Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Geociências

RELATÓRIO FINAL

SUBPROJETO 1a

ANÁLISE DA DINÂMICA DE ENCOSTAS E DA HIDROGEOMORFOLOGIA DA BACIA DE DRENAGEM BACIA DO RIO PANDEIROS

Temas do subprojeto: Geomorfologia da bacia do Rio Pandeiros: evolução e dinâmica da bacia de drenagem; caracterização das vertentes e de seus processos erosivos; drenagem da bacia; hidrogeomorfologia e geofísica da região do Pantanal e de evolução do uso e ocupação da terra.

Subprojeto do Projeto
Sustentabilidade da bacia do rio Pandeiros - MG: Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros **(APQ-03773/14)**

Belo Horizonte
Junho/2020

SUBPROJETO 1a - INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - UFMG

ANÁLISE DA DINÂMICA DE ENCOSTAS E DA HIDROGEOMORFOLOGIA DA BACIA DE DRENAGEM BACIA DO RIO PANDEIROS

Equipe:

Dra. CRISTINA HELENA RIBEIRO ROCHA AUGUSTIN

Professora Titular do Departamento de Geografia, Instituto de Geociências- Membro do CPMTC, Universidade Federal de Minas Gerais (Subcoordenadora do Grupo).

Dr. PAULO ROBERTO ANTUNES ARANHA

Professor Associado IV, Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.

Dr. BRÁÚLIO MAGALHÃES FONSECA

Professor Adjunto II, Departamento de Cartografia, Instituto de Geociências, Membro do CPMTC, Universidade Federal de Minas Gerais.

Dr. DIEGO ALVES DE OLIVEIRA

Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação de Geografia do Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Professor do Instituto Federal de Ensino, Ouro Preto, MG.

Dr. THOMAS DARGIE

Consultor internacional na área de Ecologia, Escócia, UK.

Dra. CRISTINA PERSANO

Professora do Institute of Geography and Earth Sciences- Universidade de Glasgow, UK.

ARNON COSTA PEREIRA DE LIMA

Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.

POLYANA DUARTE DE OLIVEIRA SILVA

Mestranda do Programa de Pós-Graduação de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.

Dra. MAKÊNIA OLIVEIRA SOARES GOMES

Programa de Pós-Graduação de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.

SHIRLEY MARIA LIMA SABINO

Mestranda do Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto.

GUILHERME GANDRA FRANCO

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais - Bolsista Apoio Técnico.

DAYANNE CAROLINE FREITAS CARVALHO

Curso de Graduação de Geografia (Trabalho de Conclusão do Bacharelado-TCC-1 e 2), Departamento de Geografia, Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.

THAÍS FRANCISCO COUTO

Curso de Graduação de Geografia (Trabalho de Conclusão do Bacharelado- TCC 1), Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.

GILBERTO MENDES DA CUNHA JÚNIOR

Curso de Graduação de Geologia (Bacharelado), Bolsista de IC - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais **-** Bolsista IC.

CAROL DE FRANCISCHI SANCHEZ

Curso de Geografia (Licenciatura) – Auxiliou nas análises de sedimentos no Laboratório de Geomorfologia. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.

Apoio técnico:

RICARDO SCOTT VARELA MALTA

Tratamento das imagens do drone.

FERNANDO CÉZAR

Mestrando, técnico responsável pelo Laboratório de Geomorfologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.

Sumário

Equipe: 2

Apoio técnico: 3

1 – DESCRIÇÃO DO SUBPROJETO 1a 5

Contexto do Subprojeto 5

1.1 Geral 5

1.2 Específico 5

1.3 Linha temática 1 - Dinâmica de vertentes da Bacia do rio Pandeiros 5

2 – DESENVOLVIMENTO DO SUBPROJETO 1a 6

2.1 Geral 6

2.2 Objetivos específicos 6

2.3 Pré Requesitos 7

3 – ASPECTOS METODOLÓGICOS DAS PESQUISAS DO SUBPROJETO 1a 9

Orientações Básicas 9

3.1 Procedimentos metodológicos gerais das pesquisas do subprojeto 1a 9

3.2 Métodos e Técnicas 10

3.2.1 Definição Temática das Abordagens e Levantamento da Bibliografia Pertinente à Bacia; Elaboração de Mapas Preliminares 10

3.2.2 Etapas de Obtenção de Dados Envolvendo Dois Tipos de Atividades Principais: 11

3.3 Técnicas utilizadas para o mapeamento 13

3.4 Laboratórios 16

4 –PRINCIPAIS RESULTADOS DO SUBPROJETO 1a 16

4.1 RESUMO DOS SUBTEMAS 18

4.1.1 Evolução geológica e geomorfológica da bacia do rio Pandeiros 18

4.1.2 Características das formas de relevo 36

4.1.3 A drenagem da bacia do rio Pandeiros 64

4.1.4 Processos de voçorocamento na bacia 102

4.1.5 Resultados do cálculo de perda de sedimentos das voçorocas, etapas 1 e 2, com o uso de drone. 120

4.1.6 Relatório atividades das análises geofísicas 131

4.1.7 Resultados do mapeamento de variação espaço-temporal do uso da terra e cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Pandeiros – MG 145

4.1.8 O Pantanal Mineiro 154

4.1.9 Utilização do isótopo ^{7}Be como método de investigação da erosão em escala de vertente 165

4.1.10 Paleovegetação, paleoclima e dinâmica fluvial na bacia do rio pandeiros – MG, durante o Quaternário Tardio 196
5 – RELAÇÃO DAS PUBLICAÇÕES DO SUBPROJETO 1A 203
5.1. Publicações em Revistas Indexadas 203
5.2. Publicações como Capítulos de Livros 204
5.3. Apresentação de Trabalho 204
5.4. Produção Acadêmica 205
5.5 Lista dos Autores que participaram deste Relatório 206

DESCRIÇÃO DO SUBPROJETO 1a

Contexto do Subprojeto

Esse subprojeto atendeu ao Edital FAPEMIG 13/2014 **SUSTENTABILIDADE DA BACIA DO RIO PANDEIROS,** em seus objetivos:

1.1 Geral

Financiar projetos de ação e pesquisa científica, tecnológica e de inovação relacionados as linhas temáticas descritas no item 2 que contribuam com a preservação, conservação e recuperação do meio ambiente na Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros.

1.2 Específico

Desenvolver apresentar e/ou implementar na região da Bacia do Rio Pandeiros tecnologias que visem à sua preservação, conservação, recuperação e ao desenvolvimento sustentável da região.

Também no que se refere à linha temática:

1.3 Linha temática 1 - Dinâmica de vertentes da Bacia do rio Pandeiros, do mesmo Edital, no que tange ao:

1.3.1 Produto esperados:

a) Levantamento dos processos erosivos (tipos, localização, causas, dentre outros) da Bacia do Rio Pandeiros, com geração de mapas

planialtimétricos das voçorocas, conforme polígono definido pelas seguintes coordenadas:

- 15º03´06´´S 45º14´30´´O
- 15º15´29´´S 45º13´15´´O
- 15º13´49´´S 45º04´59´´O
- 15º05´42´´S 45º06´58´´O

b) identificação da origem do processo de assoreamento do Pântano do Rio Pandeiros e levantamento quantitativo do volume sedimentar depositado.

2 – DESENVOLVIMENTO DO SUBPROJETO 1a

OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar a dinâmica geomorfológica da bacia do Rio Pandeiros, MG, como base para a compreensão dos fatores associados ao desencadeamento dos processos erosivos e dos seus efeitos no assoreamento dos canais fluviais e, em especial, da região do Pantanal.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar os fatores naturais da bacia: geologia, geomorfologia e regolitos (solos e sedimentos);
- Identificar os principais tipos de erosão na bacia do rio Pandeiros;
- Analisar os fatores causais da erosão e consequente assoreamento dos canais fluviais e do Pantanal;
- Caracterizar, localizar e quantificar a perda volumétrica e mapeamento, por amostragem, de erosão por voçorocamento;
- Identificar áreas da bacia “naturalmente” mais susceptíveis aos processos erosivos;
- Caracterizar as feições do meio natural físico do Pantanal do rio Pandeiros, e levantar dados sobre sua dinâmica hidrogeomorfológica e fatores associados;

- Analisar a evolução do uso e ocupação da terra na bacia;
- Avaliar a perda total volumétrica de um número representativo de voçorocas mapeadas com o uso de drone.

