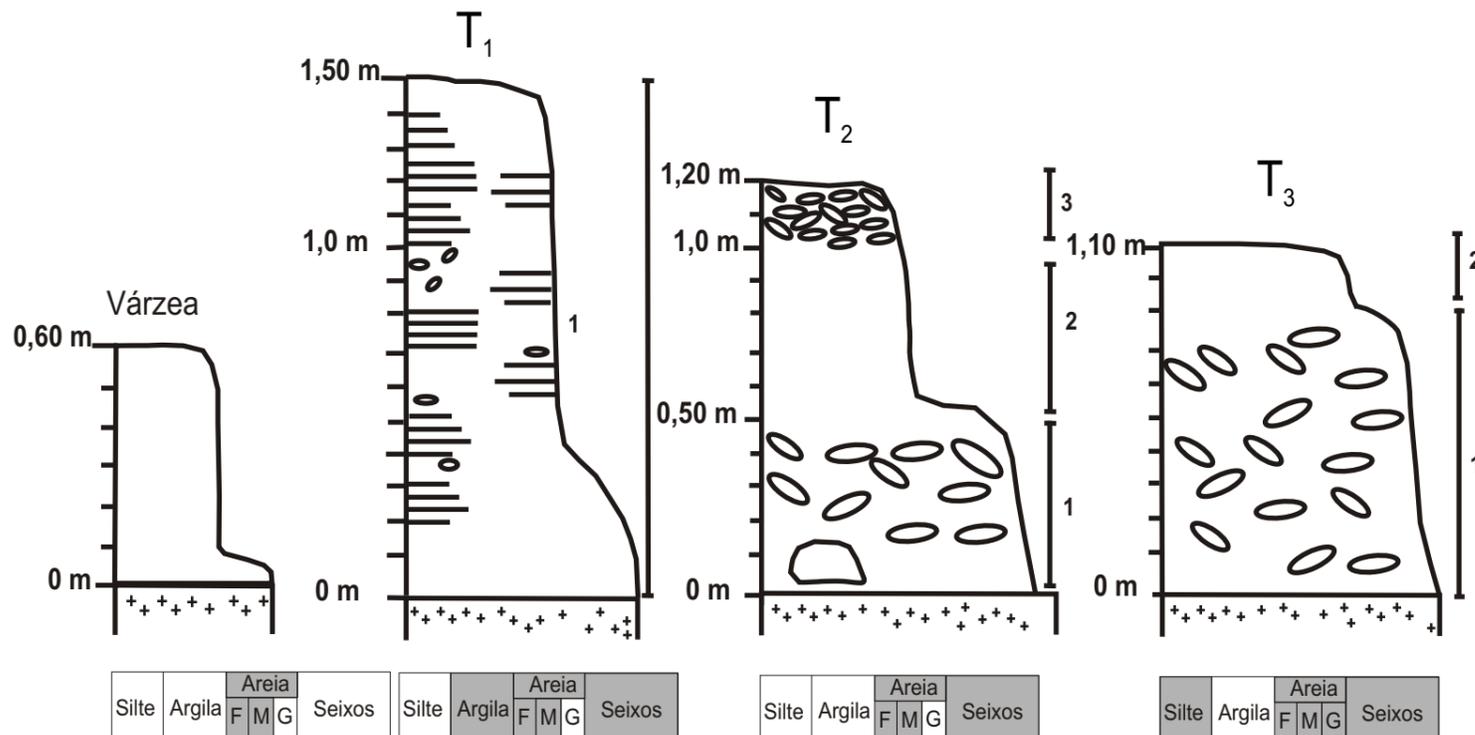
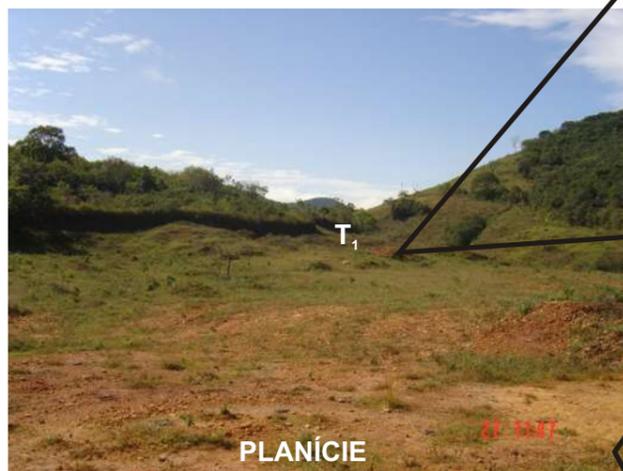


Figura 39: Quadro Descritivo dos Níveis Depositionais - Perfil 7



- Perfil 7 -São Bartolomeu
- Coordenadas: 20° 18' 49,87"S/ 43° 34' 35,07"W
- Altitude da Calha: 975 metros
- Margem: direita

Planície: altura em relação à calha: 4 metros (*remexido por atividade minerária*) ; aproximadamente 80 metros de largura da margem até T₁;

- 1 Nível arenoso (areia média a fina); marrom amarelada.
- 2 Nível de seixos de quartzo e itabirito arredondados, com comprimento médio de 10cm; suportados pelos clastos.

Terraço Inferior (T₁) Remexido por atividade minerária -- Altura em relação a calha: 15 metros.

- 1 Nível de seixos sub-arredondados e angulosos de tamanho variado; seixos de quartzo, quartzito, e raros de itabirito; com comprimento médio de 15 cm e matações 40 cm; matriz arenosa; matriz arenosa (média e grossa) amarelada.
- 2 Nível de seixos de quartzo e itabirito arredondados (comprimento médio: 10cm); suportados pelos clastos.

O.B.S.: Não foram construídos perfis estratigráficos por que os níveis encontram-se alterados, portanto não guardam características naturais dos depósitos.

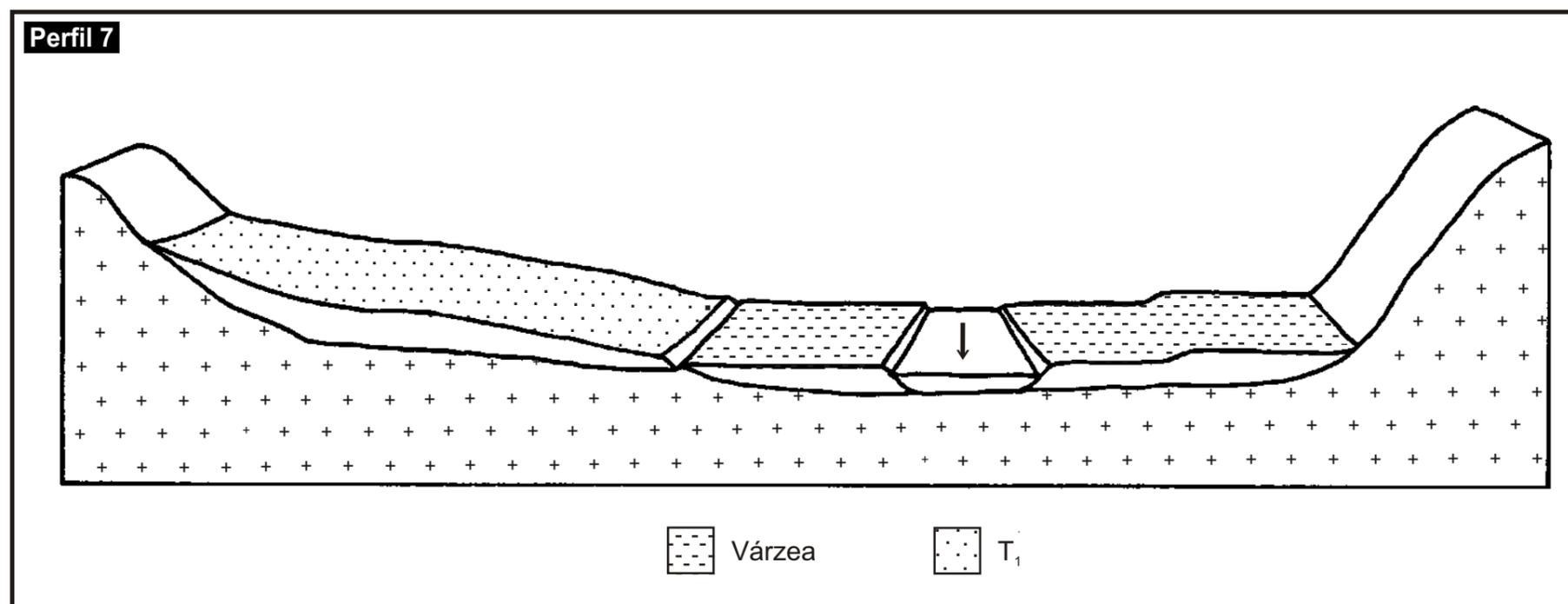


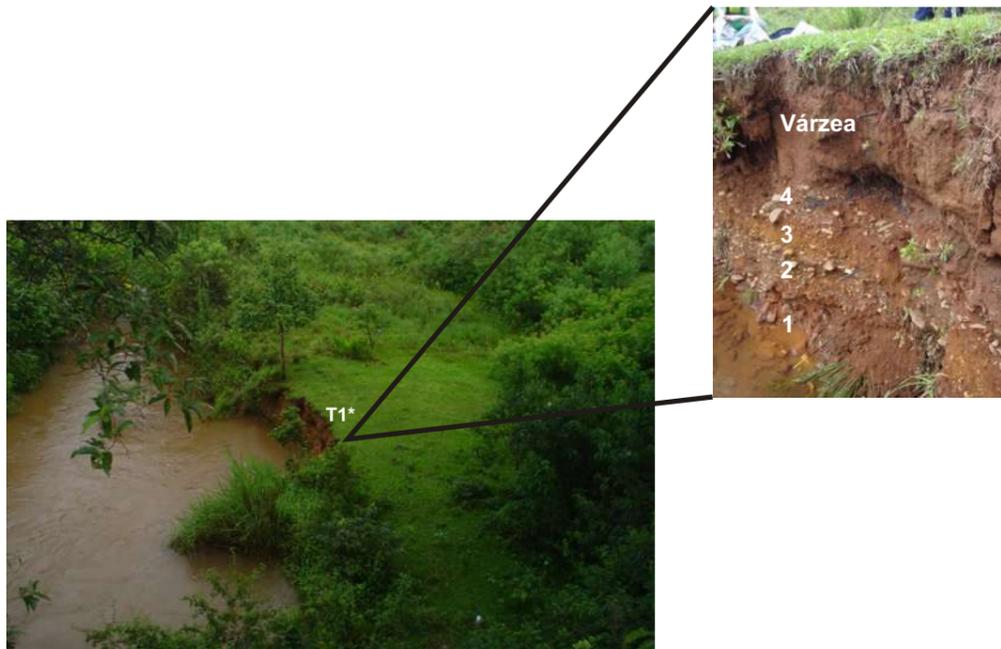
Figura 40: Quadro Descritivo dos Níveis Depositionais - Perfil 8

- Perfil 8 - São Bartolomeu
- Coordenadas: 20° 18' 41,09"S / 43° 34' 19,06"
- Altitude da Calha: 980 metros
- Margem: esquerda

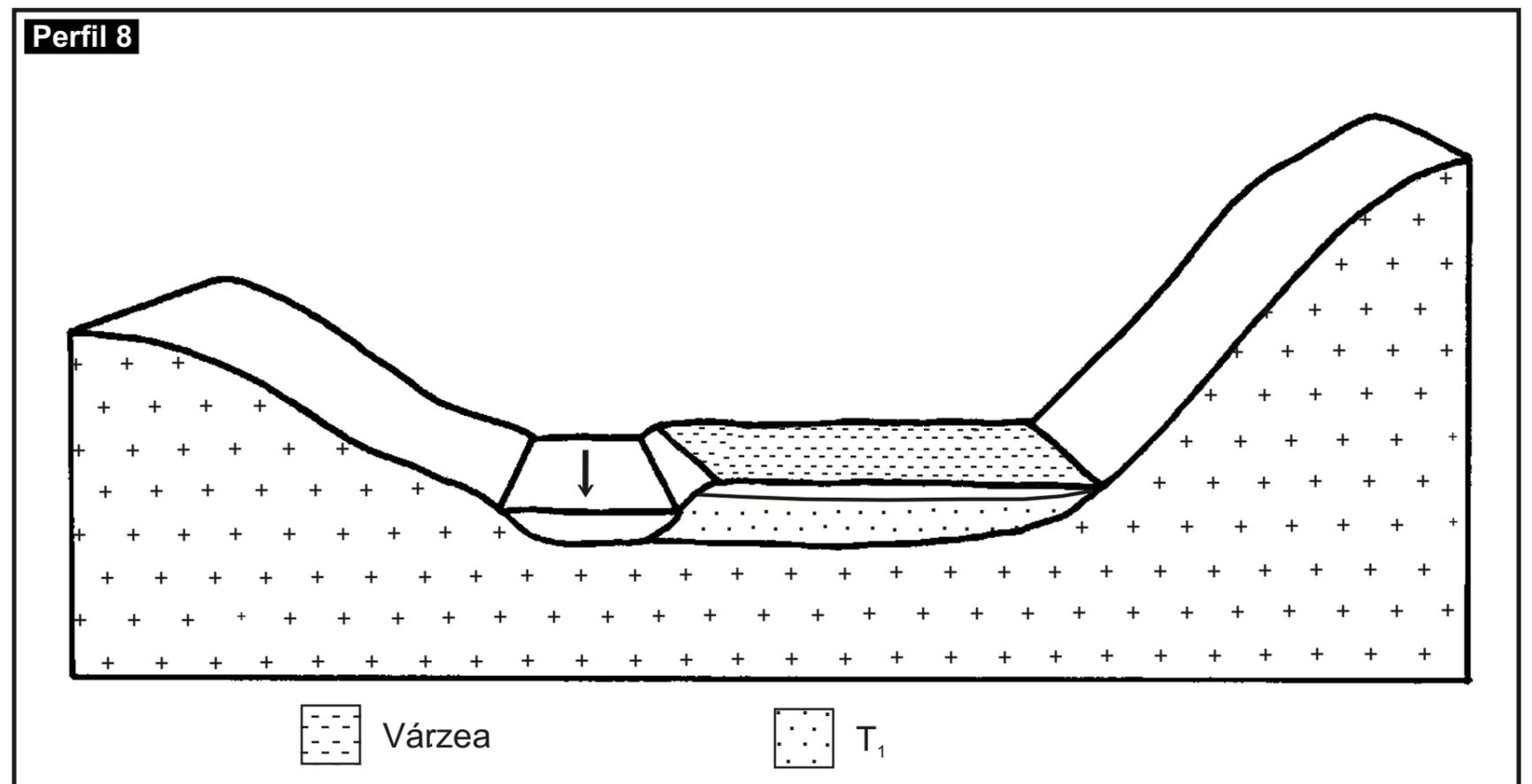
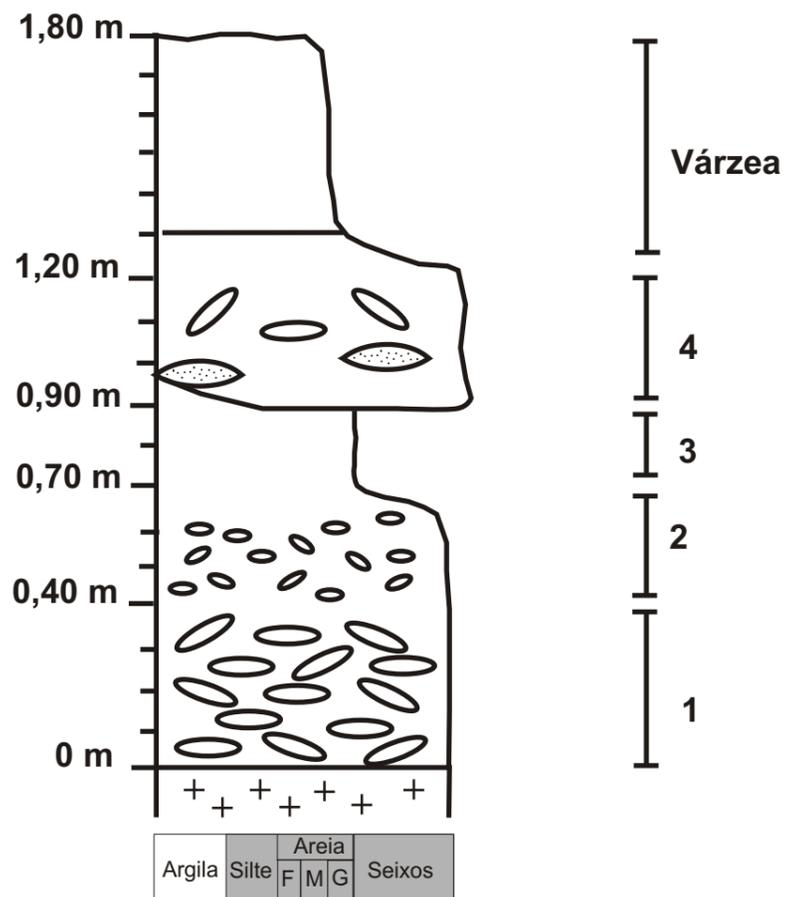
Nível de várzea - Altura em relação a calha: 5 metros; aproximadamente 30 metros de largura.
 Nível arenoso (areia fina à média); presença de matéria orgânica (nível de deposição atual).