2.3 Pré Requesitos

Para atingir esses objetivos, foram produzidos:

- Mapa Geológico na escala 1:100.000, modificado a partir dos Mapas da CODEMIG/UFMG (2015), e para o qual foram realizados acompanhamentos de campo, como base para analisar as influências do substrato rochoso nas formas de relevo e nas características da drenagem;
- Mapa das Unidades Geomorfológicas, como base para a amostragem da erosão tanto acelerada quanto dispersa, bem como para subsidiar análise da variabilidade do relevo, da energia potencial das diversas porções da bacia; e identificar as áreas de amostragem de solos, regolitos, sedimentos, cobertura vegetal, água, material orgânico para análise de 14C; de sedimentos para análise de 10Be e dos transectos de Ground Penetrating Radar (GPR);
- Mapa Hipsométrico, que possibilitou a análise da topografia da bacia e a identificação dos principais eixos de energia potencial para a erosão.
- Mapa do Índice de Hack (IH), que indica a variação da energia das sub-bacias de drenagem, apontando àquelas nas quais há maior potencial para a erosão;
- Mapa de Declividade, considerado um dos fatores mais importantes associados à erosão e à deposição de sedimentos;
- Mapa de *knickpoints*, que são rupturas de declive, nas quais a energia dos fluxos de escoamento na superfície das vertentes e fluviais tende a aumentar a velocidade, e com isto, a capacidade potencial dos mesmos de provocar erosão;
- Mapa de Índice de Concentração de Rugosidade (ICR), que indica áreas com maiores ondulações do terreno, associadas ao aumento da capacidade de incisão dos vales, dado que sugere maior energia dos rios de subáreas, ou seja, maior capacidade erosiva dos fluxos fluviais;

- Mapa de Assimetria da bacia, uma vez que, em conjunto com os outros mapas, pode indicar diferenças no potencial de erosão dos dois lados do rio Pandeiros;
- Mapa de localização das voçorocas na bacia, que serviu como orientador das amostragens de campo e para análise dos fatores que influenciam a ocorrência dessas formas erosivas;
- Mapa da variação espaço-temporal do uso da terra e cobertura vegetal da bacia, no qual são comparados períodos diferentes, mostrando as mudanças e alterações espaciais e temporais dos mesmos;
- Mapa de Solos (com base no Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais, 2010), que serviu de base para a análise do Mapa de Uso e Ocupação Potencial da Terra na bacia do rio Pandeiros, MG;
- Mapa de Uso e Ocupação Potencial da Terra, no qual são apresentados os usos e ocupações propostas com base na análise do cruzamento de vários parâmetros obtidos, medidos e coletados no campo, analisados em laboratórios e por meio de geoprocessamento, tendo como referência a proteção ambiental e a sustentabilidade da bacia do rio Pandeiros.
- Levantamento de voçorocas, por amostragem, com o uso de drone, para cálculo de perda volumétrica por voçoroca e aerofotogramétrico para cálculo da proporção da área afetada por voçorocas.
- Esses Mapas foram apresentados como parte de diversos produtos, resultantes dos trabalhos produzidos pelo Grupo 1a como: artigos em revistas indexadas, capítulos de livros, apresentações em eventos Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCC), Mestrados e Doutorados, que constam do ANEXO I do Grupo 1a, deste Relatório.

3. ASPECTOS METODOLÓGICOS DAS PESQUISAS DO SUBPROJETO 1a

Orientações Básicas

Para que os objetivos fossem atingidos, o Grupo do Subprojeto 1A necessitou estabelecer algumas orientações básicas de análise:

- Distinção entre duas abordagens: a da bacia como área drenada pelo rio Pandeiros e seus afluente, e o sistema de drenagem desse rio, que é a articulação entre rio Pandeiros e seus tributário**.**
- Caracterização do relevo e histórico evolutivo da bacia, com destaque para os aspectos hidrogemorfológicos da área do Pantanal e sua conexão hidrológica com o rio São Francisco, como meio para o entendimento da dinâmica.
- Compreensão das principais causas da erosão/assoreamento da bacia do Rio Pandeiros e se estas causas são atuais, relativas ao uso e ocupação da terra, ou pretéritas, associadas à própria dinâmica geomorfológica da bacia ou, ainda, à atuação de ambas.

3.1 Procedimentos metodológicos gerais das pesquisas do subprojeto 1a

Para responder à questão de onde e porque ocorrem processos erosivos, questão esta fundante para o trabalho, e para possibilitar identificar o que, como e, em alguns casos, onde preservar, conservar e recuperar, as pesquisas do grupo tiveram início com a necessidade de conhecer a bacia do rio Pandeiros do ponto de vista geomorfológico, ou seja, relativo às características e dinâmica das formas de relevo da bacia, incluindo as análises dos regolitos (solo, e sedimentos). Isto se justifica na medida em que todas as atividades humanas e dos ecossistemas, bem como a disponibilidade dos recursos naturais, estão localizadas na superfície terrestre ou próxima a ela, da mesma maneira que os impactos ambientais negativos. Como a geomorfologia estuda as formas de relevo e seus processos associados, incluindo os de encostas e fluviais, bem como seus efeitos sobre o meio ambiente, esta é uma abordagem que, por si, é integradora.

Os trabalhos realizados visam ainda obter uma melhor compreensão da dinâmica superficial da água, incluindo a análise dos fatores que interferem nessa dinâmica (hidrogeomorfologia), para que seja possível estabelecer políticas de proteção e recuperação da bacia. Buscam também definir os impactos do uso e ocupação da terra, como maneira de verificar se a retomada erosiva em algumas áreas se dá

pela atuação de fatores naturais ou antrópico, ou se são decorrentes da ação de ambos.

Procurou-se conhecer as características morfológicas do Pantanal, assim como da composição dos seus regolitos (solos e sedimentos), além da dinâmica hidrogeomorfológicas, para entender as causas do seu assoreamento.

Para isto, foram utilizadas várias técnicas e uma série de procedimentos indicados a seguir e que se encontram detalhados nas teses, Dissertações e Trabalhos de Conclusão de Curso, IC´s, revistas e eventos científicos, capítulos de livros, publicações geradas pelas pesquisas deste grupo, e que estão também assinalados nos "Resultados Obtidos" e disponibilizados nos **Anexos I** deste Relatório.

3.2 Métodos e Técnicas

Os trabalhos desenvolvidos pelo grupo de pesquisa do Subrojeto 1a, envolveram o uso de vários métodos e técnicas, desde aqueles de mapeamento preliminar e de sumarização de dados, aos de análises laboratoriais avançadas, como de 10Be e 14C, realizadas no Scottish Universities Environmental Research Center (SUERC), Glasgow, Escócia, UK e os do 7Be, nos laboratórios do CDTN-BH.

A descrição da metodologia específica de cada pesquisa é encontrada nas Publicações Temáticas do ANEXO I.

As etapas gerais dos métodos e técnicas utilizadas pelo Grupo 1a estão elencadas abaixo:

3.2.1 Definição Temática das Abordagens; Levantamento da bibliografia Pertinente à Bacia; Elaboração de Mapas Preliminares

- Reconhecimento preliminar, com base nos documentos disponíveis da área, incluindo os geológico e geomorfológico da bacia, realizado através e com base na análise dos mapas geológicos da CODEMIG (2015), na escala 1:100.000 das folhas: São Joaquim-SD.23-Y-D-III; Catolé - SD.23-Z-C-I; Januária - SD.23-Z-C-II; São Francisco - SD.23-Z-C-IV e Folha São João da Ponte - SD.23-Z-C-V, e dos Mapas Topográficos do IBGE, escala 1:100.00, das Folhas: Catolé-SD.23-Z-C-I, 1970; Januária-SD.23.Z-C-II (MI-2178), 1980 (2ª. Edição); São Joaquim-SD.23-Y-D-II e São Francisco-

SD.23-Z-C-IV, ambos de 1972; foto-aéreas, escala 1:60.000, CEMIG, 1969;

- Trabalhos de campo iniciais para o reconhecimento da bacia, um deles envolvendo todo o Grupo da Linha de Pesquisa, e outros, para identificação de áreas com características específicas, para orientar as amostragens;
- Elaboração de mapeamentos preliminares, seguindo metodologia descrita por Oliveira *et al*. (2017), com a geração dos seguintes mapas integrados da bacia: geológico, de declividade, Índice de Concentração de Rugosidade (ICR), Índice de Hack e de Orientação das Vertentes, que serviram de base para a geração do Mapa de Unidades Geomorfológicas, que possibilitou a identificação de seis grandes Unidades Geomorfológicas, representadas em um mapa correspondente, bem como das voçorocas. Este mapeamento possibilitou orientar as amostragens e na interpretação dos dados de todos os trabalhos conduzidos pelo grupo.

3.2.2 Etapas de Obtenção de Dados Envolvendo Dois Tipos de Atividades Principais:

- Observações e medições;
- Coletas de amostras de regolitos (solos e sedimentos) para análises físicas e químicas e análises de 10be, C14, 7be;
- Coleta de amostras de água para análises químicas e físicas;
- Elaboração de mapas e perfis geológicos preliminares.

Foram assim divididas:

Mapeamentos preliminares:

Voçorocas e identificação de áreas de amostragem da coleta de solo, regolitos e sedimentos em vertentes com voçorocas para a identificação de áreas de amostragem para análise da área do Pantanal do rio Pandeiros.

Trabalhos de campo para:

- Validação de campo dos mapas preliminares;

- Coleta de amostras e informações de solos e material regolítico de vertentes com a presença de voçorocas para análises de parâmetros físicos e químicos em laboratório;
- Obtenção de medidas de densidade e estratificação da cobertura vegetal nas áreas do entorno das voçorocas;
- Medidas, e coleta de informações e de amostras de sedimentos de áreas previamente definidas na área do Pantanal, para fins de caracterização física e química do solo e do material sedimentar;
- Coleta de informações e coleta de material orgânico para datação de 14C para análise das variações de ambiente deposicional do Pantanal no Quaternário;
- Coleta de amostras no alto, médio e baixo curso do rio Pandeiros e afluentes, além de coleta no alto, meio e baixo cursos dos rios Peruaçu e Pardo (para efeitos de comparação de perda por desnudação física) de quartzo para análise de 10Be, com vistas á analise da variação das taxas de perda em 1.5Ma;
- Instalação de 5 *divers* no pantanal do rio Pandeiros, buscando amostrar longitudinalmente o regime de flutuação do nível freático em cada uma das unidades de amostragem delimitadas nesta pesquisa. O *diver* utiliza a altura da coluna d'água para medir a pressão exercida sobre ele. Há também um *diver* que mede a pressão atmosférica, o qual não fica submerso, funcionando como um barômetro;
- Registro das medidas dos valores dos *divers* 2 vezes por ano, antes e durante o período chuvoso;
- Coleta duas vezes por ano de águas do rio Pandeiros e do rio São Francisco, antes e depois da desembocadura do rio Pandeiros, para fins e reconhecimento da “assinatura” química do primeiro, no segundo;
- Obtenção de informações e coleta de amostras para 7Be em três áreas do alto, médio e baixo bacia do Pandeiros para medidas de perda de sedimentos por erosão dispersa;
- Realização de transectos com o uso do *Ground Penetraing Radar* (GPR), para identificação de sequências deposicionais nas áreas do Pantanal;

- Mapeamento, com auxílio de drone, de voçorocas para cálculo de perda erosiva.

Elaboração de cortes geológicos e geomorfológicos

Tendo em vista a grande extensão territorial da bacia, a delimitação espacial dessas unidades foi essencial para a identificação de características importantes da área. Ela auxiliou também na definição das áreas de amostragem, de acordo com cada temática sobre os diferentes aspectos naturais, físicos da área de estudo. Para auxiliar nestas análises, foram realizados cortes (perfis) longitudinais e transversais à bacia do rio Pandeiros.

Fase de Processamento dos Dados

Nessa fase, foram produzidos vários trabalhos científicos (Anexo I), entre artigos para revistas científicas, capítulos de livros, TCC´s, Mestrado e Tese de doutorado (Anexo III). Também foram consolidados os dados de campo laboratório e os mapeamentos das voçorocas com o uso de drone, com o cálculo das perdas volumétricas das voçorocas e comprometimento da superfície com as voçorocas, bem como mapeamentos e sumarização de dados do Pantanal, com análises da evolução da bacia e sua relação com a produção de sedimentos. Inclui a redação final deste relatório.

3.3 Técnicas utilizadas para o mapeamento

- Mapa Geológico foi elaborado a partir da base cartográfica do Mapa Estadual de Geodiversidade de Minas Gerais (Serviço Geológico do Brasil, escala de 1: 1.000.000 (2008), com o uso de software de SIG, permitindo um recorte da base cartográfica a partir do limite da bacia (OLIVEIRA *et al*., 2017). Mais tarde, na etapa 6, o mapa geológico foi reconfigurado, a partir dos Mapas Geológicos da CODEMIG (2015), com apoio de observações de campo e análise de imagens Google Earth (dezembro/2019). Ele serviu de base para os cortes geológicos e geomorfológicos do relevo.
- Mapa dos Domínios Geomorfológicos. Para a geração deste mapa, foram utilizados os Mapas de Orientação das Vertentes, Índice de Hack, Índice de Concentração da Rugosidade e Declividade, analisados em SIG, sendo que em cada mapa foram delimitadas visualmente, unidades com

características, ou valores semelhantes. “Após esse procedimento, estes foram visualizados no ambiente SIG, o que permitiu a delimitação manual, por overlay, dos domínios geomorfológicos, tendo como base os limites próximos ou semelhantes entre cada limite temático. Foram identificadas 6 grandes áreas na bacia hidrográfica que apresentam características temáticas próximas e diferentes das áreas do seu entorno, permitindo que cada grande unidade fosse designada como um domínio geomorfológico” (OLIVEIRA *et al.,* 2017, p. 6258).

- O mapa de Orientação de Vertentes consiste no cálculo do azimute do máximo gradiente de declividade das vertentes. Foi confeccionado tendo como base modelo digital de elevação SRTM, imagens obtidas no Projeto TopoData do INPE (imagens 15s45, 15s465, 14s45 e 14s465). Em ambiente SIG, as imagens foram recortadas conforme o limite da bacia e após, foram classificadas segundo os pontos cardeais Norte (vertentes com azimutes de 0º a 45º e 315º a 360º), Sul (vertentes com azimutes de 135º a 225º), Leste (vertentes com azimutes de 45º a 135º) e Oeste (vertentes com azimutes de 225º a 315º).
- O Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) foi gerado segundo a metodologia de Sampaio e Augustin (2014), também em ambiente SIG, a partir de imagens SRTM TopoData, utilizadas também para o Mapa de Orientação de Vertentes. Os valores de declividade foram interpolados usando a Densidade de Kernel, com raio de busca 1.128m. Os valores, após normalização, foram classificados pelo Desvio Padrão em 5 classes: plano valores de ICR de 0,000000036 a 0,064942172; suavemente ondulado - valores de ICR de 0,064942172 a 0,159531191; ondulado – valores de ICR de 0,159531191 a 0,254120209; fortemente ondulado – valores de ICR de 0,254120209 a 0,348709227; escarpado – valores de ICR de 0,348709227 a 1,000000119; fortemente escarpado - valores de ICR acima de 1,000000119.
- O Mapa do Índice de Hack foi obtido empregando a metodologia proposta por Etchebehere, *et al*. (2004), Etchebehere, *et al*. (2006) e Fonseca e Augustin (2014), utilizando imagens TopoData e a rede hidrográfica fornecida pelo IGAM (2014). Utilizou-se o interpolador do IDW, o qual calcula o valor ponderado pelo inverso do quadrado da distância, sendo os

valores finais normalizados, enquanto as classes de valores foram definidas pela distribuição do desvio padrão.

- Foi ainda gerado o Mapa de Hipsometria;
- Mapa e cálculo de Assimetria da bacia do rio Pandeiros. O fator de assimetria da bacia de drenagem (FABD) é de 31,19 e foi calculado segundo Hare e Gardner (1985, apud FONSECA *et al*, 2015) pela seguinte fórmula: FA=100. (Ar/At), onde Ar é a área da bacia à direita do rio e At é a área total da bacia de drenagem. Os perfis longitudinais do rio Pandeiros foram confeccionados a partir do modelo SRTM, enquanto para as rosetas de orientação da drenagem calculou-se o azimute do segmento de cada canal hierarquizado segundo Strahler (1964).
- Levantamento de ortofotos georreferenciadas e modelagem tridimensional do terreno a partir de imagens geradas por Drones na bacia do Rio Pandeiros, no Norte de Minas Gerais.

O objetivo principal foi mapear algumas das principais voçorocas contidas na região para identificação do uso e ocupação da terra, bem como no fornecimento de subsídios para o dimensionamento de perdas estimadas do solo por lixiviação de sedimentos a partir de cálculos topográficos.

A coleta consistiu na captura de diversas fotografias orientadas ao solo em ângulo nadiral, por câmeras compactas embarcadas em veículos não tripulados, com devida sobreposição lateral e longitudinal, para que possa garantir a composição de ortofotos a partir de técnicas estereoscópicas digitais.

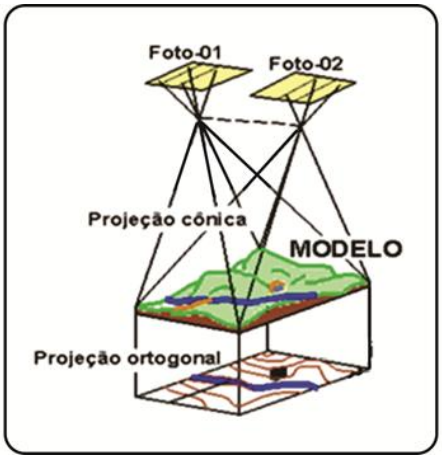


Figura 1: Modelo de obtenção de fotos aéreas para estereoscopia. Fonte: ISPRS.