Terraço Inferior (T₁) - Altura em relação a calha: 5 metros.

- 1 Nível de seixos suportados pelos clastos, com comprimento médio de 10 cm; matriz de areia grossa marrom.
- 2 Nível de seixos arredondados de quartzo e itabirito, com comprimento médio de 4 cm; presença de lentes de areia grossa de itabirito; cinza escuro.
- 3 Nível arenoso (areia grossa) ferruginizado; marrom avermelhado.
- 4 Nível de seixos angulosos e sub-arredondados de quartzo e itabirito, com comprimento médio entre 2cm e 7,5cm; matriz areno-siltosa (areia média a grossa);



T1* Planície: apresenta aproximadamente 30 metros de largura, recoberto com sedimentos recentes o nível de terraço 1; deste modo o T1 situa-se topograficamente no nível da planície, mas por sua estratigrafia é considerado um terraço que está sendo erodido pelo rio.



6.1.2. Análise da distribuição dos níveis deposicionais aluviais

A análise das seqüências deposicionais dos níveis de terraços, ao longo do perfil longitudinal dos mesmos, permitiu a identificação de variações na petrografia, no comprimento dos seixos e na altura das bases. As variações destas últimas resultam em rupturas no perfil longitudinal marcadas por fortes desnivelamentos, coincidentes com falhas geológicas, evidenciando a resposta da dinâmica fluvial aos processos da tectônica cenozóica. As anomalias ocorridas nos perfis longitudinais dos níveis de terracamento podem ser observadas na Figura 41 e os dados quantitativos correspondentes (cotas e alturas) se encontram na Figura 42.

Primeiramente, a distribuição do Terraço Inferior sofre uma visível anomalia entre Perfil 8 e Perfil 7. Este terraço passa de uma altitude de 985 m para 990 m, não sofrendo nenhuma deformação até Perfil 6, a jusante. Entre o Perfil 5 e 4 ocorre outra anomalia, onde o nível altimétrico se eleva em 14 m, passando de 920 m para 934 m, o que permite inferir a ocorrência de um soerguimento de bloco local iniciado na fase pós-Terraço Inferior e que desnivelou os registros deste e do Terraço Intermediário. O desnivelamento dos terraços nesta área é semelhante. Além disso, o Terraço Inferior, como pode se observar nos Perfis 5 e 8, apresenta um desnível ínfimo em relação ao nível da calha atual, o que pode ser explicado pela dinâmica de migração lateral, na qual o rio se encaixa no nível deposicional pretérito e deposita sedimentos finos atuais sobre ele.

Ao analisar o mapa geológico¹¹ da área, pode-se perceber que tais rupturas nos Perfis 7 e 4 coincidem com zonas de falha indiscriminada definida de direção de direção NE-SW. Enquanto que os perfis 8 e 5 se localizam próximos a falhas de empurrão com vergência W. Permitindo dizer que os blocos representados pelos números **1** e **3** sofrem soerguimentos mais lentos, pois apresentam Terraço Inferior recoberto pelo Nível de Várzea . Enquanto que os blocos representados pelos números **2** e **4** sofrem soerguimentos mais acentuados, pois apresentam Terraços e Nível de Várzea escalonados.

Por sua vez, pouco se pode dizer sobre os desníveis no perfil longitudinal do Terraço Superior, por este ser o nível mais antigo e menos preservado, sendo identificado somente entre os Perfis 6 e 7.

¹¹ Mapa geológico integrado do Quadrilátero Ferrífero, a partir de mapas de 1:25000 dos projetos USGS/DNPM e CPRM/DNPM

Em relação ao comprimento médio dos seixos, o Terraço Superior apresentou uma variação de 15 cm a 6 cm, em um espaço de aproximadamente 52 km. Neste mesmo espaço, o comprimento dos seixos do Terraço Intermediário variou de 20 cm a 3 cm, enquanto que esta variação foi de 15 cm a 3 cm no Terraço Inferior. Isto demonstra a eficiência do desgaste da carga grosseira em cursos d'água de ambientes tropicais, mesmo considerando o predomínio de seixos de quartzo. Quanto ao aspecto petrográfico, a distribuição dos seixos é heterogênea em todo o trecho e em todos os níveis de terraços. O que ocorre é uma alternância entre o predomínio de seixos de quartzo e de itabirito ao longo do perfil longitudinal. Os pontos onde há predomínio de seixos de itabiritos indicam proximidade com a área fonte, já que, por sua alta densidade, os seixos de itabirito não aparecem em áreas distais.

Por meio da interpretação da associação das litofácies, pode-se propor a reconstituição de paleo-sistemas deposicionais, utilizando a devida cautela, pois, um ambiente deposicional pode gerar diferentes associações faciológicas. Além disso, as seqüências deposicionais podem se apresentar pouco preservadas, representando apenas pequenos lapsos temporais na história deposicional.

A Figura 43 apresenta a interpretação das litofácies identificadas em cada nível deposicional, seguindo o auxílio da proposta de Miall (1996). O Nível de Terraço Superior apresenta alguns remanescentes no trecho estudado, portanto não se pode identificar um paleo-sistema típico.

Não foram encontradas evidências claras para a interpretação dos paleoambientes deposicionais dos níveis identificados. Depósitos orgânicos ou espessos aluviões argilosos não foram encontrados, o que poderia denotar ambientes tropicais úmidos favoráveis ao desenvolvimento de canais meandantes. Por outro lado, o fato dos terraços apresentarem abundantes sedimentos grosseiros de canal e de barras de canal, relacionados ao grande volume de carga sedimentar de leito, não indica necessariamente condições deposicionais sob padrão entrelaçado, já que o material mais fino que recobria os depósitos de leito já pode ter sido removido pela erosão. Mesmo com tais dificuldades, alguns elementos podem ser utilizados como evidências para suposições:

- O vale fluvial parece ter sido esculpido, desde os registros mais antigos do Terraço Superior, em uma morfologia meandrante, dada a disposição dos registros em termos espaciais acompanhando as sinuosidades do vale. Os Terraços Intermediário e inferior acompanham, sem dúvida, o traçado sinuoso do vale atual;

- A ocorrência de depósitos concrecionados por ferro pode indicar condições úmidas favoráveis à existência de um nível freático próximo à superfície, que, após criar um ambiente de saturação, permitiu a concreção dos depósitos grosseiros de leito após a formação de um ambiente de redução;
- Certos registros demonstram que a heterogeneidade litológica e a variação no tamanho dos seixos podem denotar condições sedimentares de elevada energia e variações de descarga favoráveis aos sistemas entrelaçados.
- Estudos anteriores no médio e baixo curso do Rio das Velhas, realizados por Magalhães Jr. (1993), indicaram condições deposicionais sob ambiente úmido para os terraços equivalentes aos encontrados neste trabalho.

Neste sentido, o fato do trecho estudado corresponder ao alto curso do Rio das Velhas, em área com abundância de carga sedimentar e tectônica reconhecidamente atuante, permite supor que as condições originais úmidas e o padrão meandrante vigente pode não ter impedido o desenvolvimento de certos trechos fluviais tendendo ao entrelaçamento. Datações e análises polínicas podem vir, futuramente, auxiliar estas interpretações.

O Nível de Várzea, sendo o nível deposicional mais recente e, portanto, ainda em formação, apresenta depósitos com abundância de matéria orgânica, principalmente raízes, e depósitos de areia grossa. A presença de matéria orgânica e também a geometria sinuosa deste nível (vide mapas 1 a 7) são indícios de meandramento do canal. No entanto, não há presença de depósitos argilosos, típicos de canais meandranes. Pode-se dizer, então, que os depósitos dos níveis de várzea se aproximam do padrão sedimentar meandrante.

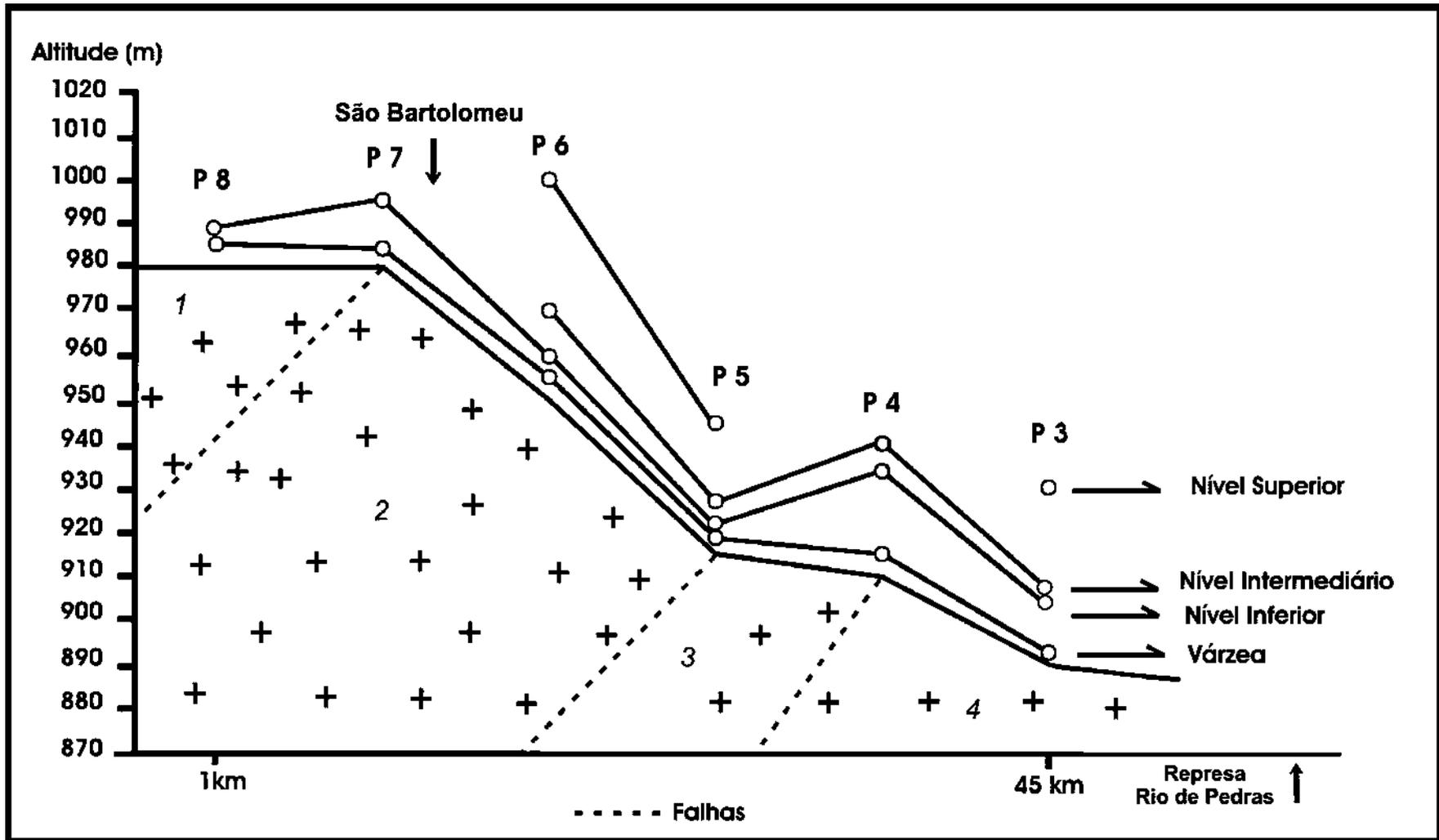


Figura 41: Distribuição Longitudinal dos Níveis Depositionais Aluviais

Terraço	Ponto da descrição	Altitude da base	Altura da base	Petrografia dos Seixos	Comprimento médio dos Seixos
Superior	Perfil 2*	750 m	35	quartzo itabirito	6 cm
	Perfil3	930 m	40 m	quartzo itabirito**	10 cm
	Perfil4	-	-	-	-
	Perfil 5	945 m	30 m	quartzo itabirito**	12 cm
	Perfil 6	1000 m	50 m	quartzo itabirito**	15 cm
	Perfil 7	-	-	-	-
	Perfil 8	-	-	-	-
Intermediário	Perfil 2	740 m	22 m	quartzo** itabirito	3 cm
	Perfil3	905 m	15 m	quartzo	15 cm
	Perfil4	940	30 m	quartzo itabirito**	15 cm
	Perfil 5	927 m	12 m	quartzo** itabirito	10 cm
	Perfil 6	970 m	20 m	quartzo	20 cm
	Perfil 7	-	-	-	-
	Perfil 8	-	-	-	-
Inferior	Perfil 2	730 m	0,2 m	quartzo itabirito**	3 cm
	Perfil 3	900 m	13 m	quartzo** quartzito itabirito	4 cm
	Perfil 4	934 m	24 m	quartzo** itabirito	7 cm
	Perfil 5	920 m	4 m	quartzo itabirito**	7 cm
	Perfil 6	960 m	10 m	quartzo	3 cm
	Perfil 7	995 m	15 m	quartzo** quartzito itabirito	15 cm
	Perfil 8	983 m	2 m	quartzo quartzito itabirito**	6 cm

2* Terraço Superior descrito no Ponto 1

** tipo de seixo predominante

Figura 42: Características dos Níveis de Terraços

TERRAÇOS – TE				
Tipo	Terraço Recoberto	Terraço Escalonado	Terraço com Várzea Embutida	
Código	Ter	Tes	TEm	
Níveis	Código	Fácies	Estruturas	Interpretação
Terraço Inferior (TEr/ TEs/ TEm)	Fl	1-areno-siltoso	plano-paralelas	planície
	Gh	2-arenoso com presença de seixos esparsos	maciço	barras de canal
	Fl	3- areno-argiloso com matéria orgânica	maciço	depósitos de planície e meandros abandonados
	Sm	4- arenoso ferruginizado	maciço	depósito de leito, condições úmidas, nível freático próximo à superfície
	Gmm	5- cascalhos suportados por matriz arenosa	maciço	fluxo viscoso de detritos - leito
	Gcm	6-cascalhos suportados por clastos	não verificadas	fluxo de detritos - leito
Terraço Intermediário (TEs)	Sm	1-areno-siltoso	maciço	depósito por gravidade fluxo
	Gh	2-arenoso com presença de seixos esparsos	maciço	barras de canal
	Gmm	3- cascalhos suportados por matriz arenosa	não verificadas	fluxo viscoso de detritos - leito
	Gcm	4- cascalhos suportados por clastos, ferruginizados	não verificadas	fluxo de detritos - leito
Terraço Superior (TEs)	Gh	1- arenoso com presença de seixos esparsos	maciço	barras de canal
	Gcm	2- cascalhos suportados com matriz arenosa	não verificadas	fluxo viscoso de detritos - leito
	Gcm	3- cascalhos suportados pelos clastos, ferruginizados	não verificadas	fluxo de detritos – leito, condições úmidas, nível freático próximo à superfície
Nível de Várzea	Ss/SI	1- areia grossa	plano paralelas	canal - leito
	Fl	2- areia fina, matéria orgânica abundante	plano paralelas	planície

Figura 43: Interpretação de Litofácies dos Níveis Depositionais

6.2. Dinâmica das margens e da calha fluvial

Este item apresenta os resultados do monitoramento das taxas de recuo das margens ao longo de um ano hidrológico, em sete pontos do alto Rio das Velhas. As variáveis sedimentológicas das margens e do leito, o cálculo das vazões e a medição do material em suspensão serão apresentados e interpretados a fim de apontar quais são as possíveis condicionantes dos processos de recuo das margens.

O recuo médio das margens em cada ponto pode ser observado na Figura 44. Os valores das taxas erosivas demonstram uma certa variabilidade no trecho estudado. No trecho entre os pontos **RA01** e **IT02** o recuo foi mais agressivo assumindo médias mensais entre 12 e 33 cm. Os pontos **GL03**, **SB04**, **SB05**, **SB06** e **SB07** apresentaram recuo menos intenso atingindo médias mensais entre 0,5 a 1,85 cm.

A seguir serão feitas as interpretações das variáveis hidrossedimentológicas em cada ponto monitorado e a Figura 45 sintetiza os resultados obtidos nestes pontos.

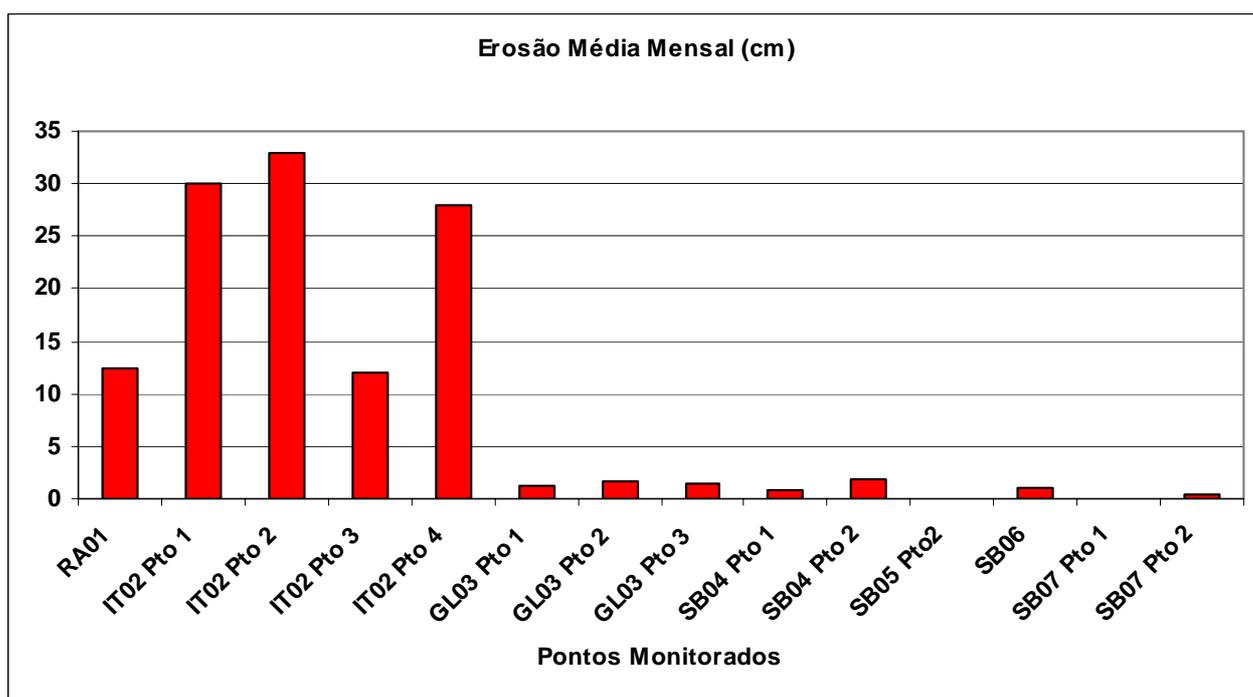


Figura 44: Erosão Média Mensal dos Pontos Monitorados

FIGURA 45: QUADRO SÍNTESE DOS DADOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS DOS PONTOS MONITORADOS

RA01

Taxa de recuo da margem média mensal = 12,5cm

Processo de recuo predominante na margem = queda por cisalhamento do fluxo

Vazão₁ = 23,3 m³/s Vazão₂ = 19,36 m³/s

C. S₁ = 35,9 mg/L C. S₂ = 7,57mg/L

C. S₂ = 57,74 mg/L C. S₂ = 7,97 mg/L

Carga de leito₁ = Seixos de quartzo e itabirito
CM: 10 cm

Carga de leito₂ = 55,3 % S/A e 44,7% Areia

GL03

Taxa de recuo da margem média mensal = Ponto1: 1,3 cm
Ponto2: 1,6 cm
Ponto3: 1,5 cm

Processo de recuo predominante na margem = erosão fluvial

Vazão₁ = 5,5 m³/s Vazão₁ = 2,3 m³/s

Vazão₂ = 3,28 m³/s Vazão₂ = 2,13 m³/s

C. S₁ = 49,58 mg/L C. S₁ = 3,98 mg/L

C. S₂ = 45,72 mg/L C. S₂ = 23,24 mg/L

Carga de leito₁ = Seixos de quartzito; quartzo e itabirito
CM respectivamente: 5 e 10 cm

Carga de leito₂ = 2,1% S/A e 97,9% Areia

SB05

Taxa de recuo da margem média mensal = Ponto1: 0,0 cm
Ponto2: não medida

Processo de recuo predominante na margem = Ponto2: queda por cisalhamento do fluxo

Vazão₁ = 1,54 m³/s Vazão₁ = 0,72 m³/s

Vazão₂ = 0,85 m³/s Vazão₂ = 0,49 m³/s

C. S₁ = 34,18 mg/L C. S₁ = 0,705 mg/L

C. S₂ = 6,44 mg/L C. S₂ = 0,8 mg/L

Carga de leito₁ = Seixos de quartzito, quartzo e itabirito
CM respectivamente: 5; 7 e 0,5 cm

Carga de leito₂ = 34% S/A e 66% Areia C. S₁ = 0,37 mg/L

IT02

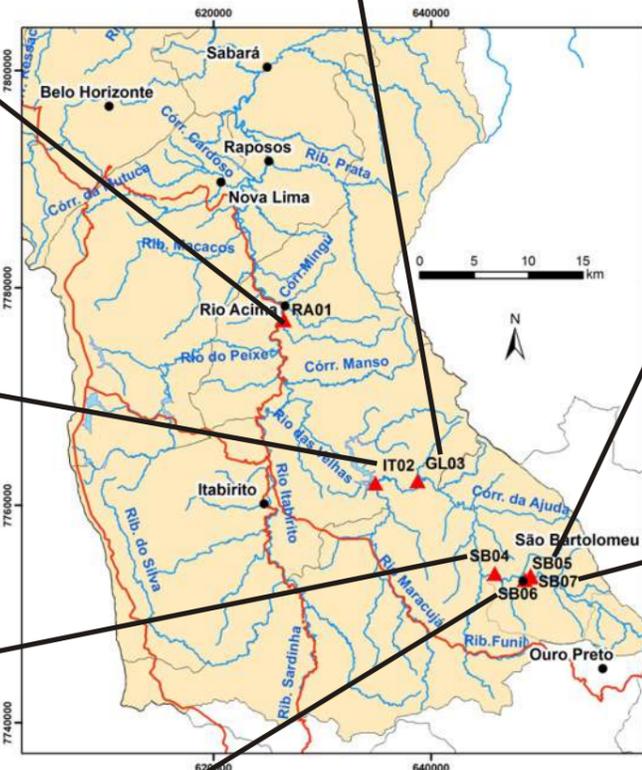
Taxa de recuo da margem média mensal = Ponto1: 30 cm
Ponto2: 33 cm
Ponto3: 12 cm
Ponto4: 28 cm

Processo de recuo predominante na margem = escorregamento rápido

Vazão = 6,14 m³/s Vazão = 0,93 m³/s

C. S = 155,64 mg/L C. S = 4,34 mg/L

Carga de leito = 3% S/A e 97 % Areia



SB04

Taxa de recuo da margem média mensal = Ponto 1: 0,8cm
Ponto 2: 1,85cm

Processo de recuo predominante na margem = erosão fluvial

Vazão = 1,62 m³/s Vazão = 1,29 m³/s

C. S = 6,68 mg/L C. S = 0,009 mg/L

Carga de leito = seixos de quartzito; quartzo e itabirito
CM respectivamente: 8 e 0,5 a 1 cm

SB07

Taxa de recuo da margem média mensal = Ponto 1: 0,0 cm
Ponto 2: 0,5 cm

Processo de recuo predominante na margem = Ponto 2: erosão fluvial

Vazão₁ = 1,54 m³/s Vazão₂ = 1,39 m³/s

Vazão₂ = 0,82 m³/s Vazão₂ = 0,49 m³/s

C. S₁ = 5,2 mg/L C. S₁ = 0,37 mg/L

C. S₂ = 4,58 mg/L C. S₂ = 0,67 mg/L

Carga de leito₁ = Seixos de quartzito; quartzo e itabirito
CM: 0,5 a 4 cm

Carga de leito₂ = 23,4% S/A e 76,6% areia

SB06

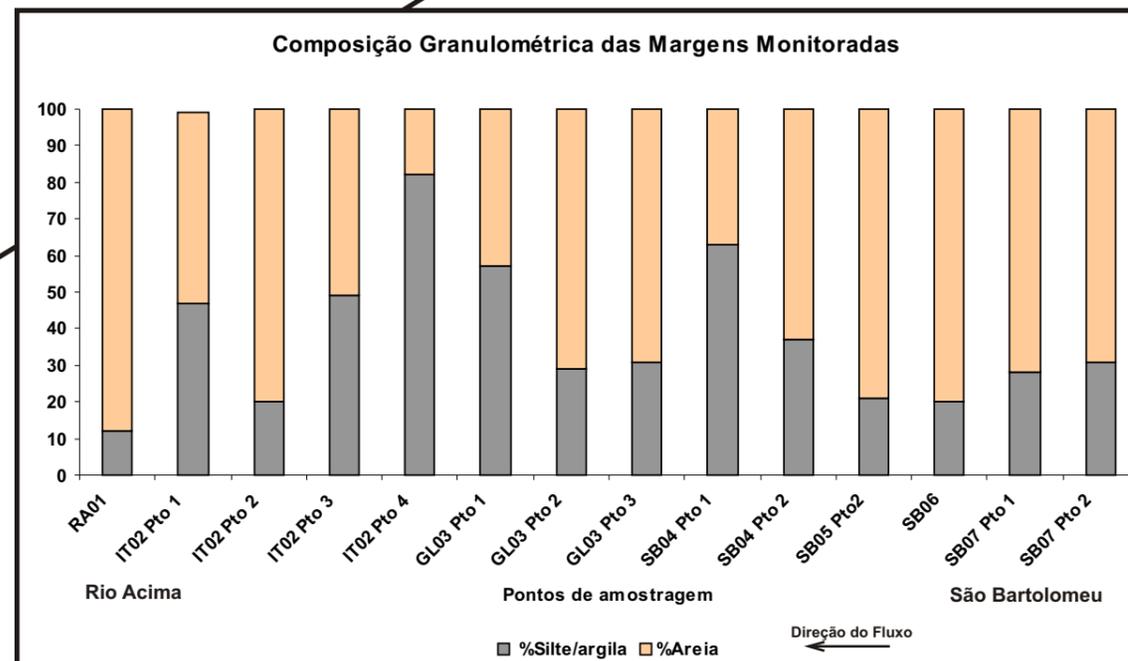
Taxa de recuo da margem média mensal = 1,0 cm

Processo de recuo predominante na margem = erosão fluvial

Vazão = 1,34 m³/s Vazão = 0,89 m³/s

C. S = 5,6 mg/L C. S = 0,64 mg/L

Carga de leito = 34,1% S/A e 65,9 % Areia
Seixos de itabirito e quartzo
CM respectivamente: 1 e 15 cm



■ Medidas período de cheia

■ Medidas período de estiagem

S/A: Silte e Argila

CM: Comprimento médio

C.S.: Carga Suspensa

O.B.S.: Medidas 1 e 2 aparecem em pontos que possuem variações no fluxo.

* A granulometria dos pontos GL03 1-2-3 e SB06 neste gráfico são referentes apenas à matriz da margem, a porção de seixos foi analisada separadamente na descrição individual dos pontos. Os demais pontos não possuem fração de seixos.

RA01 - número de pontos: 1

- *Instalação dos Pinos: 02/05/2007*

- Número de pinos: 2

Este trecho pode ser caracterizado como meandrante típico, com perfil transversal assimétrico, com máximas velocidades e taxas erosivas laterais na porção côncava e decréscimo de velocidade e sedimentação na margem convexa.

A Figura 46 apresenta os valores mensais do recuo da margem no ponto RA01 e a Figura 47 representa a legenda para os valores apresentados na tabela. A taxa média mensal de recuo deste ponto foi de 12,5 cm e o processo predominante de recuo foi a queda por cisalhamento. O solapamento da porção inferior da margem por ação do forte fluxo da corrente resultou no cisalhamento da porção superior, que venceu a resistência do material arenoso de baixa coesão da margem (88% de areia). A queda do material da porção superior da margem ocorreu por excesso de peso sobre a porção solapada. A morfologia íngreme e a altura elevada da margem (7,20 metros) possivelmente contribuíram para a queda rápida do material marginal. A evolução morfológica desta margem pode ser observada na Figura 48.

A maior taxa de recuo foi registrada no mês de dezembro devido ao aumento da vazão. O ponto monitorado foi instalado na porção côncava do canal, estando assim sujeito à ação de velocidades de fluxo mais elevadas. Enquanto nesta margem a velocidade média registrada no período de estudo foi de 1,16m/s, na margem convexa este valor foi de 0,25m/s.

A variação da carga em suspensão para as duas margens não foi significativa. Em relação à carga de leito, a margem côncava possui seixos maiores, transportados por arraste, enquanto que na margem convexa estes seixos se acumulam devido às reduzidas velocidades. Além dos seixos, a carga de leito possui grande quantidade de material fino (silte e argila) sobre o material grosseiro.

Erosão em cm						
RA01	JUN 2007	JUL 2007	AGO 2007	SET 2007	OUT/2007	DEZ/2007
Pino 1	8	2	3	10	3	-
Pino 2	3	1	5	12	13	26

Figura 46: Erosão Mensal Ponto RA01

 Recuo	 Submerso	 Deposição Fluvial
 Sem alteração	 Encoberto por material da própria margem	

Figura 47: Legenda

RA01



Figura 48: Sucessão fotográfica do Ponto RA01

IT02 - número de pontos: 4

- *Instalação dos Pinos: 21/10/2006*

- Número de pinos: **Ponto 1: 3**

Ponto 2: 2

Ponto 3: 3

Ponto 4: 2

Nestes pontos, os pinos e estacas foram instalados na margem esquerda do canal, em sua porção côncava, onde se esperava registrar apenas recuos, no entanto, nos primeiros meses os pinos foram encobertos por sedimentos fluviais. Optou-se então pela continuidade do monitoramento por meio da medição de perfilagens sucessivas, ou seja, em cada mês foi levantado um perfil dos pontos para fins de análise da evolução da margem. A Figura 49 apresenta a sucessão dos perfis no período de março a dezembro de 2007 nos 4 pontos monitorados. A margem revelou-se muito instável, alternando entre períodos erosivos e deposicionais. Isto, provavelmente, está relacionado às variações do nível d'água, das vazões e da carga em suspensão. As Figuras 50, 51, 52 e 53 mostram a evolução das margens nos 4 pontos.

Neste trecho, a carga suspensa apresentou uma grande variação volumétrica entre os períodos de cheia e de estiagem, mas não na mesma proporção que a vazão. Como o fluxo foi incapaz de transportar esta carga, os sedimentos se acumularam nas margens e no leito, este último apresentando basicamente carga arenosa.

Este grande aporte sedimentar acarretou no aparecimento de inúmeras barras arenosas, que permaneceram submersas durante as cheias e emergiram durante o período de estiagem. Quando emersas, estas barras dividiram o canal principal em pequenos canais rasos, interligados, e a divisão do fluxo por estes canais é outro fator que, possivelmente, influenciou o recuo lateral das margens. Portanto, no período de estiagem predominou a deposição sedimentar nas margens e, no período de cheia, o predomínio foi do processo de recuo.

O processo de recuo das margens predominante neste trecho foi o escorregamento rápido. A textura fina do material das margens (textura arenosa fina, siltosa e argilosa) é bastante favorável à saturação com água. Esta saturação aumenta o peso do pacote sedimentar, favorecendo o desencadeamento dos processos de escorregamento.

A proximidade dos pontos 3 e 4 com uma área de extração de areia pode ter influenciado na variação da face das margens pela ação da draga no leito do rio. A

retirada de sedimentos do leito próximo às margens pode ter proporcionado a perda de estabilidade dos sedimentos marginais fazendo com que estes escorregassem.

É importante salientar que este trecho se encontra próximo à confluência entre o Rio das Velhas e o Rio Maracujá. Este último vem sendo objeto de um número importante de pesquisas, relacionadas principalmente ao conjunto de fatores responsáveis pelo número elevado de voçorocamentos na região e conseqüente mobilização de materiais carreados para os cursos d'água. Bacellar *et al.*, (2005) afirmam que a geologia e a geomorfologia local, respectivamente, são os principais fatores controladores destas voçorocas. Também contribui para a prática de retirada da vegetação natural para a implantação de áreas de pastagem e atividades mineradoras que levam a carga sedimentar dos cursos fluviais da região, os quais apresentam geralmente fundo plano e volume sedimentar incompatível com a capacidade de transporte da rede de drenagem.

Soma-se a isso o fato deste segmento estar situado a aproximadamente 4 km à montante da represa Rio de Pedras, que possui uma área alagada de 1,39 km². A represa se comporta como um nível de base importante na área, provavelmente influenciando tanto nos valores da velocidade de fluxo, como na variação das cotas deste trecho do Rio das Velhas.

Neste trecho, o canal pode ser caracterizado como entrelaçado. O elevado fornecimento sedimentar e o conseqüente entulhamento do vale gera condições para o surgimento de barras e canais secundários.