Foram previamente selecionadas sete poligonais de voo, a maioria delas, nas cabeceiras da porção oeste, que totalizou 1.013 hectares (Fig. 1). Para a captura das fotos foi utilizado o equipamento Phantom 4 Pro, do fabricante DJI, com câmera de 20 megapixels, GPS e Glonass embarcados para garantir o georreferenciamento das imagens.

Os levantamentos foram executados entre os dias 21 e 24 de setembro de 2019 com voos complementares no período de 1 a 4 de dezembro de 2019. Utilizou-se como premissa altitude de voo de 120 m em relação ao ponto de decolagem, velocidade máxima de voo de 12m/s e sobreposições entre as fotos de 70% lateral por 75% longitudinal. A taxa média de recobrimento do drone foi, em torno de 50 hectares por voo, que demandou 21 decolagens para cumprimento de todas as missões propostas. O tempo de voo médio demandado para cada operação foi de 18 minutos.

3.4 Laboratórios Utilizados

As análises das pesquisas do Grupo foram conduzidas nos seguintes laboratórios:

- Laboratório de Geomorfologia do Instituto de Geociências (IGC), da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG): granulometria, MO, pH, CE, pH; cálcio, magnésio, sódio, potássio, fósforo, ferro e alumínio das amostras de, regolitos (solo e sedimentos);
- Laboratório de Pesquisas Ambientais do CPMTC-IGC-UFMG (ICP-OES): análise química das águas dos rios Pandeiros e São Francisco;
- Scottish Universities Environmental Research Center (SUERC), Glasgow, Escócia, UK, amostras de quartzos para análise de 10Be e de MO para análises de ^{14}C;
- Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN), no Departamento de Química e do Serviço de Meio Ambiente (SEMAM) em Belo Horizonte-MG, para a contagem do radionuclídeo ^{7}Be;
- GeotecLab, CPMTC/IGC/UFMG, onde foram processadas as imagens e cálculo das perdas volumétricas das voçorocas.

4. PRINCIPAIS RESULTADOS DOS TEMAS DO SUBPROJETO 1a

Orientações gerais da apresentação:

a) Resumo dos resultados principais sobre a caracterização e análises de dos fatores físicos da bacia gerados pelas diversas pesquisas conduzidas pelos participantes do subprojeto 1a, com base nas publicações. Essas informações são fornecidas antes do início da apresentação dos resultados. Esses resultados serão indicados pela temática principal utilizada em cada abordagem.
b) A localização e resumo dos aspectos gerais da área da bacia só serão apresentados no início do subtema I. Mas aparecem em todas as publicações do Grupo, parte delas disponíveis no Anexo I do Grupo 1A.
c) Os mapas serão apresentados na escala de 100.000, o que permite cobrir toda a área da bacia. Dados de campo e laboratório estão disponíveis nas diversas publicações, que acompanham este Relatório. Tabelas completas com dados de campo e laboratório podem ser encontradas no Anexo I.
d) As figuras são numeradas de acordo com a ordem de ocorrência em cada subtema apresentado.
e) As metodologias, os resultados e a bibliografia específicos são encontrados em cada um dos artigos científicos, capítulos de livros, TCC´s, dissertações de Mestrado e tese de doutorado, gerados como parte do projeto.

4.1 RESUMO DOS SUBTEMAS

4.1.1 EVOLUÇÃO GEOLÓGICA E GEOMORFOLÓGICA DA BACIA DO RIO PANDEIROS

Bibliografia Base:

RODRIGUES-MAIA, B.H. **Análise da dinâmica de evolução do relevo e da compartimentação geomorfológicas no contexto das bacias hidrográficas da margem esquerda do rio São Francisco - norte de Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado. 2014. 107p. Programa de Pós Graduação em Geografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG.

OLIVEIRA, D.A.; AUGUSTIN, C.H.R.R.; FONSECA, B.M. **Proposta de mapeamento e delimitação dos domínios geomorfológicos da bacia hidrográfica do rio Pandeiros-MG**. *In*: Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. Campinas: Instituto de Geociências - UNICAMP, 2017. p. 6253–6262. DOI - 10.20396/sbgfa.v1i2017.2520 - ISBN 978-85-85369-16-3.

AUGUSTIN, C.H.R.R.; OLIVEIRA, D.A. de; FONSECA, B.M.; LIMA, A.P.; ARANHA, P.R.A.; BANDEIRA, J.V.; DINIZ, R.D. Influências geológicas e geomorfológicas na evolução da bacia do rio Pandeiros- MG. **MG.Biota, Número Especial** (em submissão).

Introdução

Com uma área de 3.953 Km^2, o rio Pandeiros forma com os seus afluentes uma das 36 bacias mais importantes do rio São Francisco. Isto porque, embora participe com apenas 1,1% da vazão deste último, constitui um dos 19 tributários que apresentam fluxo constante durante todo o ano (PEREIRA *et al*., 2007).

Ocorrendo em uma área com características de transição do clima subúmido para o semiárido (PEREIRA *et al*., 2007; AUGUSTIN *et al*., 2017; JARDIM *et al*., 2017a; 2017b, 2017c, 2018), a perenidade do rio Pandeiros é de primordial importância não somente para as comunidades dos moradores que dele dependem para fornecimento de água para consumo e para suas atividades econômicas, como para o meio ambiente, na manutenção e sobrevivência da fauna e flora da sua bacia.

Também contribui, o fato do rio Pandeiros ter se transformado em “berçário” para a ictiofauna do médio rio São Francisco (rSF), sendo, segundo Bethonico (2009b, p. 24), responsável por 70% das atividades de “reprodução dos peixes que vivem

no São Francisco entre as barragens de Três Marias e Sobradinho-BA". O Pantanal, como uma *wetland* tem um significativo papel na manutenção de importante ecossistema aquático, como também na captura de CO2 e de sedimentos que, na ausência de uma zona de pântano, seriam despejados diretamente no rio São Francisco.

A intensidade dos processos erosivos está, contudo, colocando em perigo não somente este importante ecossistema, como também outros ecossistemas e os cursos de água, em função do excesso de material produzido, que tende a ser depositados nos fundos de vale, comprometendo a dinâmica hídrica e do meio ambiente da bacia como um todo.

Vários trabalhos já foram produzidos sobre as características do meio biofísico e ambiental da bacia, incluindo sobre aspectos ecológicos e da cobertura vegetal. No entanto, ainda é necessária a integração de aspectos da geologia, geomorfologia e da drenagem, de maneira a possibilitar uma análise mais detalhada da dinâmica da bacia, na qual se busque entender como se dá a interação entre os principais fatores biofísicos envolvidos na formação da bacia como unidade hidrogeomorfológica, tanto do ponto de vista espacial, como no que se refere à associação entre os diversos elementos naturais que a compõem e influenciam sua dinâmica hidrogeomorfológica.

Nessa perspectiva, é essencial que sejam analisados: a) o papel da geologia, tanto da litologia como da estrutura na evolução das formas de relevo; b) como se deu a abertura da bacia pela rede de drenagem, e seus efeitos nas formas atuais do relevo e nos processos erosivos tanto de encosta como fluviais; c) a influência dos fatores geológico-geomorfológicos nas características recentes da rede de drenagem, nos processos erosivos e de assoreamento dos fluxos de água, em especial do rio Pandeiros.

MÉTODOS E TÉCNICAS

Este e os três próximos resultados envolveram o desenvolvimento das seguintes etapas de pesquisa: **1**) definição temática das abordagens e levantamento da bibliografia pertinente à bacia; **2**) reconhecimento geológico e geomorfológico da bacia do rio Pandeiros, realizado através da análise dos mapas geológicos da CODEMIG (2015), na escala 1: 100.000 das folhas: São

Joaquim - SD.23-Y-D-III; Catolé - SD.23-Z-C-I; Januária - SD.23-Z-C-II; São Francisco - SD.23-Z-C-IV e Folha São João da Ponte - SD.23-Z-C-V, e dos Mapas Topográficos do IBGE, escala 1:100.000, das Folhas: Catolé - SD.23-Z-C-I, 1970; Januária - SD.23.Z-C-II (MI-2178), 1980 (2ª. Edição); São Joaquim - SD.23-Y-D-II e São Francisco - SD.23-Z-C-IV, ambos de 1972; **3**) trabalhos de campo de reconhecimento na bacia; **4**) elaboração de mapeamentos preliminares, seguindo metodologia descrita por Oliveira et al. (2017), com a geração dos seguintes mapas integrados da bacia: Geológico, de Declividade, Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) e Índice de Hack (IH) e Orientação das Vertentes, que serviram de base para o identificação de seis grandes Domínios Geomorfológicos, representados em um mapa correspondente (AUGUSTIN et al. 2020a). O Mapa Geológico foi elaborado a partir da base cartográfica do Mapa Estadual de Geodiversidade de Minas Gerais (Serviço Geológico do Brasil, escala de 1:1.000.000, 2010), com o uso de software de SIG, permitindo um recorte da base cartográfica a partir do limite da bacia (OLIVEIRA *et al*., 2017). Mais tarde, o mapa geológico foi reconfigurado a partir dos Mapas Geológicos da CODEMIG (2015), com apoio de observações de campo e análise de imagens do Software Google Earth (2017 e 2019). Este novo mapa serviu de base para os cortes geológicos e geomorfológicos do relevo.