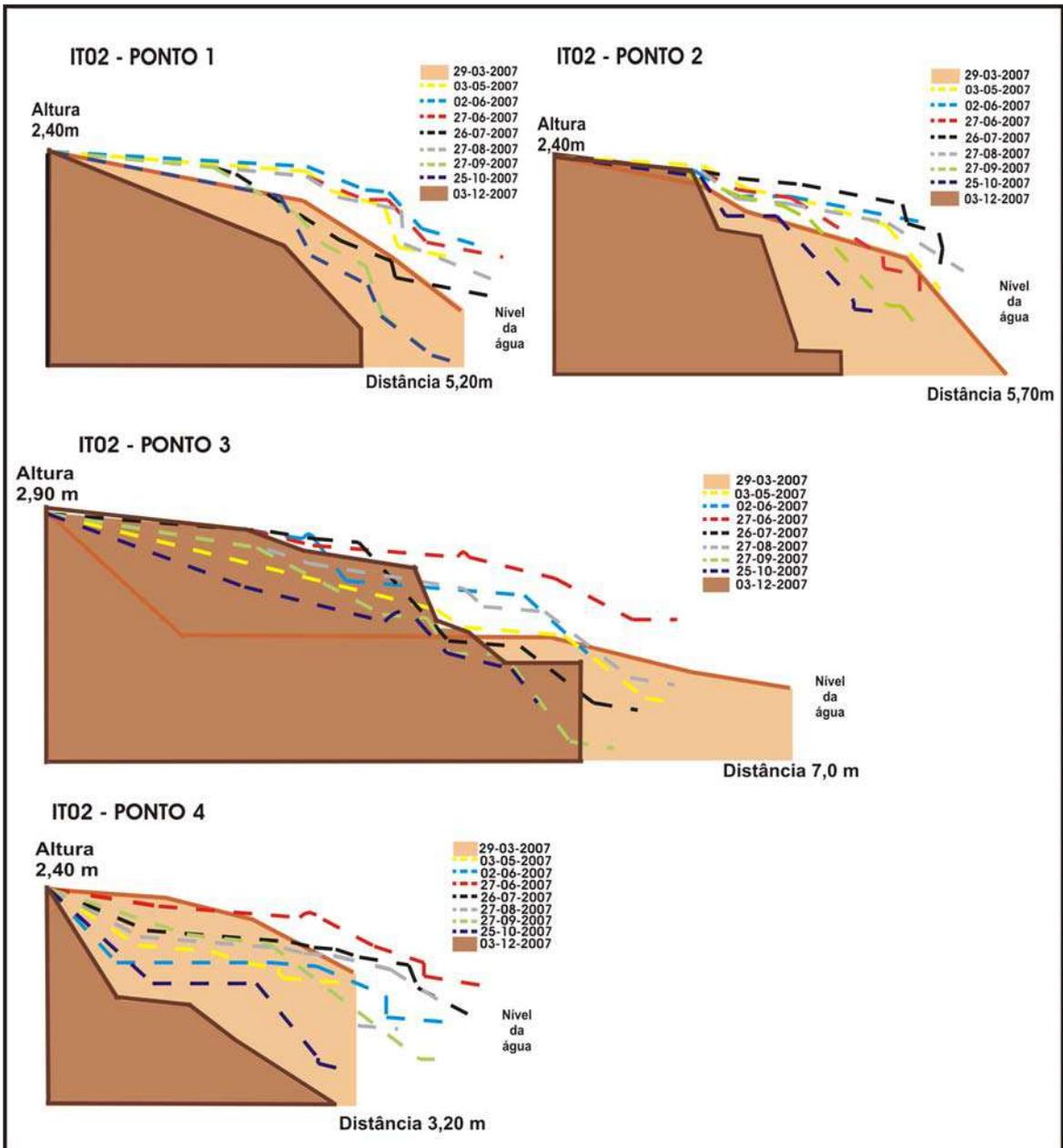


Figura 49: Perfilagens sucessivas do Ponto IT02

IT02 Ponto 1

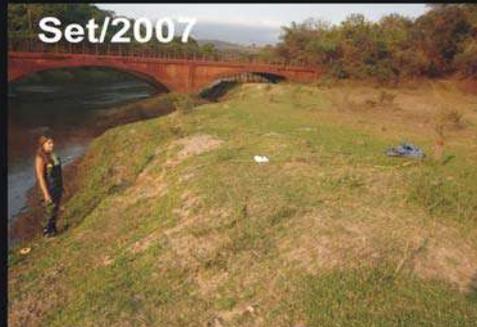


Figura 50: Sucessão fotográfica do Ponto1- IT02

IT02 Ponto 2



Figura 51: Sucessão fotográfica do Ponto2- IT02

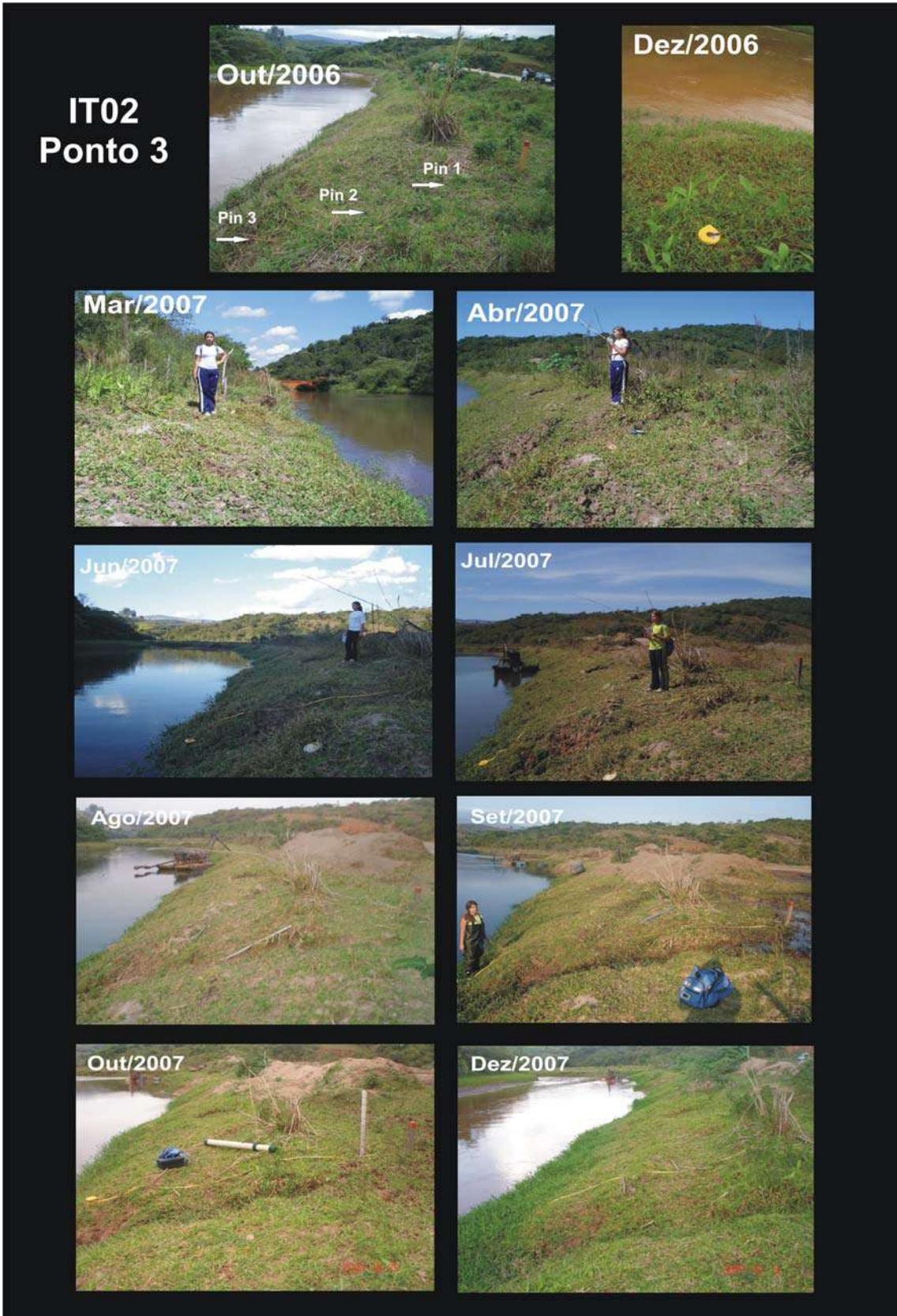


Figura 52: Sucessão fotográfica do Ponto3- IT02

IT02 Ponto 4



Figura 53: Sucessão fotográfica do Ponto4- IT02

GL03 - *Número de pontos:* 3

- *Instalação dos Pinos:* 21/10/2006

- *Número de pinos:* **Ponto 1:** 3 pinos

Ponto 2: 3 pinos

Ponto 3: 3 pinos

Neste trecho do rio, foram instalados pinos na face côncava da margem. Esta apresenta um perfil íngreme de composição granulométrica grosseira, marcada por descontinuidades texturais, pois o nível destas margens se configura por um terraço de recoberto, ou seja, possui depósitos antigos de cascalho recobertos por sedimentos finos recentes da planície. A Figura 54 traz a taxa de recuo mensal para este trecho e a Figura 55 mostra a evolução dos pontos monitorados.

O principal processo de recuo das margens neste ponto foi a erosão fluvial, condicionada pela retirada grão a grão causada por uma ação mais agressiva do fluxo durante o período de cheia. O fluxo agiu somente nos pinos instalados próximos ao nível d'água, porém as maiores taxas de erosão foram observadas nos pinos da porção central. Este fato se explica porque a ação do fluxo tirou a estabilidade da margem, e os seixos da porção central rolaram, encobrendo os pinos inferiores. Durante os meses monitorados, os pinos superiores instalados no material da planície não foram atingidos pelo fluxo. No entanto, foi registrado um recuo no mês de dezembro, proporcionado principalmente pela queda do material arenoso, devido à perda da estabilidade em sua base, marcada pela descontinuidade entre o pacote de cascalho e o material mais fino.

A dinâmica atual neste trecho está retrabalhando o Terraço Inferior por meio da deposição lateral do canal. Por sua vez, os seixos rolados para o canal se instalam no leito, já que o fluxo não consegue transportá-los. Estes seixos possuem comprimento médio de 5 a 10 centímetros. Neste trecho, onde o leito está entulhado de seixos, foram registradas as maiores velocidades de fluxo e o menor volume de material em suspensão. O pavimento de seixos provoca o atrito do fluxo e, conseqüentemente, a turbulência tornando o fluxo mais agressivo. A montante deste trecho formam-se áreas de remanso onde a velocidade de fluxo é mais reduzida, e o material em suspensão é mais elevado. Nos períodos de estiagem, o decréscimo da velocidade de fluxo foi muito significativo e parte da carga suspensa se depositou no leito.

Assim sendo, este trecho se caracteriza por maiores velocidades e maior turbulência do fluxo devido ao pavimento de seixos reativos ao nível de Terraço Inferior. O nível basal de seixos do terraço não foi totalmente mobilizado pelo fluxo

devido à maior resistência oferecida ao transporte, tendo sido removido o material superior. O recuo lateral ocorre na margem côncava e a deposição na margem convexa, com formação de barras arenosas nesta última.

Erosão em cm										
GL03	DEZ 2006	MAR 2007	ABR 2007	JUN 2007	JUL 2007	AGO 2007	SET 2007	OUT 2007	NOV 2007	DEZ 2007
<i>Ponto 1</i>										
Pino 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
Pino 2	-	-	2	3	-	-	2	1	-	-
Pino 3	-	-	2	enc						
<i>Ponto 2</i>										
Pino 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Pino 2	-	-	-	7	-	-	3	10	-	-
Pino 3	-	1	10	enc						
<i>Ponto 3</i>										
Pino 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
Pino 2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Pino 3	2,5	-	7	enc	enc	enc	enc	2	3	enc

 Recuo	 Submerso	 Deposição Fluvial
 Sem alteração	 Encoberto por material da própria margem	

Figura 54: Erosão Mensal Ponto GL03

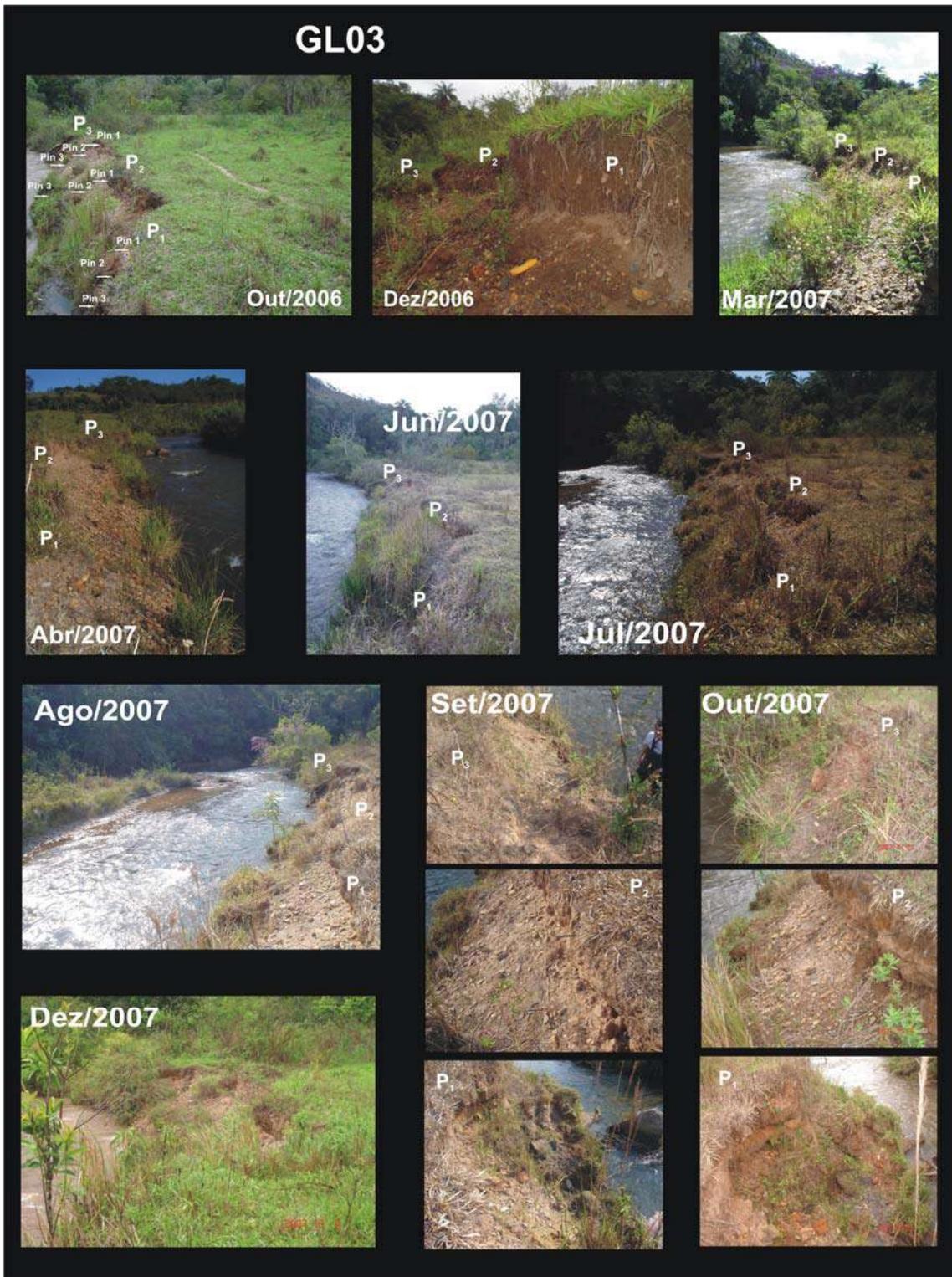


Figura 55: Sucessão fotográfica do Ponto GL03

SB04 - *Número de margens:* 2

- *Instalação dos Pinos:* 21/10/2006

- *Número de pinos:* **Ponto 1:** 2 pinos

Ponto 2: 2 pinos

Neste trecho, foram monitorados 2 pontos que apresentaram uma taxa média de recuo mensal de 0,8cm e 1,85cm respectivamente (Figura 56). O principal processo de recuo atuante nesta margem foi a erosão fluvial por ação do fluxo, que acontece principalmente no período de cheias. Os pinos instalados próximos ao nível d'água foram os que registraram o maior recuo das margens. Estes pinos foram posteriormente encobertos pelos materiais da porção superior da própria margem, que caíram devido à perda de estabilidade causada pela remoção de material da porção basal da margem. Os 2 pontos estão localizados na margem esquerda, em um trecho retilíneo do canal.

A margem oposta possui uma barra de cascalho, que teve suas medidas monitoradas no mesmo período em que foi feito o monitoramento da erosão de margens. Em outubro de 2006, suas medidas eram de: 23 metros e 6,5 metros de largura. Em dezembro de 2007 essas medidas diminuíram para: 16,95 metros de largura 4,35 metros de comprimento. Por se tratar de uma barra de seixos com matriz arenosa e por se encontrar num trecho de fluxo rápido, os materiais de seu entorno foram carregados pelo rio. A porção da barra que foi preservada encontra-se bastante estável e vegetada, como se pode observar na Figura 57.

Neste trecho, o canal apresenta seixos de comprimento variado (de 0,5 cm a 8 cm). Estes seixos provavelmente têm sua área fonte nos terraços encontrados na região e remobilizados pelo fluxo, principalmente as fácies detríticas menos coesas exploradas pela atividade mineraria. Neste ponto, não foram observadas áreas com variação das velocidades de fluxo. As vazões registradas nos períodos de estiagem e de cheia não apresentaram grandes variações, sendo registrados $1,29\text{m}^3/\text{s}$ e $1,62\text{m}^3/\text{s}$, respectivamente. A carga em suspensão foi baixa em ambos períodos, no entanto, no período de estiagem, a carga registrada foi quase nula, podendo-se concluir que a montante deste ponto, existe uma área de fluxo lento, onde os sedimentos em suspensão foram depositados no leito. Uma dinâmica similar já tinha sido observada no ponto GL03, anteriormente descrito. As Figuras 58 e 59 ilustram a evolução da margem neste ponto.

Erosão em cm										
SB04	DEZ 2006	MAR 2007	ABR 2007	JUN 2007	JUL 2007	AGO 2007	SET 2007	OUT 2007	NOV 2007	DEZ 2007
Ponto 1										
Pino 1	-	-	2	3	-	-	-	1	-	2
Pino 2	sub	enc								
Ponto 2										
Pino 1	-	4	1	-	-	-	-	2	-	1
Pino 2	3,5	sub	7	-	enc	enc	enc	enc	enc	enc

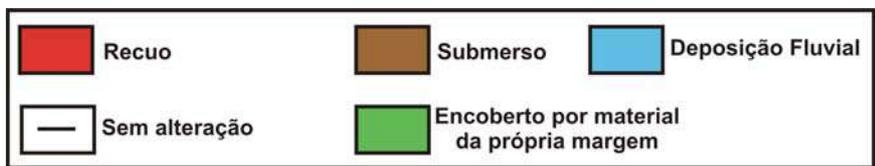


Figura 56: Erosão Mensal Ponto SB04

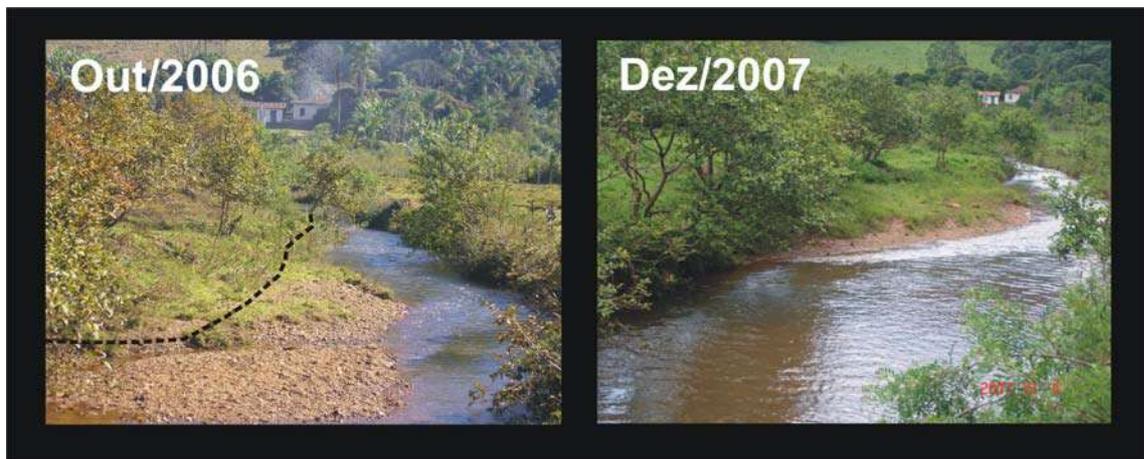


Figura 57: Barra de cana - Ponto SB04



Figura 58: Sucessão fotográfica do Ponto 1 - SB04

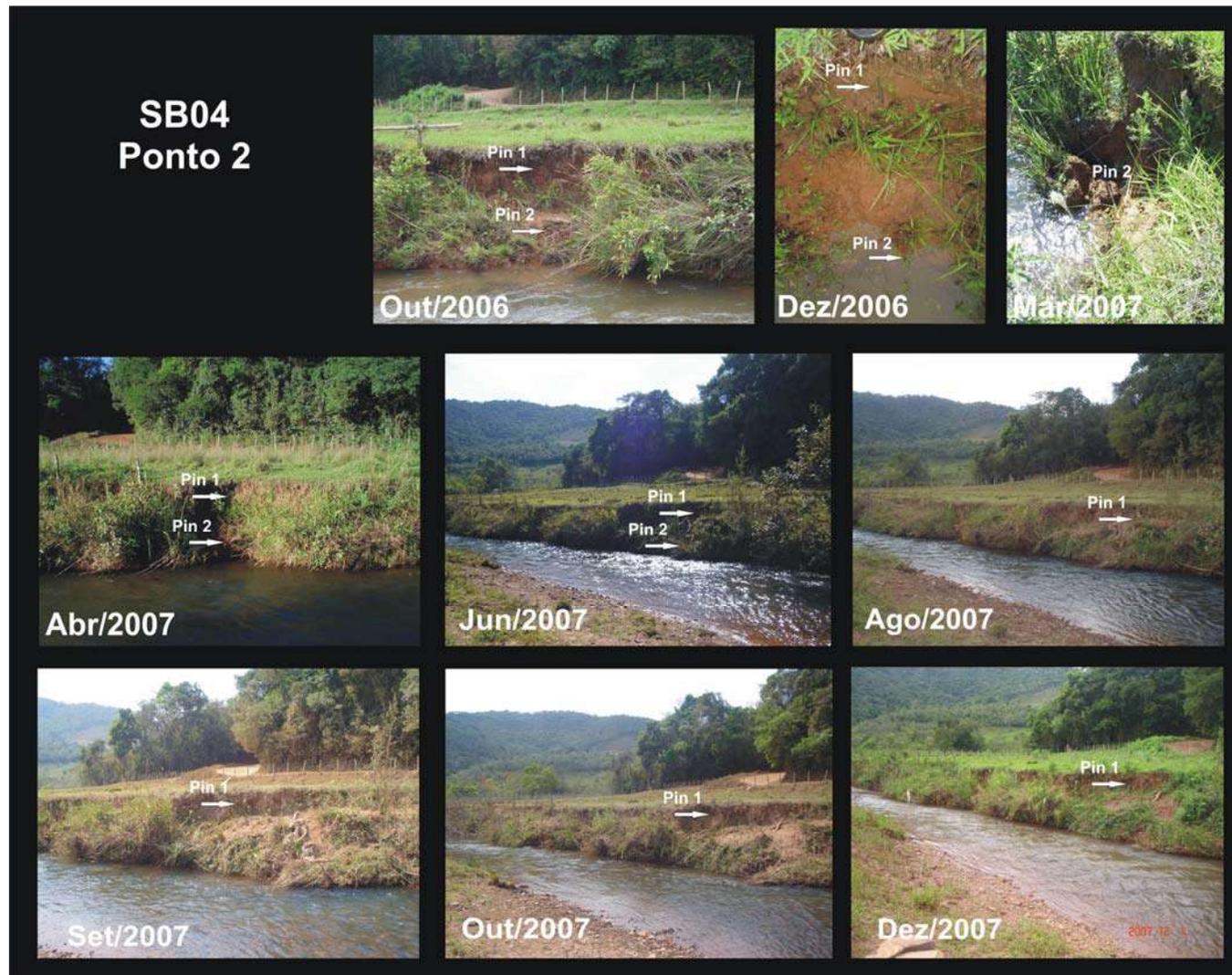


Figura 59: Sucessão fotográfica do Ponto 2 - SB04

SB05 - *Número de pontos:* 1 (método fotográfico) e 2 (método dos pinos)

- *Instalação dos Pinos:* 21/10/2006

- *Número de pinos:* **Ponto 2:** 2 pinos

Neste trecho, foram monitorados 2 pontos por meio de técnicas diferentes. A margem esquerda foi monitorada pelo método dos pinos, enquanto que a margem direita foi monitorada pelo método fotográfico.

A margem esquerda (convexa) encontra-se mais afastada do fluxo d'água e é composta por material arenoso, principalmente areia muito fina e fina. Possui uma altura de 0,60¹² metros em relação ao nível da água e perfil transversal suave (plano) numa área de fluxo rápido. O pino 1 foi instalado no nível da planície, que possui uma barra em um nível inferior, onde foi instalado o pino 2. Esta barra por sua vez é composta por seixos com tamanho médio de 15 cm, suportados por matriz areno-siltosa e vegetada (gramíneas). A margem direita deste trecho (côncava) é composta por seixos do nível de Terraço Inferior, remexidos pela atividade minerária. Estes seixos são facilmente deslocados para o leito do rio, onde formam degraus e ocasionam um aumento da velocidade do fluxo. Por outro lado, a porção a montante deste trecho se caracteriza por baixas velocidades de fluxo.

A margem convexa não apresentou perda de materiais, encontra-se estável, assim como a barra adjacente a ela. Já a margem côncava, monitorada pelo método fotográfico, apresentou feições típicas de processo de queda por ação do fluxo na base da margem. As Figuras 60 e 61 mostram a evolução destas margens.

¹² As medidas apresentadas nesta pesquisa no que se referem a altura das margens são variáveis, pois estão relacionadas com o nível do rio que sofre oscilações diárias. Neste caso, as medidas foram realizadas em 02/05/2007.

SB05 Ponto 1



Figura 60: *Sucessão fotográfica do Ponto 1- SB05*

SB05 Ponto 2

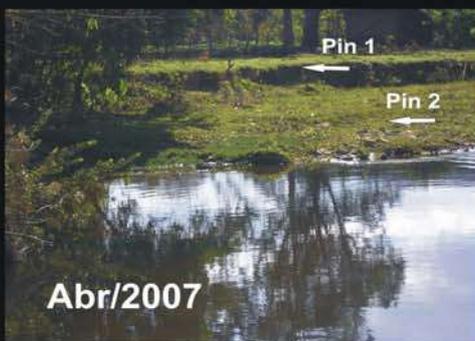


Figura 61: Sucessão fotográfica do Ponto 2- SB05

SB06 - Número de pontos: 1

- *Instalação dos Pinos: 21/10/2006*

- *Número de pinos: 3 pinos*

Neste ponto, os pinos foram instalados na margem côncava, a uma altura de 3 metros em relação ao nível da água. O perfil transversal desta margem é íngreme, e ela está situada numa área de fluxo lento. Trata-se de uma margem que se encontra em um nível de terraço recoberto por sedimentos recentes da planície.

O processo de recuo de margens predominante neste ponto foi a erosão fluvial por ação do fluxo na base da margem. A retirada de sedimentos leva à perda de estabilidade e a conseqüente queda do material da porção superior da margem, principalmente aquele que se encontra no contato entre o pacote de seixos do Terraço Inferior e o material mais fino da planície (descontinuidade erosiva). A taxa de recuo da margem foi de apenas 1 cm ao mês, o que pode ser explicado por este ser um trecho de baixa velocidade de fluxo. O leito apresenta seixos de comprimento médio de 15 cm recobertos por sedimentos finos que se depositam no fundo, devido à baixa velocidade do fluxo. A Figura 62 apresenta os valores das taxas erosivas e a Figura 63 a evolução da margem neste ponto.

Erosão em cm										
SB06	DEZ 2006	MAR 2007	ABR 2007	JUN 2007	JUL 2007	AGO 2007	SET 2007	OUT 2007	NOV 2007	DEZ 2007
Pino 1	1	-	enc	-	-	-	-	-	1	1
Pino 2	3	1	enc	-	1	enc	enc	enc	-	-
Pino 3	sub	2	enc							

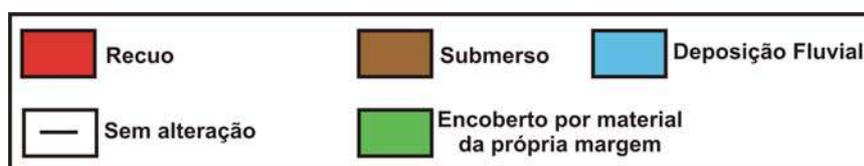


Figura 62: Erosão mensal do Ponto SB06

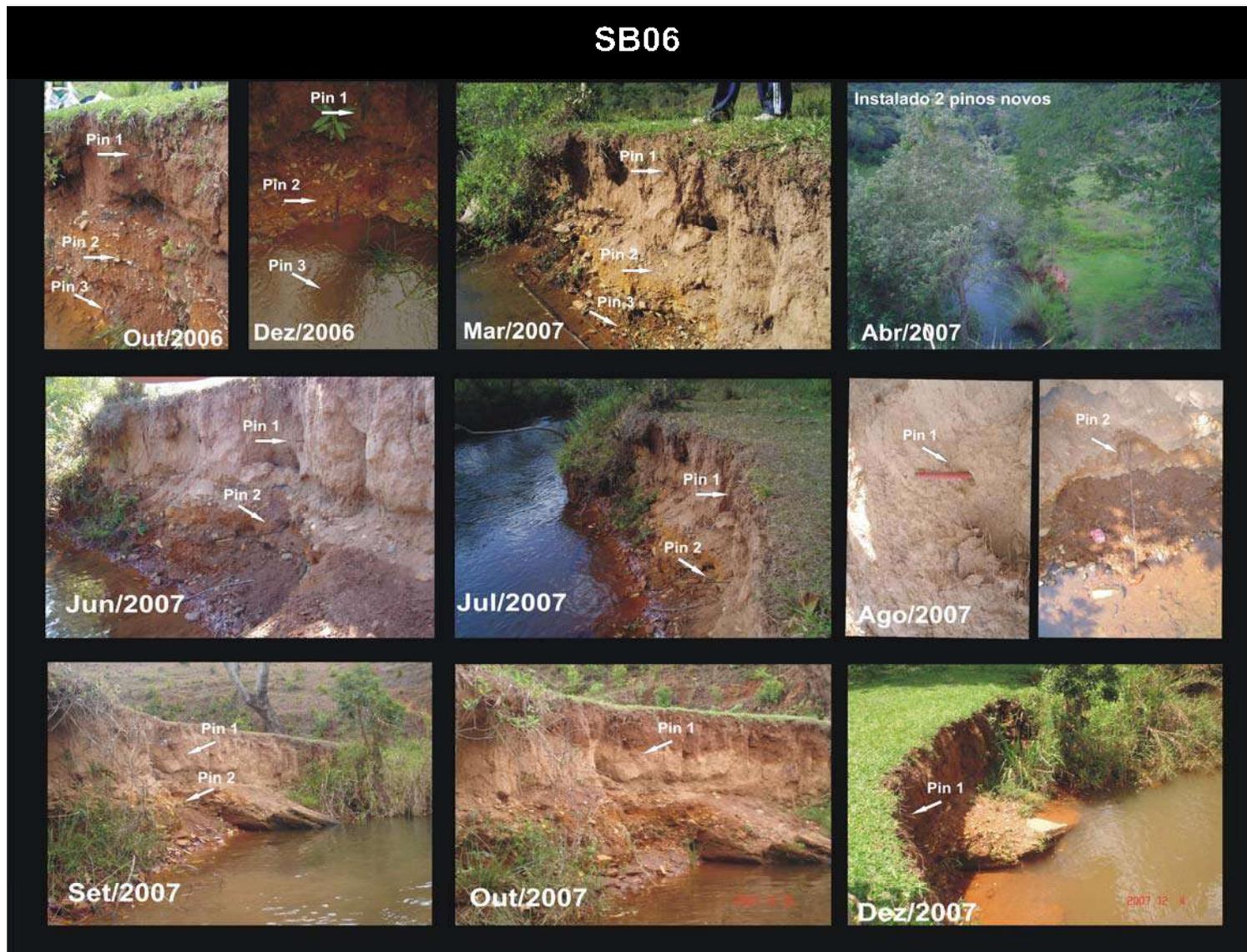


Figura 63: Sucessão Fotográfica do Ponto SB06

SB07 - Número de pontos: 2

- *Instalação dos Pinos: 21/10/2006*

- *Número de pinos: **Ponto 1:** 2 pinos
Ponto 2: 2 pinos*

Estes são os pontos localizados mais próximos às nascentes do Rio das Velhas. Os pinos foram instalados na margem convexa, a uma altura de 2 metros em relação ao nível d'água. Esta margem possui uma composição silto-arenosa.

O ponto 1 não sofreu recuo lateral da margem, mesmo estando próximo de um trecho de velocidades elevadas. Isto se explica devido à presença de afloramentos rochosos, que impediram a ação do fluxo rápido diretamente na base da margem. No ponto 2, o recuo foi registrado somente no período de cheia (Figura 64), tendo como principal processo de recuo a erosão fluvial. As Figuras 65 e 66 mostram a evolução da margem nos dois pontos de monitoramento.

Neste trecho, o canal se caracteriza pela presença de sedimentos finos (silte/argila e areia fina) na área de menor velocidade de fluxo, com afloramentos do substrato rochoso e presença de seixos com comprimento médio entre 0,5 cm a 4,0 cm no trecho de maior velocidade de fluxo.