Para o mapeamento sistemático da geomorfologia (mapas: Hipsométrico, Índice de Hack, Declividade; Índice de Concentração de Rugosidade, de Orientação das vertentes e Knickpoints) nos Sistemas de Informação Geográfico (SIG) foram utilizadas imagens do satélite *Shuttle Radar Topography Mission,* distribuídos pelo *United States Geological Survey* (USGS) no formato *raster,* com resolução espacial de 90 m. A partir destes dados, foi possível gerar dados de altimetria e de declividade de toda área de estudo, confeccionados tendo como base modelo digital de elevação SRTM, com imagens obtidas no Projeto TopoData do INPE (imagens 15s45, 15s465, 14s45 e 14s465). Os valores de declividade foram interpolados usando a Densidade de Kernel, com raio de busca 1.128 m. Os dois mapas serviram de base para as análises das variações tanto longitudinais, como transversais da bacia do rio Pandeiros. **5)** Os trabalhos de campo preliminares objetivaram o reconhecimento da área, e os posteriores, a checagem *in loco* da representação dos mapas gerados, em especial o dos Domínios Geomorfológicos

identificados. Para a coleta de amostras de regolitos, caracterização das vertentes, da cobertura vegetal e de observações campo, foram medidas: a- declividades das vertentes com o uso de aparelho Suunto de leitura direta e auxílio de três balizas de 2 metros de comprimento cada uma, dispostas em linha, em distâncias regulares de 30 m do topo até a base da vertente, seguindo o azimute estabelecido no primeiro ponto do topo/alta vertente. b- nas porções centrais das unidades limitadas por rupturas de declive (sítios geomorfológicos), foi realizadas descrição e amostras de solo/sedimentos, descrição e medidas de cobertura vegetal, bem como anotadas evidências de tipos de processos de escoamento superficial da água de chuva presentes em cada ponto de amostragem, de acordo com metodologia proposta por Augustin (1979). **6)** Análises laboratoriais de: granulometria, ph, C.E., Ca, Mg, Na, K, ferro, alumínio e MO foram realizadas na amostras de solos/sedimentos, no Laboratório de Geomorfologia do IGC/UFMG; **7**) Elaboração de perfis geológicos e geomorfológicos longitudinais e transversais à bacia do rio Pandeiros. Os perfis geológicos tiveram como base o mapa geológico integrado das folhas do mapeamento da CODEMIG-UFMG (2015) acima identificadas; os geomorfológicos foram confeccionados a partir do modelo SRTM. A delimitação espacial dessas unidades geomorfológicas foi essencial para o desenho amostral de campo, pois elas revelaram características importantes da área, auxiliando na definição das áreas de amostragem, de acordo com cada temática sobre os diferentes aspectos biofísicos da área de estudo e à confecção dos perfis longitudinal e transversais da bacia. **8)** Foram ainda utilizadas imagens do Google Earth (anos de 2017 a 2020) para efetuar medidas de distância, altitude e localização de áreas e pontos.

Características Gerais da Área de Estudo

O rio Pandeiros é afluente da margem esquerda do médio rio São Francisco e tem sua bacia localizada no norte do estado de Minas Gerais, entre as coordenadas geográficas 15°0’00”/15°43’00”S de latitude e 44°30’00”/45°28’00” O de longitude (Fig. 1).

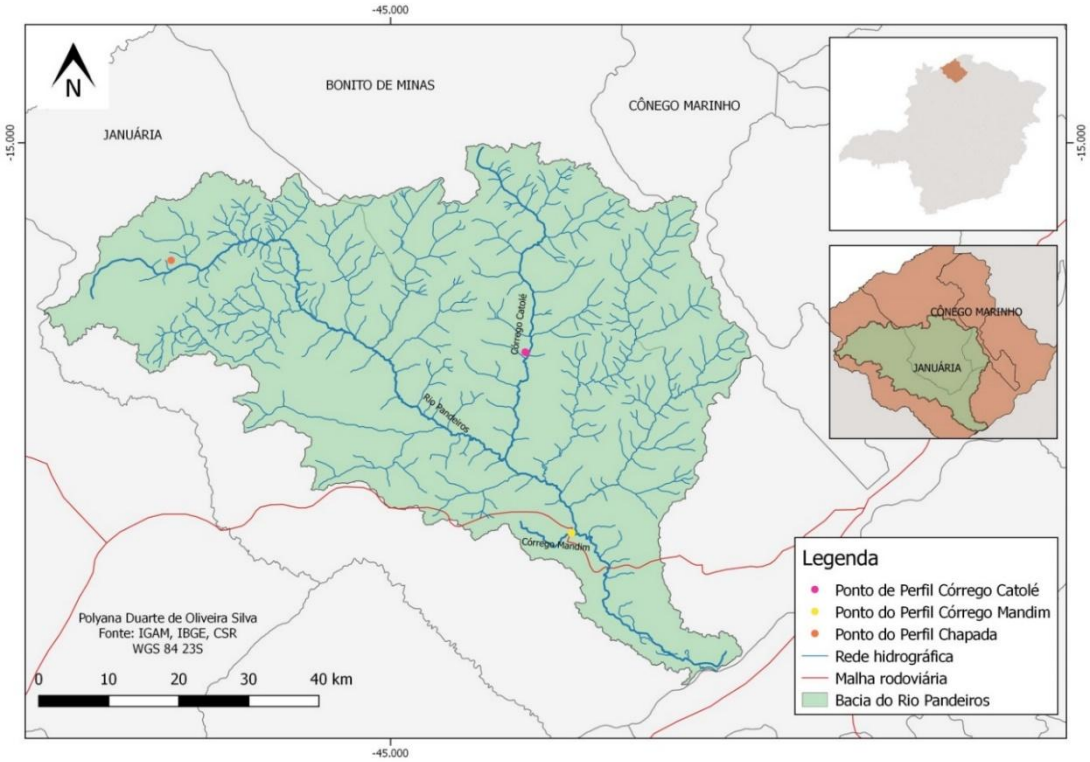


FIGURA 1: Localização da área da bacia do rio Pandeiros. Fonte: Silva, P. (2020).

Geologia

O mapa geológico da bacia (Fig. 2) modificado dos Mapas Geológicos da CODEMIG-UFMG (Folha São Joaquim: SD.23-Y-D-III; Folha Catolé: SD.23-Z-C-I; Folha Januária: SD.23-Z-C-II) e Folha São Francisco: SD.23-Z-C-IV, todos na escala 1: 100.000, de 2015, mostra que grande parte da bacia do rio Pandeiros é coberta predominantemente por sedimentos arenosos do Grupo Urucuia (Cretáceo Superior) pertencentes às formações Posse, da base, e à Serra das Araras, que a sobrepõe, do Cretáceo Superior. Sob o Grupo Urucuia (Fig. 2), são encontradas as rochas pelíticas e carbonáticas do Grupo Bambuí (Formações Serra da Saudade, Lagoa do Jacaré; Serra de Santa Helena e Sete Lagoas).

As rochas dos dois grupos encontram-se assentadas sobre os granito-gnáisses (Complexo Januária), do embasamento cristalino, formados presumivelmente no Arqueano e Paleoproterozóico, com idades entre 2.329 ± 55 e 1.817 ± 37 Ma (REZENDE, 2017, p. 1), aflorantes de maneira descontínua ao longo dos rios Catolé, Borrachudo e do Riacho da Cruz (CODEMIG-UFMG, Folha Catolé - SD.23-Z-C-I, 2015).