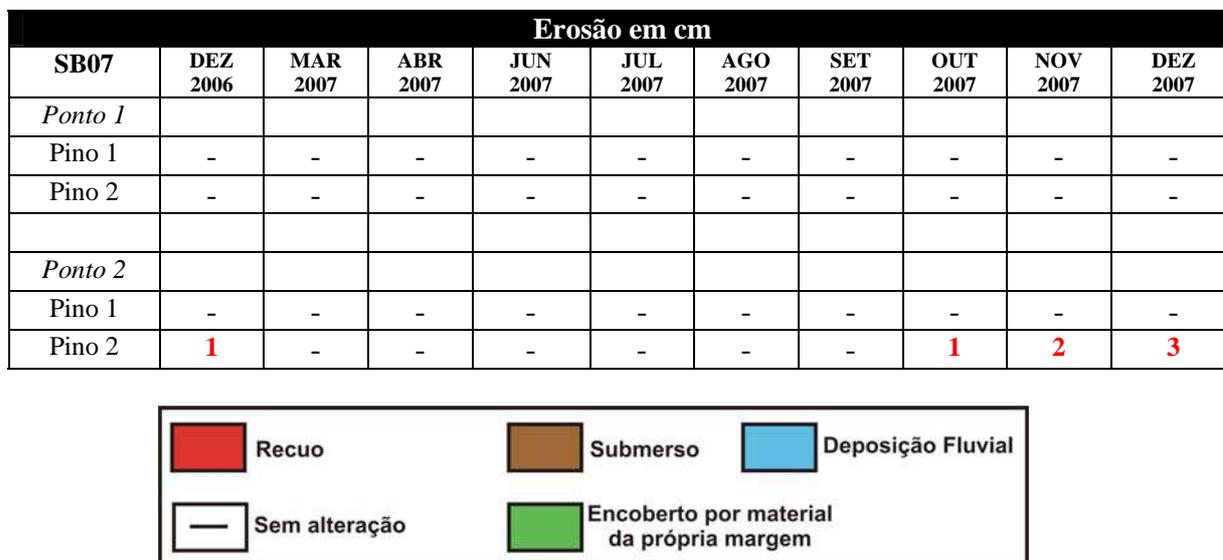


Figura 64: Erosão mensal do Ponto SB07



Figura 65: Sucessão Fotográfica do Ponto1 - SB07

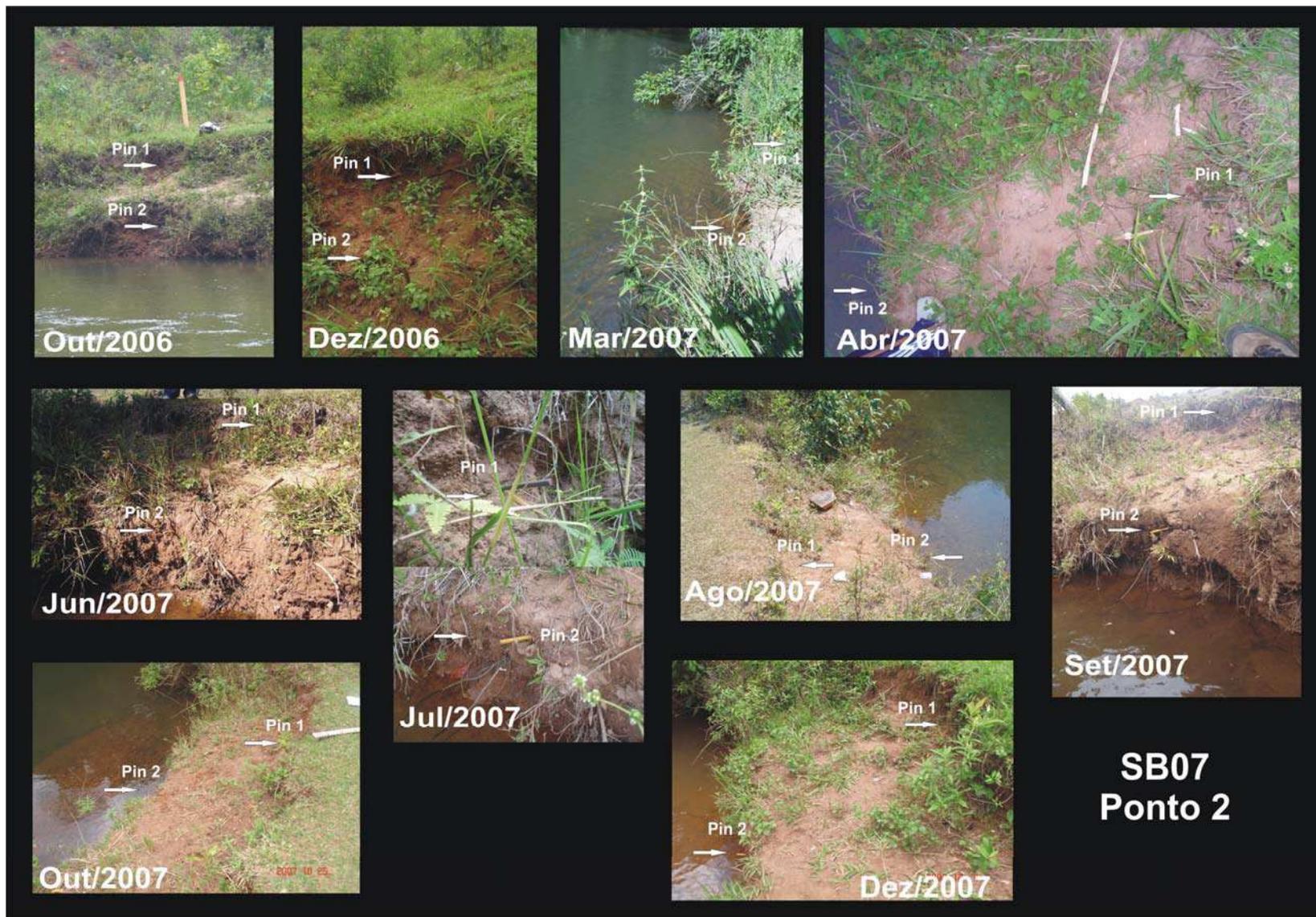


Figura 66: Sucessão Fotográfica do Ponto 2 - SB07

6.3. Compartimentação do vale do alto Rio das Velhas: morfologia e dinâmica

6.3.1. Elaboração dos parâmetros norteadores da compartimentação

A compartimentação do vale em segmentos proposta neste trabalho consiste em um mecanismo para compreender, analisar e interpretar a espacialização dos diversos elementos ligados à dinâmica morfoprocessual do sistema fluvial do vale do alto Rio das Velhas. Esta segmentação está alicerçada no levantamento, mapeamento e análise dos níveis deposicionais; e no monitoramento e análise hidrossedimentológicas da dinâmica atual.

Os parâmetros empregados aqui reúnem os aspectos descritivos e os dados levantados durante a pesquisa. É importante ressaltar que tais parâmetros resultam de um conjunto de atributos voltados à caracterização da geomorfologia fluvial, e que buscam levar em consideração os principais aspectos da área em estudo, podendo ser devidamente adaptados para o estudo de outras localidades. Os dados hidrossedimentológicos utilizados referentes à dinâmica atual são resultantes de análises feitas nos sete pontos de monitoramento, pontos estes escolhidos em função das especificidades da bacia, no período de um ano hidrológico. A análise da distribuição dos níveis deposicionais é fruto de levantamento em campo e interpretação aerofotogramétrica.

A seguir, serão descritas as variáveis utilizadas, que forneceram as bases para a compartimentação. Serão apresentados também os códigos criados para cada variável, em uma estratégia de códigos semelhante à utilizada por Miall (1996) em seus reconhecidos trabalhos de interpretação de seqüências estratigráficas deposicionais. Deve-se salientar as limitações da interpretação das fácies, segundo seus ambientes deposicionais correlativos (interpretação). Os registros sedimentares, principalmente dos terraços, são parciais, dificultando uma interpretação detalhada e precisa. Um tipo de fácies pode indicar mais de um ambiente deposicional, devendo ser correlacionada com as fácies da seqüência estratigráfica na qual se insere. Somente o conjunto de fácies e seu contexto espacial (geometria, arranjo, distribuição, etc.) podem assegurar uma interpretação mais precisa.

1. Níveis Depositionais:

- Serão diferenciados de acordo com o tipo, seqüência temporal (nível) e distribuição espacial dos depósitos, bem como, por suas características sedimentológicas.

1.1. Terraços:

a) Tipo: Terraço Escalonado; Terraço com Várzea Embutida; Terraço Recoberto. Podem fornecer subsídios para a interpretação da história e da dinâmica geomorfológica de uma região, refletindo as mudanças de nível de base, deslocamento lateral e velocidade de entalhamento dos cursos fluviais;

b) Associação de fácies: traz perspectivas sobre as condições energéticas e sobre o tipo de sistema fluvial responsável pelo depósito.

TERRAÇOS - TE				
Tipo	Terraço Recoberto	Terraço Escalonado		Terraço com Várzea Embutida
Código	TEr	TEs		TEm
Níveis	Código	Fácies	Estruturas	Interpretação
<i>Nível de Várzea ou Planície</i>	Agp	1- areia grossa	plano paralelas	leito
	Afp-Mo	2- areia fina, matéria orgânica abundante	plano paralelas	planície
<i>Terraço Inferior (TEr/ TEs/ TEm)</i>	Asp	1-areno-siltosa	plano-paralelas	planície
	Acm	2-arenosa com presença de seixos esparsos	maciço	Barras de canal
	Aam-Mo	3- areno-argilosa com matéria orgânica	maciço	planície
	Aam- Fe	4- arenosa ferruginizada	maciço	leito, condições úmidas, nível freático próximo à superfície
	Csm	5- cascalhos suportados por matriz arenosa	maciço	Leito; transporte fluvial tipo fluxo de detritos
	Csc	6-cascalhos suportados por clastos	maciço	Leito; transporte por arraste

Níveis	Código	Fácies	Estruturas	Interpretação
Terraço Intermediário (TEs)	As	1-areno-siltosa	maciço	Barras de canal
	Asm	2-arenosa com presença de seixos esparsos	maciço	Barras de canal
	Csm	3- cascalhos suportados por matriz arenosa	maciço	Leito; transporte fluvial tipo fluxo de detritos
	Csc-Fe	4- cascalhos suportados por clastos, ferruginizados	maciço	Leito; transporte por arraste; condições úmidas, nível freático próximo à superfície
Terraço Superior (TEs)	Acm	1- arenoso com presença de seixos esparsos	maciço	Barras de canal
	Csm	2- cascalhos suportados com matriz arenosa	maciço	Leito; transporte por arraste
	Csc-Fe	3- cascalhos suportados por clastos, ferruginizados	maciço	Leito; transporte por arraste; condições úmidas, nível freático próximo à superfície

Figura 67: Classificação dos níveis deposicionais e suas respectivas litofácies

1.2. Nível de Várzea ou Planície:

a) Feições: presença de meandros abandonados, lagoas de cheia, áreas permanentemente inundadas e planície recobrimdo o Terraço Inferior.

b) Largura em relação ao canal: inexistente, canal muito encaixado, canal pouco encaixado.

Para a relação de encaixamento do canal considerou-se a seguinte relação (adaptada de GALAY *et al.*, 1973; CUPP, 1989):

$\frac{LR}{LP} = \text{Largura da planície}$ $LR = \text{Largura do rio}$

O canal será considerado mais encaixado quando o resultado se aproximar de 1 e menos encaixado quando o resultado se afastar deste valor.

c) Uso: urbano, pastagem, mineração, agricultura.

Os itens a, b e c podem identificar processos e formas atuantes nas feições e seqüências sedimentares, bem como a alteração destes devido às atividades humanas na planície.

PLANÍCIE – P				
a) Feições	meandro abandonado	lagoas de cheia	permanentemente inundada	planície recoberto terraço
Código	Pma	Plc	Ppi	Prt
b) Largura	inexistente	canal muito encaixado	canal pouco encaixado	
Código	Pin	Pcme	Pcpe	
c) Uso	Urbano	pastagem	mineração	agricultura
Código	Pu	Pp	Pm	Pag

Figura 68: Classificação das planícies

2. Margens

- a) Composição granulométrica das margens: argila; silte; areia; cascalho; rocha.
- b) Forma: íngreme; côncava; convexa; em degraus; plana.

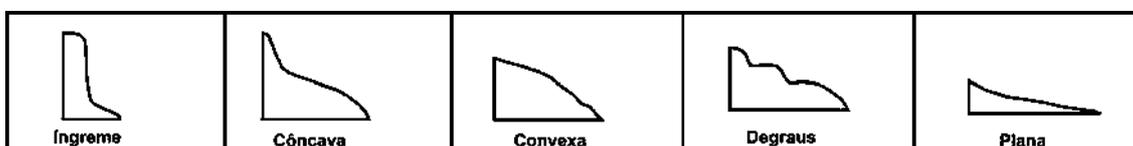


Figura 69: Morfologia das margens

- c) Tipo de processo atuante no recuo das margens: erosão fluvial ou corrasão; queda; escorregamento.
- d) Estabilidade das margens.

Para classificar a estabilidade margens da área de estudo, foram considerados os dados de recuo médio mensal em centímetros durante o período de um ano de monitoramento, bem como a identificação visual de feições que denotam características erosivas (rachaduras, falhas, cicatrizes). Os índices¹³ foram obtidos tomando-se a

¹³ A divisão de classes foi realizada de acordo com técnicas de distribuição de frequência (Custódio, 2005).

$c = A / k - 1$

$L_i = \text{menor dado} - c/2$

$L_s = L_i + c$

Onde: A= Amplitude; c = amplitude da classe; L_i =Limite inferior da classe; L_s =Limite superior;

amplitude dos valores de recuo obtidos (maior valor – menor valor) para se calcular intervalos de classe representativos da intensidade do recuo. As classes obtidas em centímetros foram as seguintes:

Classe 1	0
Classe 2	0,1 ———— 5,5
Classe 3	5,5 ———— 16,5
Classe 4	16,5 ———— 27,5
Classe 5	27,5 ———— 38,5

Classe 1 - Estável: ausência de recuo e nenhuma feição que denote processo de perda de sedimentos;

Classe 2 - Moderadamente estável: pequena e lenta perda de sedimentos, indícios de feições erosivas (cicatrices e rachaduras);

Classe 3 - Moderadamente instável: apresentando perdas significativas, rápidas, presença cicatrizes de queda sedimentos.

Classe 4 - Instável: perda rápida de sedimentos, presença de rachaduras e cicatrizes.

MARGEM - M					
a) Composição Granulométrica	silte-argila	areia	cascalho	rocha	
Código	Msa	Mar	Mca	Mro	
b) Forma	íngreme	côncava	convexa	degraus	plana
Código	Min	Mcc	Mcx	Md	Mpl
c) Processo de recuo predominante	erosão fluvial	queda	escorregamento		
Código	Mer	Mqd	Mes		
d) Estabilidade	estável	moderadamente estável	moderadamente instável	instável	
Código	Met	Mme	Mmi	Mi	

Figura 70: *Classificação das margens*

3. Elementos Intra-Calha

3.1. Leito

a) Forma: fundo chato; em forma de U; assimétrico.

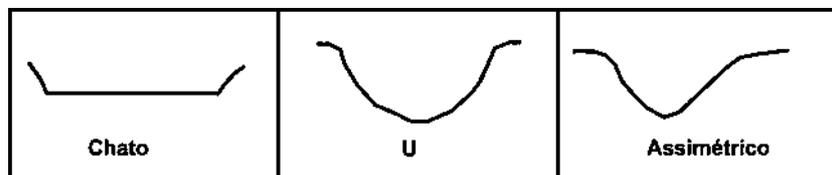


Figura 71: Formas de leito

b) Tipo de material de leito: argila; silte; areia; cascalho, presença de blocos de rocha.

c) Presença de barras de canal: barra silto-argilosa; barra arenosa; barra de cascalhos.

LEITO - L					
a) Forma	Fundo chato		em U		assimétrico
Código	Lch		Lu		Las
b) Tipo	argila	silte	areia	cascalho	blocos de rocha
Código	La	Ls	Lar	Lc	Lbr
c) Presença de barras	Silto-argilosa		arenosa	cascalho	
Código	LBsa		LBar	LBc	

Figura 72: Classificação dos leitos

3.2. Transporte em suspensão

a) Capacidade: baixa; moderada; elevada.

Para este item, foram criadas classes levando em consideração a variação da carga suspensa registrada nos pontos monitorados a partir de duas amostragens, sendo uma no período de cheia e outra no período de estiagem. Os intervalos foram criados a partir dos valores médios das duas amostragens da carga suspensa em mg/L.

Classe 1	0		—	29,4
Classe 2	29,4		—	88,1
Classe 3	88,1		—	146,8

Classe 1 - Baixa

Classe 2 - Moderada

Classe 3 – Elevada

CARGA SUSPENSA			
a) Capacidade	baixa	moderada	elevada
Código	CSb	CSm	CSe

Figura 73: *Classificação para carga em suspensão*

3.3. Velocidade do fluxo

a) Velocidade: lenta; moderada; rápida.

A velocidade média adquirida a partir de duas medições, uma no período de estiagem e outra no período de cheia, nortearam a divisão em classes de velocidade do fluxo:

Classe 1 - lenta;

Classe 2 - moderada;

Classe 3 - rápida (em m/s).

Classe 1	0	———	0,32
Classe 2	0,32	———	1,24
Classe 3	1,24	———	2,16

FLUXO - F			
a) Velocidade	lento	moderado	rápido
Código	Fle	Fmd	Fra

Figura74: *Classificação para o fluxo*

6.3.2 – Correlação dos parâmetros e identificação de associações

Por meio do cruzamento dos parâmetros descritos, foi possível confirmar ou identificar feições e condições deposicionais específicas nas margens e leito. Além dos terraços denominados de Superior, Intermediário (ambos escalonados) e Inferior (variando em escalonado, recoberto e com várzea embutida), foram identificados 8 tipos de planície fluvial na área, 8 tipos de margens, e 7 tipos de calha fluvial (Figura 75). Estas variações decorrem, principalmente, das diferenças de morfologia e de dinâmica erosiva e deposicional dos contextos fluviais.

Níveis deposicionais	Associação de variáveis		Interpretação
TERRAÇO SUPERIOR	TEs	Acm; Csm; Csc-Fe	Depósitos com variação do tamanho dos sedimentos, indício de entrelaçamento do canal. Concreções de ferro denotam condições úmidas dos depósitos.
TERRAÇO INTERMEDIÁRIO	TEs	As; Asm; Csm; Csc-Fe	Depósitos com variação do tamanho dos sedimentos, indício de entrelaçamento do canal.
TERRAÇO INFERIOR	TEr/ TEs/ Tem	Asp; Acm; Aam-Mo; Aam-Fe; Csm; Csc	Depósitos com variação do tamanho dos sedimentos, indício de entrelaçamento do canal. Concreções de ferro denotam condições úmidas sindeposicionais.
PLANÍCIE ₁	Pcme; Pu		Planície em área urbana, ocupada por residências, apresentando canal muito encaixado.
PLANÍCIE ₂	Plc; Ppi; Pcme; Pp Agp; Afp-Mo		Planície com lagoas de cheia, com trechos permanentemente inundados, canal encaixado e partes destinadas à pastagem.
PLANÍCIE ₃	Pcme; Pp; Prt Agp; Afp-Mo		Planície recoberto com sedimentos atuais um nível de terraço. Utilizada como pastagem. Apresenta canal muito encaixado.
PLANÍCIE ₄	Pcpe; Pp Agp; Afp-Mo		Planície com largura muito superior ao canal (pouco encaixado), utilizada como pastagem.
PLANÍCIE ₅	Pcpe; Pp; Pu Agp; Afp-Mo		Planície mesclando pastagem e uso urbano com vale pouco encaixado.

Níveis deposicionais	Associação de variáveis	Interpretação
PLANÍCIE ₆	Pcme; Prt; Pp Agp; Afp-Mo	Planície recoberto com sedimentos atuais um nível deposicional pretérito. Utilizada como pastagem, apresenta um canal pouco encaixado.
PLANÍCIE ₇	Pcme; Pp Agp; Afp-Mo	Planície com largura equivalente ao canal (muito encaixado), utilizada como pastagem.
PLANÍCIE ₈	Pin	Planície inexistente, leito correndo sobre substrato rochoso.

Margens fluviais	Associação de variáveis	Interpretação
MARGEM ₁	Mar; Min; Mqd; Mmi	Margem de face íngreme, moderadamente instável composta por sedimentos arenosos. Sujeita à perda de sedimentos por queda rápida.
MARGEM ₂	Mar; Mcx; Mes; Mi	Margem instável com face convexa composta por material arenoso, com processos de escorregamento predominante.
MARGEM ₃	Mar; Mca; Min; Mer; Mme	Margem moderadamente estável, composta por cascalhos e areia, com face íngreme com processos erosivos causados principalmente por ação do fluxo fluvial em época de cheias.
MARGEM ₄	Mar; Min; Mer; Met	Margem estável composta por material arenoso com face íngreme e processos erosivos causados por ação do fluxo principalmente na época de cheias.
MARGEM ₅	Mar; Md; Mer; Mme	Margem com face em forma de degraus, moderadamente estável, composta por material arenoso, com processos erosivos causados principalmente por ação do fluxo
MARGEM ₆	Mro; Min; Met	Margem estável formada por paredes rochosas e íngremes.
MARGEM ₇	Mas; Mpl; Met	Margem silto-argilosa e plana, presença de barra adjacente à margem.
MARGEM ₈	Mca; Mcx; Mqd; Mi	Margem instável de composição arenosa e face convexa, sendo a queda o processo de recuo predominante.

Ambiente de calha	Associação de variáveis	Interpretação
CALHA ₁	Las; La; Ls; La; Lc; LBar; LBe CSm Fra; Fle	Calha com leito assimétrico com sedimentos variando da fração argila a cascalho; presença de barras arenosas e de cascalho. Carga em suspensão moderada. Fluxo lento e rápido na mesma seção, típica de canal meandrante.
CALHA ₂	Lch; Lar; LBar CSb; CSe Fmd	Calha com leito chato e arenoso presença de barras arenosas. Variação na capacidade de transporte de carga suspensa e fluxo moderado. Características de entrelaçamento do canal.
CALHA ₃	Lch; Lar; Lc; LBar CSm Fra	Calha em corredeira com leito chato com carga arenosa e cascalhos, presença de barras arenosas e capacidade moderada de transporte de carga suspensa.
CALHA ₄	Lch; Lc; LBe CSb Fmd	Calha com leito chato e carga predominante de cascalho, fluxo moderado presença de barras de cascalho e capacidade de transporte em suspensão moderada.
CALHA ₅	Lch; Lc; LBe Csb Fra	Calha em corredeira, leito chato composto por cascalhos, baixa capacidade de transporte de material em suspensão.
CALHA ₆	Lu; Ls; Lar; Lc CSm Fle	Calha em poço, leito em forma de U, composto por cascalhos cobertos por material argiloso, capacidade moderada de transporte de sedimentos.
CALHA ₇	Las; Lar; Lc; Lbr; LBar; LBr CSm Fra	Calha em corredeira com leito assimétrico com presença de blocos de rocha, por vezes cobertos por areia e cascalhos. Capacidade moderada de transporte em suspensão.

Figura 75: *Classificação dos ambientes fluviais do alto Rio das Velhas*

As associações aqui apresentadas revelam uma diversificação das características geomorfológicas e dinâmicas em um curto trecho do Rio das Velhas. A variação tipológica dos níveis deposicionais está ligada ao soerguimento crustal regional do Escudo Brasileiro e aos soerguimentos diferenciais de blocos no Quadrilátero Ferrífero, como já foram discutidos no item 6.1. Os registros não permitem a proposição de

inferências mais precisas sobre as condições climáticas sindeposicionais. A planície, além de apresentar variações devido aos fatores acima citados, refletindo grande variação nos níveis de encaixamento do canal, apresenta também variações de acordo com seu uso, destacando as áreas urbanizadas e as destinadas à pastagem.

As margens variaram principalmente em relação à morfologia e intensidade dos processos de recuo, tendo como principal condicionante a ação do fluxo na base das margens, principalmente no período de cheias.

É importante salientar que os índices utilizados para estabelecer as classes são resultantes de um período de monitoramento relativamente curto, ou seja, que não engloba a ação de vários ciclos de cheia. Portanto, faz-se necessária o refinamento ao longo dos anos com experiência continuada para fornecer maior confiabilidade aos parâmetros utilizados.

6.3.3. Compartimentação dos trechos fluviais de acordo com a morfologia e a dinâmica

A calha fluvial apresenta variações significativas quanto à dinâmica fluvial. A alternância de trechos erosivos e deposicionais já havia sido detectada e representada visualmente por Lana (2004). Tal diferenciação foi apontada pelo autor como consequência da variação de níveis de base locais, relacionados à justaposição de rochas com diferentes graus de resistência ao intemperismo e à erosão. A Figura 76 apresenta a tabela síntese da compartimentação e a Figura 77 à distribuição dos trechos ao longo do vale estudado.

Trecho	Ambientes			Descrição
TRECHO A	PLANÍCIE ₄ PLANÍCIE ₅ PLANÍCIE ₆	MARGEM ₄ MARGEM ₅ MARGEM ₆ MARGEM ₇ MARGEM ₈	CALHA ₄ CALHA ₅ CALHA ₆	Seqüências de poços-corredeira. Ambiente de calha com pavimento pretérito sendo exposto pela erosão atual; e ambiente marginal também pretérito (Terraço Inferior) recoberto pelos sedimentos atuais de planície.
TRECHO B	PLANÍCIE ₂ PLANÍCIE ₇	MARGEM ₂	CALHA ₂ CALHA ₅ CALHA ₆	Formas típicas de canais meandantes (lagoas de cheia, meandros abandonados, depósitos de matéria orgânica na planície) e dinâmica fluvial própria de canais entrelaçados (barras arenosas, canais secundários, variação na descarga e carga sedimentar).
TRECHO C	PLANÍCIE ₈	MARGEM ₈	CALHA ₇	Canal muito encaixado com margens íngremes, leito corre sobre o substrato rochoso. Forte controle estrutural. Presença de barras e ilhas.
TRECHO D	PLANÍCIE ₁	MARGEM ₁ MARGEM ₇	CALHA ₁	Dinâmica tipicamente meandrante. Depósitos típicos de sistema meandrante (areia fina, estrutura plano-paralela e matéria orgânica). Planície urbanizada.

Figura 76: Caracterização dos trechos compartimentados do alto vale do Rio das Velhas

O **Trecho A** localizado próximo às cabeceiras, apresentou como característica predominante a variação da calha em uma seqüência de poços e corredeiras. Estudos realizados por Chin (1999) e Duckson JR. & Duckson (2001) apontam a variação litológica, que oferece diferente resistência ao fluxo, e os fortes contrastes altimétricos nas regiões de cabeceiras, como sendo as principais causas da existência das seqüências de poços-corredeira.

Porém, há que se ressaltar, que considerando os princípios básicos da hidráulica, a existência de poços, caracterizados por redução das velocidades do fluxo e retenção de sedimentos, favorece o aumento da erosão logo à jusante já que o fluxo tem sua energia disponível para erosão aumentada pela redução da carga sedimentar transportada. Neste sentido, é esperado que o fluxo eroda gradualmente os materiais mais friáveis à jusante dos poços removendo-o e expondo o nível basal de seixos. O embasamento detrítico é normalmente mais resistente à erosão, permanecendo como uma couraça protetora do leito e gerando trechos de maior turbulência do fluxo devido ao atrito causado pelos seixos. Este processo de encouraçamento do leito é verificado na área estudada, onde poços são sistematicamente sucedidos por corredeiras nos trechos em que há a exposição do nível basal detrítico do Terraço Inferior. Visualmente, pode-se confundir o Nível de Várzea com o Terraço Inferior já que o nível de seixos do terraço é recoberto, nas margens, pelo Nível de Várzea atual. Temos, portanto, nestes trechos de corredeiras, uma coexistência de ambientes muito distintos temporalmente, em sua gênese: um ambiente de calha com pavimento pretérito sendo exposto pela erosão atual; e um ambiente marginal também pretérito (Terraço Inferior) recoberto pelos sedimentos atuais de planície.

No **Trecho B** o Rio das Velhas apresenta formas típicas de canais meandrantés, quando observado em planta (vide Mapa 5), e características próprias de canais entrelaçados, quando analisado à sua dinâmica fluvial. Neste trecho, são comuns feições como lagoas de cheias, meandros abandonados, planície com depósitos de areia fina à média, presença abundante de matéria orgânica e canal com geometria sinuosa. No entanto, no que se refere à sua dinâmica foi observado que neste trecho a capacidade do rio possui variação similar à descarga, ou seja, quando não são mais capazes de mover sua carga ocorre à formação de barras arenosas e o surgimento de canais secundários.

Esta dinâmica, provavelmente ocorre devido a uma combinação de fatores, como o recebimento de um volume expressivo de carga sedimentar vindos dos afluentes que correm sobre o Complexo do Baçõ, que apresenta características naturais que condicionam a mobilização de sedimentos para o leito dos rios, somados a atividades antropogênicas, principalmente relacionadas à retirada da vegetação original para a implantação da pastagem. E, por fim, mas não menos importante a influência de uma barragem, que funciona como um nível de base local, contribuindo para a diminuição das velocidades de fluxo. Vale ressaltar que as margens côncavas neste trecho apresentaram bastante instáveis, alternando entre episódios erosivos e deposicionais

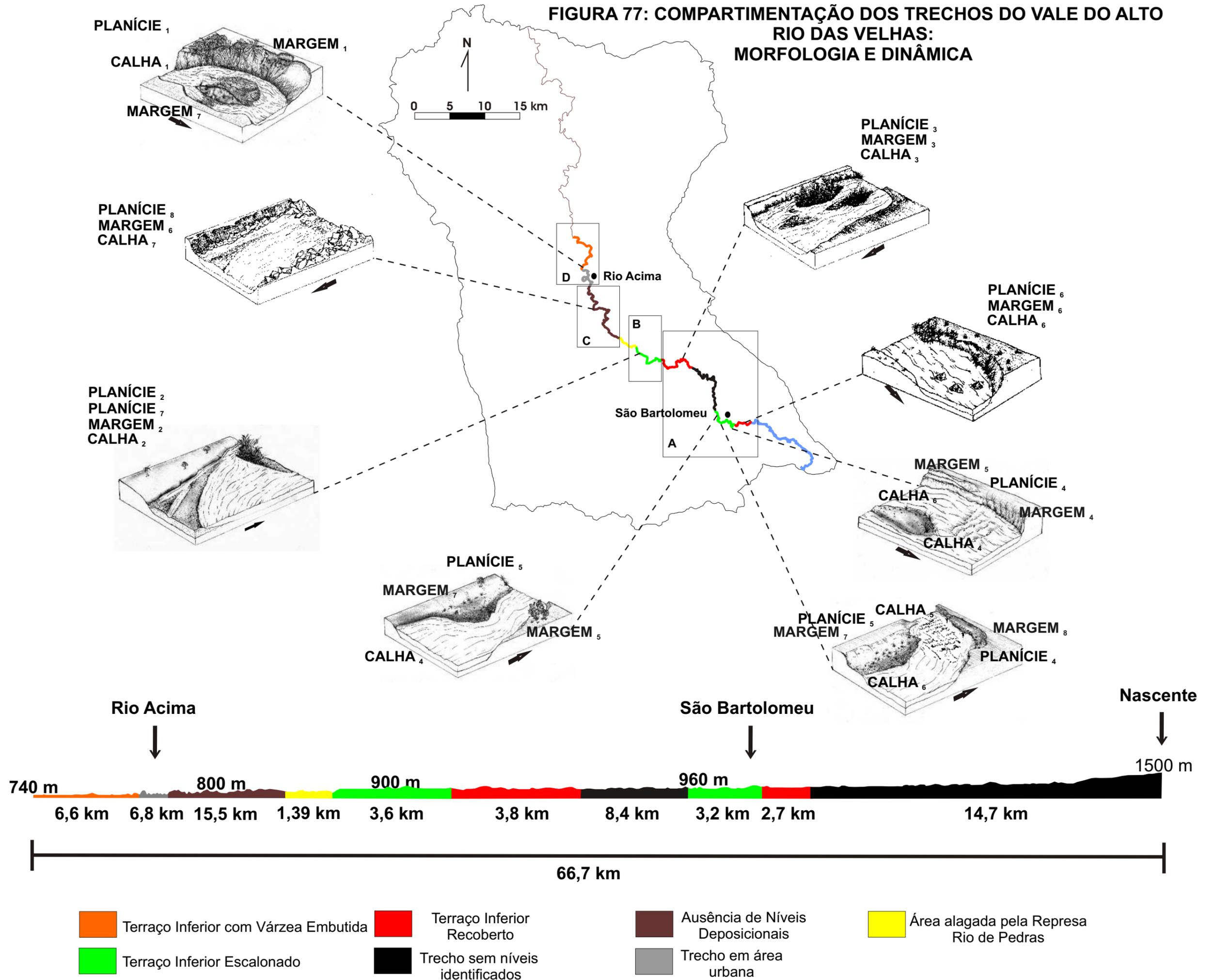
conseqüentes da variação do nível d'água, comprovando assim a ausência de uma dinâmica fluvial meandrante. Por fim, todos os níveis deposicionais deste trecho encontram-se escalonados, desde o Terraço Superior até o Nível de Várzea.

O **Trecho C** corresponde a um segmento onde o canal se encontra muito encaixado com margens íngremes, e o leito corre sobre o substrato rochoso. Esta área se configura por um forte controle estrutural, apresentando trechos retilíneos e curvas fechadas, corredeiras, cachoeiras e barras de canal. Sendo comuns gargantas (*canyons*), ou seja, vales encaixados com escarpas verticalizadas. Este trecho não possui níveis deposicionais.

E o último segmento, representado pelo **Trecho D**, apresenta dinâmica tipicamente meandrante. Possuindo leito assimétrico com máxima velocidade e turbulência do fluxo próximo à margem côncava, que, por sua vez, apresentou-se instável com taxas significativas de recuo. Próximo à margem convexa a profundidade do leito apresentou-se menor com velocidade de fluxo ínfima e depósito de material fino (areia fina, silte, argila). Na planície, foram identificados depósitos de areia fina com estruturas plano-paralelas também relacionadas ao padrão fluvial meandrante. Neste trecho, toda a extensão da planície se encontra na área urbanizada de Rio Acima, além disso se encontra embutida no nível de Terraço Inferior.

A compartimentação da geomorfologia do canal nestes quatro trechos distintos revela a variação da morfologia e dinâmica em curto trecho, podendo-se afirmar que o vale Rio das Velhas em seu alto curso possui um padrão fluvial variado, formando uma miscelânea de características em seu meio físico.

FIGURA 77: COMPARTIMENTAÇÃO DOS TRECHOS DO VALE DO ALTO RIO DAS VELHAS: MORFOLOGIA E DINÂMICA



7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das seqüências estratigráficas sedimentares no alto Rio das Velhas, localizado no Quadrilátero Ferrífero, revelou a presença de quatro níveis deposicionais, sendo o Terraço Superior e Intermediário escalonado e Terraço Inferior apresentando variações tipológicas em relação ao Nível de Várzea. Tais variações associadas às anomalias verificadas na distribuição dos níveis deposicionais no perfil longitudinal permitiram a confirmação de evidências na dinâmica fluvial frente aos processos da tectônica cenozóica já propostas em trabalhos anteriores no médio curso do Rio das Velhas (MAGALHÃES JR., 1993; MAGALHÃES JR. e SAADI, 1994).

O escalonamento dos terraços se relaciona com o soerguimento do Escudo Brasileiro, de alcance regional e as anomalias e variações encontradas no Terraço Inferior refletem a dinâmica de movimentos diferenciais de blocos ao longo do vale.

As evidências encontradas nos depósitos não permitiram a reconstituição de paleoambientes com padrão clássico, entretanto alguns fatores permitiram inferir que a origem dos depósitos está ligada a condições úmidas e a um padrão que pode ter variado entre meandrante e entrelaçado.

No que se refere aos processos de recuo das margens, após o período de monitoramento verificou-se a predominância de três processos, sendo eles a erosão fluvial, principalmente nas cheias, o escorregamento rápido de sedimentos com textura arenosa ou inferior, principalmente quando saturados em água nos períodos de cheia. E, por último, o processo de queda de materiais provocando o recuo das margens causadas principalmente pelo cisalhamento do fluxo na base das margens.