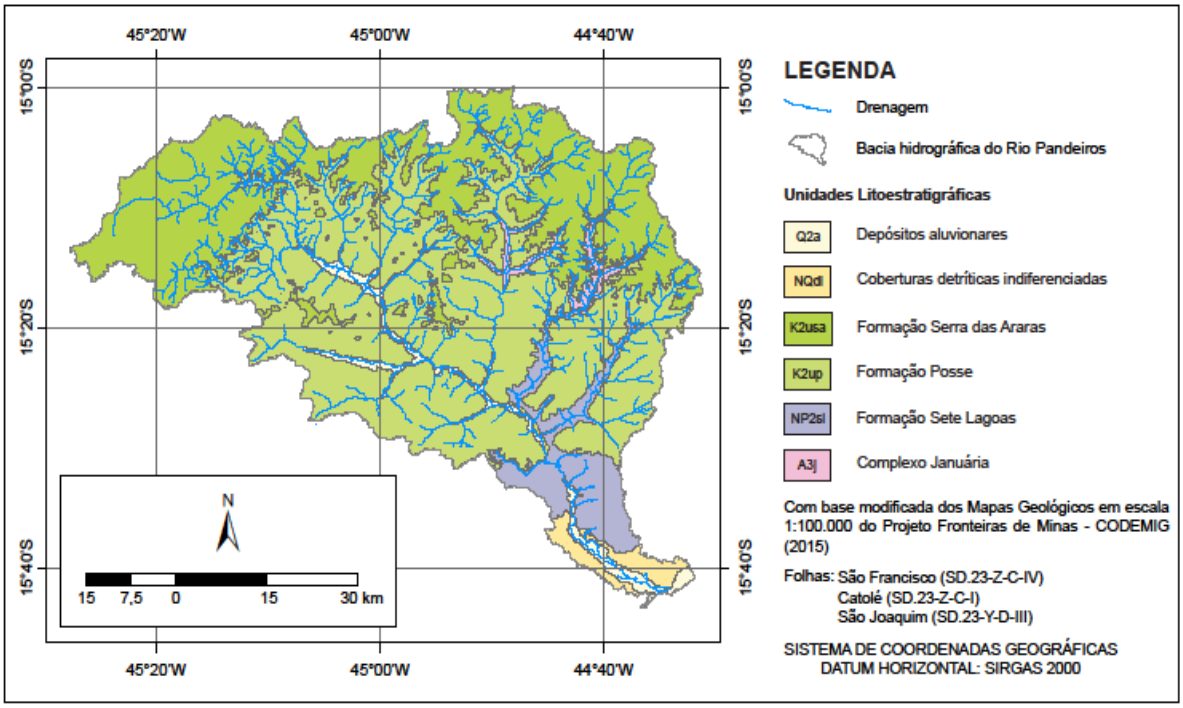


FIGURA 2: Mapa geológico da bacia do rio Pandeiros. Fonte: Modificado de CODEMIG-UFMG, Mapeamento Geológico, 2015.

Na figura 2a é possível observar a extensão da deposição das rochas do Grupo Bambuí datadas, segundo Iglesias (2007), pelos métodos radiométricos K/Ar, Rb/Sr e Pb/Pb, com idades em torno de 650 e 600 Ma (Neoproterozóico), sobrepostas às rochas do embasamento cristalino. Segundo esses autores, mesmo não havendo correspondência entre as sequências estratigráficas das formações que compõem o Grupo Bambuí na margem esquerda e a da direita do rio, é possível observar que a sedimentação ultrapassa os limites do canal do rio São Francisco, indicando a extensão da deposição destas rochas. Assim, a discrepância nas sequências estratigráficas seria decorrente da reativação de falha, hoje ocupada pelo canal do rio São Francisco, que teria rebaixado sua margem direita.

Tanto o mapa da figura 2, como o perfil geológico da figura 2a, mostram que na região ao norte do córrego Catolé e riacho Borrachudo, não houve deposição das rochas do Bambuí, devido à presença de uma área topograficamente mais elevada (Alto Estrutural de Januária) que, de acordo com Iglesias (2007), teria se formado pelo soerguimento do embasamento antes da deposição das rochas do Grupo Bambuí.

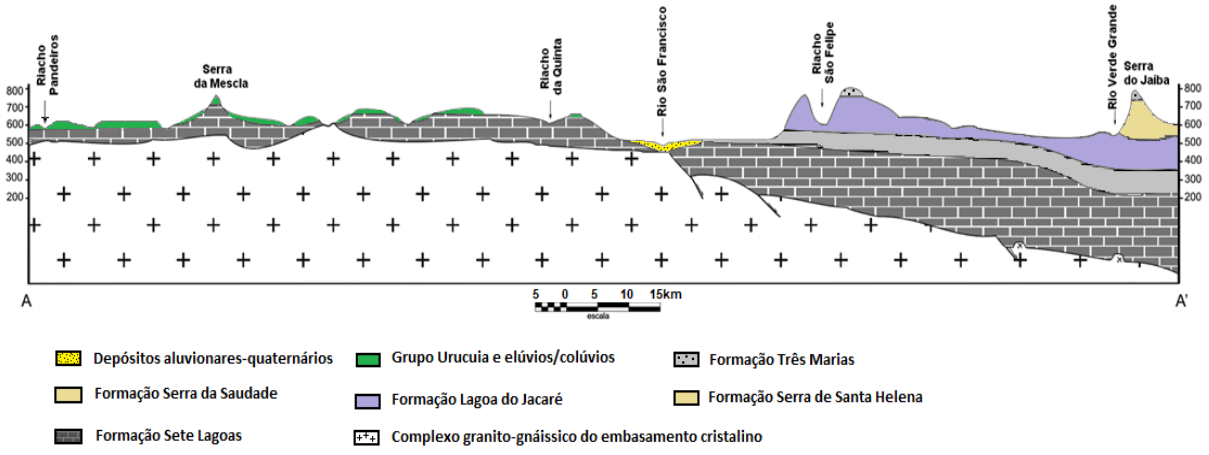


FIGURA 2a: Perfil geológico da bacia, da Chapada das Gerais até a margem direita do rio São Francisco, mostrando a continuidade, mesmo que com discrepância estratigráfica, das rochas do Grupo Bambuí em toda a área. Fonte: Modificado de Iglesias e Uhlein, 2009.

A presença do alto estrutural também afetou a deposição, no Cretáceo Superior, das rochas do Grupo Urucuia, levando ao adelgaçamento das camadas da Formação (Fm) Posse e impedindo, em parte, a deposição dos sedimentos da Formação (Fm) Serra das Araras.

Grande parte das coberturas superficiais quaternárias da bacia, no domínio do Grupo Urucuia, são regolitos formados pela intemperização *in situ* destes arenitos, por colúvios, ou por depósitos aluviais, este último, bem representado ao longo das planícies fluviais dos rios Pandeiros e, principalmente, do São Francisco (Figs. 2 e 2a). Nesta pesquisa foram identificados depósitos coluviais principalmente em áreas próximas às escarpas que circundam a bacia, modeladas em rochas da Formação Serra das Araras.

Clima

Localizada em área de transição entre o clima tropical subúmido e o semiárido, a bacia apresenta temperatura média anual de 24°C; nos meses mais frios, junho e julho, a temperatura média fica em torno dos 20,4°C e no mês mais quente, outubro, em 25,5°C. A precipitação média anual é em torno dos 1.057,4 mm (PEREIRA *et al*., 2007).

Nos meses de maior pluviosidade, entre outubro e março, caem 91% do total anual precipitado. Os meses mais secos ocorrem entre abril e setembro (BETHONICO, 2009a). De acordo com Jardim *et al*. (2017a, 2017b, 2017c, 2018),

há variação de temperatura dependendo do tipo de cobertura vegetal, tendo sido medidos valores médios 25,4°C, máximos de 36,5°C e mínimos 17,2°C e umidade média relativa do ar de UR: 65% na área de mata ciliar do rio Pandeiros, que são inferiores aos valores na área de pastagem, cujos dados foram obtidos na estação Davis Vantage Pro 2 (média: 26,4°C; máx.: 37,7°C; min.: 19,3°C; UR: 66%) e da estação meteorológica (INMET) de Januária (média: 26,8°C; máx.: 38,2°C; min.: 20,2°C; UR: 64%).

Pereira *et al*. (2007, p. 616) ressaltam a ocorrência de aspectos de semiaridez da área que seriam decorrentes "das elevadas temperaturas e dos baixos índices de nebulosidade", fazendo com que a evapotranspiração potencial seja muito alta, "principalmente na região do Submédio São Francisco, onde algumas estações registram valores de até de até 3.000 mm ano^{-1}", o que caracteriza a ocorrência de déficit hídrico em grande parte do ano. Além desse aspecto, é importante também ressaltar o caráter sazonal da distribuição da precipitação e da incidência de altas temperaturas, concentradas no verão, em contraste com as temperaturas mais amenas e período seco do inverno, com influência na dinâmica vegetacional e na ocorrência de processos pedogeomorfológicos.

Geomorfologia

Do ponto de vista geomorfológico, a bacia encontra-se localizada na borda sudeste do Chapadão Central, área de relevo relativamente plano, formado sobre rochas sedimentares areníticas, predominantemente horizontalizadas, do Grupo Urucuia, no domínio do aquífero homônimo (Fig. 3). Essas rochas, bem como o próprio aquífero, se estendem do nordeste do estado de Minas Gerais ao oeste da Bahia, nordeste de Goiás, sudeste de Tocantins, sul do Maranhão e sudoeste do estado do Piauí (Fig. 3).