A análise integrada dos dados hidrossedimentológicos resultou em uma compartimentação do vale do alto Rio das Velhas em quatro trechos distintos, que revelaram uma grande diversificação nas características geomorfológicas no âmbito longitudinal, lateral e vertical do sistema fluvial. O que confirma um mosaico de ambientes diferenciados de alta complexidade física de rios interiores em regiões montanhosas, já verificadas por Castro *et al.* (2005).

O primeiro trecho, mais próximo às nascentes apresenta como característica marcante uma seqüência de poços e corredeiras. Os poços estão ligados à diminuição das velocidades do fluxo e retenção de sedimentos e as corredeiras relacionadas ao aumento do fluxo, ao condicionamento de processos erosivos e à redução de transporte de carga. O segundo trecho localizado à montante da Represa Rio de Pedras se aproxima do sistema entrelaçado, revelando elevado fornecimento sedimentar, tanto por

condições naturais, quanto por atividades antropogênicas, que resulta no entulhamento do canal e surgimentos de barras arenosas e aparecimento de canais secundários. No terceiro trecho, o canal assume feições de encaixamento acentuado, vertentes íngremes, relacionado ao forte controle estrutural. O último trecho se localiza próximo à cidade de Rio Acima, onde canal assume características de meandramento típicos por dinâmica erosiva de margens côncavas e deposicionais de margens convexas e geometria sinuosa.

No que diz respeito aos parâmetros que resultaram na compartimentação dos trechos, é preciso salientar a importância da continuidade do monitoramento da dinâmica hidrossedimentológica para que se obtenham dados que expressem a ação de vários ciclos de cheia.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 160 p.

ALKMIM, F. F. & MARSHAK, S. *Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero*. *Precambrian Research*, 1991 90: 29–58p.

AUTIN, W. J. *Use of alloformations for definition of Holocene meander belts in the middle Amite River, Southeastern Louisiana*. *Geological Society of American Bulletin*, v. 104, p. 233-241, feb/1992.

AYOADE, J. O. *Introdução a climatologia para os trópicos*. 5 ed. Bertrand Brasil. São Paulo: 1998. 332p.

BACELLAR, Luis de Almeida Prado; LACERDA, Willy Alvarenga; COELHO NETO, Ana Luiza; *Controlling factors of gullyng in the Maracujá Catchment, Southeastern Brazil*; *Earth Surf. Process. Landforms* 30, 1369–1385 (2005) Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/esp.1193

BACELLAR, Luis de Almeida Prado; LACERDA, Willy Alvarenga; COELHO NETO, Ana Luiza; Universidade Federal do Rio de Janeiro. *Condicionantes geológicas, geomorfológicas e geotécnicas dos mecanismos de voçorocamento na Bacia do Rio Maracuja, Ouro Preto, MG*. 2000 226 p. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

BARBOSA, Aluizio Licinio de Miranda. *Contribuições recentes a geologia do Quadrilátero Ferrífero*. Belo Horizonte, 1985 44p.

BARBOSA, Getulio V. & RODRIGUES, David Marcio S. *Quadrilátero Ferrífero*. Belo Horizonte: 1967. 130p.

CAMARGOS, Luíza de Marillac Moreira. *Plano diretor de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio das Velhas: resumo executivo dezembro 2004/ Luíza de Marillac Moreira Camargos (coord.)*. - Belo Horizonte : Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, 2005. 228 p.

http://aguas.igam.mg.gov.br/docs/cbh/velhas/plano_diretor_completo.pdf. Acessado em 04/10/2006.

CASTRO, P. T. A.; ALVES, J. M.; FERREIRA, H. L.; LANA, C.E. *A Influência dos Níveis de Base Locais nas Características Físicas dos Ecossistemas Fluviais: Os Rios Periféricos à Serra do Espinhaço Meridional, MG*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE LIMNOLOGIA, 10., 2005, Ilhéus. Anais em CD-Rom.

CASTRO, P. T. A.; ENDO, Issamu; MAIZATTO, J. R.; SANTOS, M. C.; LIPSKI, M. *Depósitos Sedimentares Cenozóicos do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil*. In XI Congresso Latino Americano de Geologia, 2001, Montevidéu. Anais do XI Congresso Latino Americano de Montevidéu, 2001. v. 1.

CHIN, A. *The morphologic structure of step-pools in mountain streams*. *Geomorphology* Vol. 27 - 1999. p.191–204

CHRISTOFOLETTI, Antonio. *Geomorfologia*. São Paulo, Edgard Blucher., 1974. 149p

CHURCH, M. *Channel Morphology and Typology*. In *The Rivers Handbook: Hydrological and Ecological Principles*. CALOW, P.; PETTS, G. E., Volume 1. Oxford, 1992.

COBRAPE (Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos), 2001. *Projeto marca d'água - Relatórios Preliminares- Bacia do Rio das Velhas – Brasília*. <http://www.marcadagua.org.br/velhas.pdf> . Acessado em 16/11/2006.

COBRAPE (Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos), 1997. *Estudo de Implantação para da Agência da Bacia do Rio das Velhas – Relatórios*. São Paulo <http://www.hidricos.mg.gov.br/bacias/velhas1.htm>. Acessado em 16/11/2006.

COELHO, Marco Antônio Tavares. *Rio das Velhas: memória e desafios*. São Paulo: Paz e Terra, 2002 186 p.

CUPP, C. E. *Stream Corridor Classification for Forest Lands of Washington*, Washington Forest Protection Association, Washington: Olympia, 1989, 24 p. + anexos.

CUSTÓDIO, T. N. *Curso de nivelamento em estatística*. Departamento de Ciências Exatas - UFLA, 2005. 124p.

DORR II, John V. N; BRASIL. Desenvolvimento fisiográfico, estratigráfico e estrutural do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil: geologia regional do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. 1969. 204 p.

DUCKSON JR., D. W. & DUCKSON, L.J. *Channel bed steps and pool shapes along Soda Creek, Three Sisters Wilderness, Oregon*. Geomorphology vol.38 - 2001. p.267–279

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de solos (RJ). *Manual de Métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: EMBRAPA-1997.212p.

ENDO, I.; ROSIÈRE, C. A.; CHEMALE JR., F. *Roteiro de excursão geológica no Quadrilátero Ferrífero e regiões adjacentes*. VI Simpósio de Geologia – Núcleo de Minas Gerais. III Semana de Estudos Geológicos da SICEG. Ouro Preto - novembro, 1991. 57p.

FERNANDEZ, O. V. Q. *Mudanças no canal fluvial do rio Paraná e processos de erosão das margens da região de Porto Rico, PR*. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Universidade Estadual de São Paulo/UNESP, Rio Claro. 1990. 86 p.

FERREIRA JR. & P. D.; CASTRO, P. T. *Associação vertical de fácies e análise de elementos arquiteturais: concepções concorrentes e complementares na caracterização de ambientes fluviais*. Revista Eletrônica de Ciências da Terra – Geociências On-line Journal – GOTIC – Sociedade Geológica de Portugal. Volume 1 nº 1 – 2001. <http://e-terra.geopor.pt/artigos/pfjr/pfjr.pdf>. Acessado em 06/06/2007.

GALAY, V. J.; KELLERHALS, R.; BRAY, D.I. *Diversity of River Types in Canada*. In.: *Fluvial Processes and Sedimentation, Proceedings of Hydrology*. Symposium, nº 9, Edmonton / Alberta (Canada): National Research Council of Canada, 1973, pp. 217 – 250.

GAMA JR., E. (a). *Concepções Estratigráficas em Análise de Bacias: A: A Estratigrafia Tradicional*. Geociências, São Paulo, nº 8, p. 1-10, 1989.

GAMA JR., E. (a). *Concepções Estratigráficas em Análise de Bacias: B: Sofismas Conceituais e Metodológicos da Layer Cake Stratigraphy*. Geociências, São Paulo, nº 8, p. 11-20, 1989.

GAMA JR., E. (b). *Concepções Estratigráficas em Análise de Bacias: C: A Estratigrafia Genética*. Geociências, São Paulo, nº 8, p. 21-36, 1989.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2007. <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/default.shtm>
Acessado em 24/11/2007

IEF. *Relatório do Meio Biótico - Zoneamento Ecológico da Área de Proteção Ambiental Estadual Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto/Minas Gerais*. Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Biologia Animal / Departamento de Biologia Vegetal/ Instituto Estadual de Florestas –MG, 2005. 126p.

KNIGHTON, D. *Fluvial Forms and Processes*. ED. Edward Arnold. Senior Lecturer in Geography University of Sheffield, 1984. 218 p.

LADEIRA, Eduardo Antonio. *Metallogenesis of gold at the Morro Velho, mine and in the Nova Lima district, Quadrilátero Ferrífero, M. G., Brazil*. 1980. 272p.

LANA, C. E. *Cartografia Integrada de Ecossistemas Lóticos (Fluviais) no Alto Curso do Rio das Velhas, MG*. Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 2004. 175 p.

LANA, C. E. & CASTRO, P. T. A. *Respostas da rede de drenagem à heterogeneidade geológica em bacias hidrográficas: uma comparação entre as bacias do Alto Rio das Velhas e Jequitaiá – MG*. VI SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, Goiânia, 2006. Anais em CD-Rom

MAGALHÃES JR, A. P. & SAADI, A. *Ritmos da dinâmica fluvial neo-cenozóica controlados por soerguimentos regionais e falhamento: o vale do Rio das Velhas na região de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil*. *Geonomos*. vol. 2 n. 1, 1994. p. 42-54

MAGALHÃES JR. A. P. *Evolução da dinâmica fluvial cenozóica do Alto-médio Rio das Velhas na região de Belo Horizonte - MG*. Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Dissertação de Mestrado, 1993.

MELO, U.; SUMMERHAYES, C. P.; TORNER, L. G. *Metodologia para o estudo do material em suspensão na água do mar*. Boletim Técnico PETROBRÁS, Rio de Janeiro. 18 (3/4): 115-127p. jul./dez. 1975.

MIALL, A. D. *The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology*. Berlin: Springer-Verlag, 1996. 582 p.

MIALL, A. D. *Architectural Element Analysis: A new Method of Facies Analysis Applied to Fluvial Deposits*. *Earth-Science Reviews*, Amsterdam, v. 22, 261-308p., 1985

OLIVEIRA FILHO, Ary T. & FLUMINHAN FILHO, Miguel. *Ecologia da Vegetação do Parque Florestal Quedas do Rio Bonito*. CERNE, V. 5, N. 2., 1999, p.51 – 64.

PETTS, G. E. & FOSTER, D. L. *Rivers and Landscape*. ED. Edward Arnold, 1985. 274 p.

RAMALHO FILHO, A. & BEEK, K. J. *Sistema de Avaliação de Aptidão Agrícola das Terras*. 3.ed. ver. Rio de Janeiro: Embrapa.CNPS, 1995. p.65.

SALGADO, A. A. R. *Estudo da Evolução do Relevo do Quadrilátero Ferrífero, MG – Brasil, Através da Quantificação dos Processos Erosivos e Denudacionais*. Tese de Doutorado em co-tutela ao Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais do Departamento de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto e ao Centre Européen de Recherche et Enseignement em Géosciences (Université Paul Cézanne/France), Ouro Preto, 2006. 116p.

SALGADO, A. A. R.; COLIN, F.; NALINE Jr., H.A.; BRAUCHER., R.; VARAJÃO, A. F. D. C.; VARAJÃO, C. A. C. *O Papel da Denudação Geoquímica no Processo de Erosão Diferencial no Quadrilátero Ferrífero/MG*. Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 5, Nº 1, 2004. 55-69 p.

SELLEY, Richard C. *Ancient sedimentary environment a brief survey*. London: 1976. 237p.

SUGUIO, K. & BIGARELLA, J.J. *Ambientes Fluviais*. Editora UFPR, 1980. 183 p.

VARAJÃO, C. A. *A questão da ocorrência das superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Revista Brasileira de Geociências, 21: 131-145p. junho de 1991.

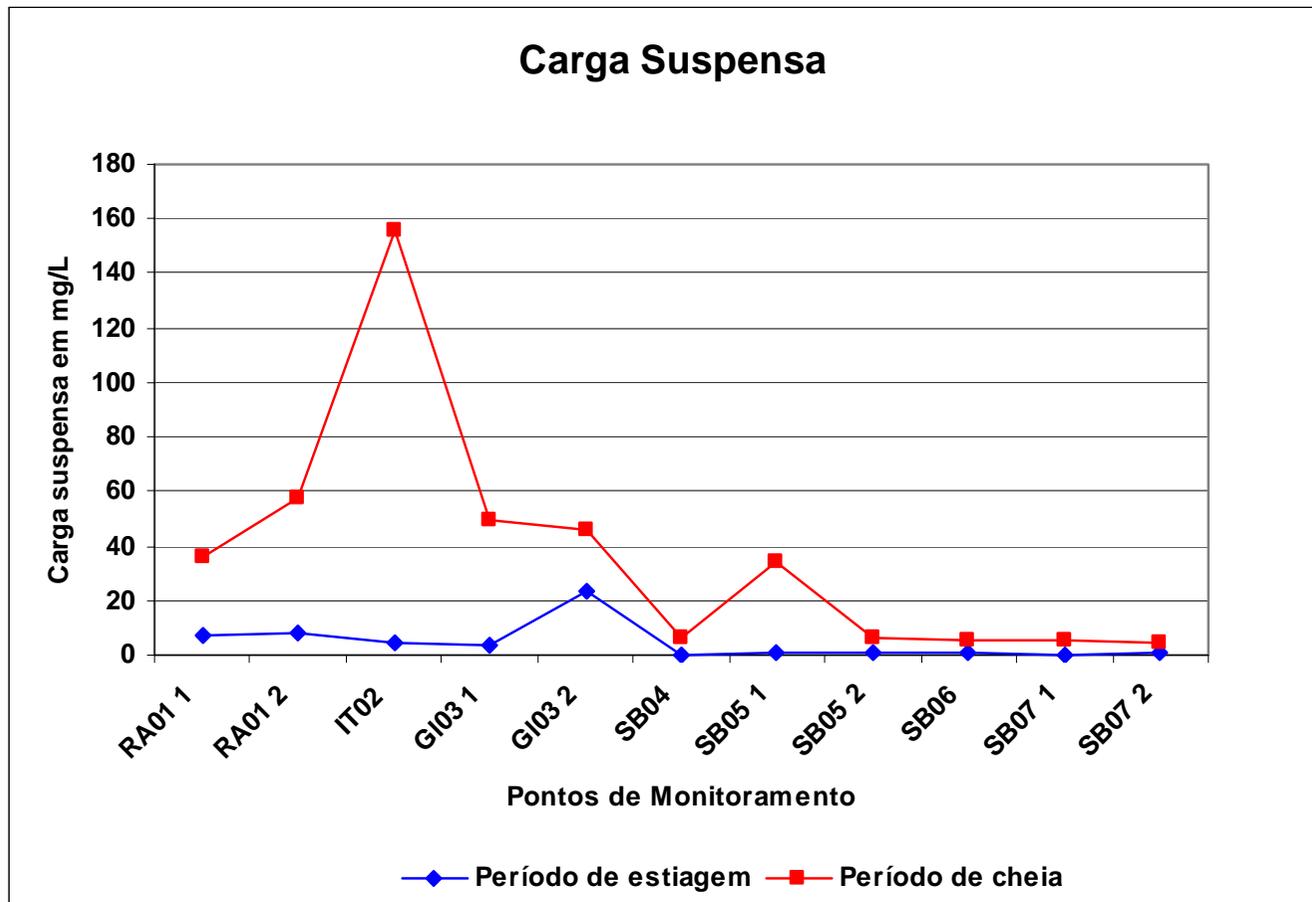
9. ANEXOS

LP/LR* metros			
Pontos	Largura da Planície	Largura do rio	LP/LR
RA01	60	46	1,3
IT02	40	32	1,2
GL03	50	16	3,1
SB04	180	5	36
SB05	80	7,60	10,5
SB06	30	6,25	4,8
SB07	26	19,9	1,3

* outras medidas foram feitas por meio das ortofotos

Velocidade m/s			
Pontos	Estiagem	Cheia	Média
RA01₁	3,39	1,4	2,4
RA01²	0,09	0,11	0,1
IT02	0,54	0,56	0,55
GL03₁	1,48	2,47	1,97
GL03₂	0,42	0,40	0,41
SB04	1,03	1,4	1,21
SB05₁	1,27	1,32	1,30
SB05₂	0,15	0,23	0,19
SB06	0,22	0,39	0,30
SB07₁	1,2	1,32	1,26
SB07₂	0,12	0,15	0,14

Medições Fluviométricas					
Pontos	Largura (m)	Profundidade média (m)	Área (m²)	Velocidade média (m/s)	Vazão m³/s
RA01	40	0,65	24,35	1,25	30,4
IT02	32	0,29	8,08	0,55	4,5
GL03₁	8,6	0,25	1,89	1,97	3,72
GL03₂	16,6	0,5	6,7	0,41	2,75
SB04	5,6	0,30	1,22	1,21	1,48
SB05₁	7,5	0,43	0,97	1,30	1,26
SB05₂	8,6	0,6	3,5	0,19	0,66
SB06	6,6	0,64	2,47	0,30	0,75
SB07₁	6,5	0,28	1,4	1,26	1,7
SB07₂	11	0,6	5,1	0,14	0,71



Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)