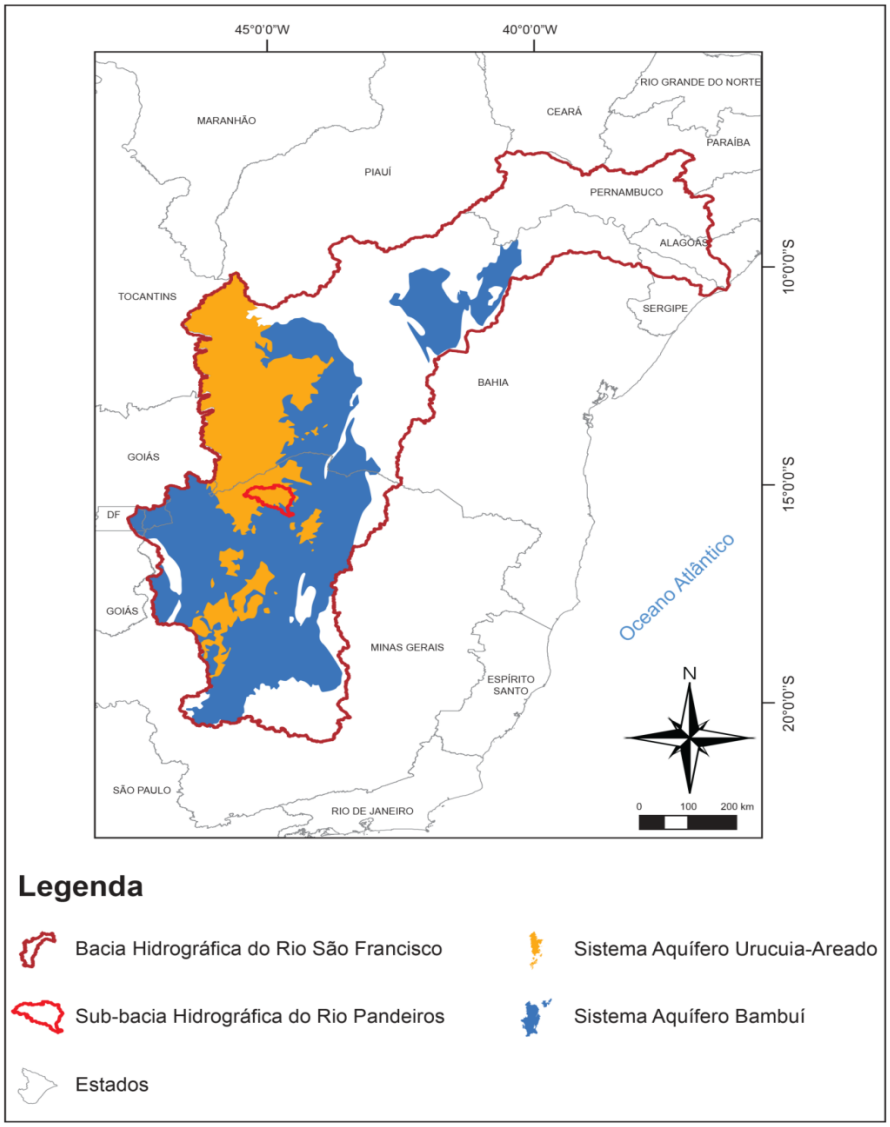


FIGURA 3: Domínio do Chapadão Central (denominação dada por CAMPOS e DARDENNE, 1997b), com a localização em amarelo, no domínio das rochas areníticas dos grupos Areado e Urucuia, caracterizando também o aquífero do mesmo nome, e em azul, o domínio das rochas pelíticas e carbonáticas do Grupo Bambuí, com aquífero do mesmo nome. Fonte: Modificado de Gaspar (2013).

Grande parte da bacia do rio Pandeiros está inserida no Sistema Aquífero Urucuia-Areado (Fig. 3) que é, de acordo com Kiang e Silva (2015, p. 872), formado por “rochas-reservatório de origem flúvioeólica”, que se distribui por “uma área de 125.000 km² na porção centro-norte da Bacia Sanfranciscana [...]”, ”[...] contribuindo com cerca de 740 m³/s para manutenção do fluxo de base do Rio São Francisco e cerca de 220 m³/s para o rio Tocantins, o que denota marcante influência no regime hidrológico desses rios”.

A porção da bacia do rio Pandeiros, de domínio das rochas pelíticas e carbonáticas, por sua vez, faz parte do Aquífero Bambuí, marcado em azul na figura 3. No presente trabalho, a porção do Chapadão Central identificado na literatura como tabuleiro (ex: GONÇALVES *et al*., 2016), ou por Superfícies Tabulares com suas Coberturas Detríticas, remanescentes de superfície de aplainamento do Cretáceo (CETEC, 1981), é denominada de "Chapada das Gerais", em contexto geomorfológico distinto do apresentado por Campos e Dardenne (1997b).

Domínios Geomorfológicos

Através do Mapa de Domínios Geomorfológicos (OLIVEIRA *et al.*, 2017), é possível identificar seis grandes Unidades de relevo na bacia do rio Pandeiros (Fig. 4), correspondentes aos domínios da paisagem com características próprias, embora possam compartilhar umas com as outras, parte destas características.

As Unidades Geomorfológicas refletem a variação das formas relevo a partir de interação entre geologia, clima, vegetação e o próprio desenvolvimento da drenagem ao longo de milhões de anos. Elas têm representação espacial, identificada a partir da combinação de informações dos mapas de geologia, Índice de *Hack*, de Concentração de Rugosidade, Declividade e Direção das Vertentes, com checagem de campo e suporte de análises laboratoriais de sedimentos e regolitos, incluindo solos, refletindo, conforme os autores (op. cit.) "arranjos" naturais de áreas da bacia, cada um com suas especificidades geomorfológicas.

A Unidade ou Domínio I, denominada de Chapada das Gerais, forma um platô sedimentar (chapada) com declividades muito baixas (0 - 2°), pouca incisão da drenagem e rios com padrão predominantemente paralelo. Ela corresponde ao que restou, na área, da superfície residual do Chapadão Central, de domínio das rochas da Formação Serra das Araras, apresentando altitudes que atingem mais de 800 m (Fig. 4).

A Unidade II, identificada como Escarpas, constitui um grande desnível topográfico localizado nas bordas da Chapada das Gerais, onde estão localizadas as nascentes do rio Pandeiros e dos seus afluentes da margem esquerda (Figs. 4 e 5).

Tanto a Chapada, como a suas bordas, contornam a bacia do rio Pandeiros a noroeste, norte e nordeste, nos limites com as bacias dos rios Carinhanha, Cochá e Peruaçu, respectivamente, com altitudes entre 800 e 600 m. Nelas são encontradas declividades que podem atingir mais de 56^0 e processos de erosão acelerada, formando voçorocas (Fig. 5).

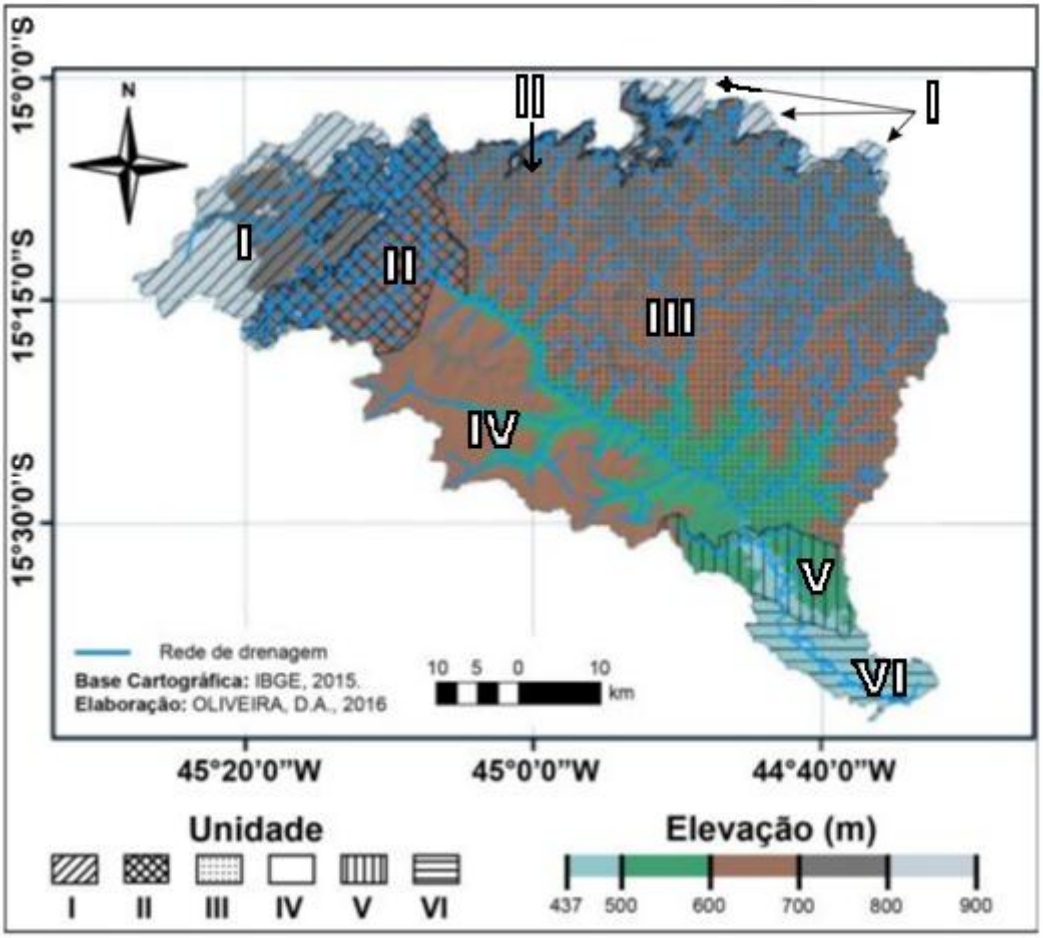


FIGURA 4: Unidades Geomorfológicas da bacia do rio Pandeiros, MG. Fonte: Oliveira *et al.,* 2017.

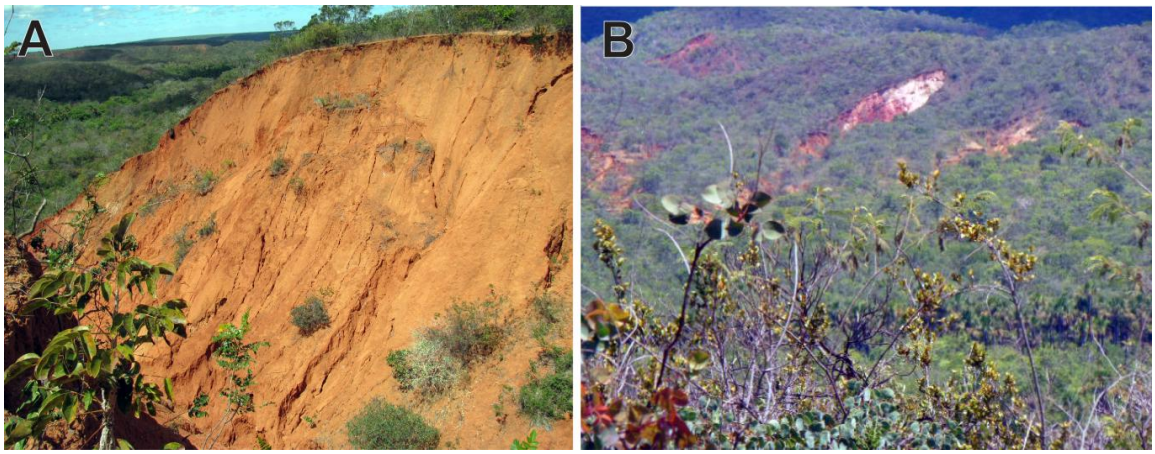


FIGURA 5: (A) voçorocas na região do alto rio Pandeiros mostrando instabilidade das paredes, com resíduos de deslizamento; (B) voçorocas localizadas na borda superior da escarpa da Chapada das Gerais, na área de Escarpas.

A Unidade III, Vertentes Alongadas (Fig. 4), está presente na margem esquerda da bacia do rio Pandeiros, caracterizada por longos interflúvios, altitudes que vão de 500 m àquelas acima de 800 m, declividade predominantemente entre 2 e 5º, mas com áreas de Escarpas, onde pode atingir mais de 20º em drenagem com padrão dendrítico, com tendência a alongado. É ocupada pelos rios mais extensos da bacia, com nascentes na zona das Escarpas: a noroeste, nos limite entre as bacias do Pandeiros e as bacias dos rios Carinhanha a noroeste, do Cochá a norte e a do Peruaçu, a nordeste.

Denominada de Vertentes Curtas, a Unidade IV, correspondem àquelas vertentes localizadas na margem direita do rio Pandeiros, sendo em média mais baixas (entre 700 e 470 m) do que as da Unidade III. Seus rios são mais curtos e as declividades também menos elevadas, predominantemente entre 0 e 2^0. Nas áreas topograficamente mais baixas, os rios são relativamente pouco encaixados, com todas as nascentes localizadas nos interflúvios que formam o limite com a bacia do rio Pardo (Fig. 4).

A Unidade V forma o domínio do Carste (Fig. 4), com a presença marcante de afloramentos das rochas pelíticas e carbonáticas do Grupo Bambuí. Nestes afloramentos, destacam-se feições cársticas, do tipo torres e lapiás (Fig. 6a), resultantes da dissolução dos calcários provocada pela água do escoamento superficial da chuva. Eles são intercalados por áreas mais baixas e planas, com altitudes entre 670 e 460 m, nas quais é possível identificar planícies cársticas

(poljes), além de dolinas, que são depressões periodicamente ocupadas pela água, formando lagoas, e as uvalas, formadas pela coalescência de dolinas (Fig. 6b).

Ainda nesta Unidade, é encontrado material do tipo sílex (*chert*), mais resistentes ao intemperismo químico e físico, dificultando a incisão vertical e abertura lateral do canal do rio Pandeiros, possivelmente da base dos calcários do Grupo Bambuí, ou mais antigos. Por isto, quando aparecem, causam rupturas de declive, formando corredeiras e cachoeiras, o que favoreceu a construção da PCH do rio Pandeiros.

FIGURA 6: Presença de afloramentos de rochas carbonáticas na região do baixo rio Pandeiros: A) lapiás em afloramento próximo à cidade de Januária; B) dolina seca, com afloramento de calcário.

O Pantanal Mineiro, Unidade VI (Fig. 4), é o último domínio mapeado e tem como característica do relevo, a presença de uma área úmida (*wetland*) bem definida, o Pantanal do rio Pandeiros. Constitui uma zona hidromórfica localizada na planície de inundação, coberta por lâmina de água durante todo o ano e a presença de lagoas permanentes, embora suas vertentes sejam parcialmente drenadas (Fig. 7). As altitudes são baixas, entre 500 e 432 m (OLIVEIRA *et al*., 2020) e as partes mais elevadas do relevo são as que ladeiam o Pantanal (Figura 7), em especial na margem esquerda do meio curso.

FIGURA 7 - Pantanal Mineiro, domínio da área úmida (*wetland*), localizado no baixo rio Pandeiros.

Nelas também afloram rochas carbonáticas do Grupo Bambuí, atingidas pelas águas do Pantanal e do próprio rio São Francisco em períodos de inundação. Inclui, ainda, parte da planície de inundação do rio São Francisco, que forma uma grande área de flutuação sazonal e deposição de carga sedimentar (aluvião).

Cobertura Vegetal

A maior parte da bacia tem cobertura vegetal de espécies do bioma do Cerrado, no qual se distinguem vários ecossistemas e fitofisionomias, entre as quais: campo sujo, campo cerrado, cerrado senso estrito, cerradão, mata ciliar, vereda e mata caducifólia (mata seca), restrita aos afloramentos de rochas carbonáticas. Ocorrem ainda espécies típicas da caatinga, entre elas a barriguda, e cactáceas.

Histórico Evolutivo da Bacia

Na bacia do rio Pandeiros, tanto as rochas como o relevo, são testemunhos de uma longa história evolutiva associada à formação do substrato rochoso. Ela tem início com a formação do embasamento cristalino, possivelmente no Arqueano e Paleoproterozóico, representado pelo complexo Januária, sobre o qual as rochas pelíticas e carbonáticas proterozóicas do Grupo Bambuí e as areníticas cretáceas do Grupo Urucuia se depositaram (Fig. 2). Essas últimas foram depositadas em condições climáticas desérticas decorrentes em parte, da sua posição geográfica

no interior do supercontinente Gondwana, cuja ruptura se deu pela abertura do assoalho oceânico, dando origem ao oceano Atlântico, e levando à separação, entre outros, dos continentes da América do Sul e África (AUGUSTIN et al., 2020a).

Na área da bacia, a deposição de rochas mais novas (Bambuí e Urucuia), não foi espacialmente homogênea, pois a atual área do alto curso dos tributários da margem esquerda, constituía, na época da deposição dos sedimentos, um “alto estrutural” que impediu a deposição de rochas pelíticas e carbonáticas do Bambuí e levando também ao adelgaçamento das camadas das rochas do Grupo Urucuia (Figs. 2B; 8A).

A deposição sedimentar no Cretáceo Superior, e que veio dar origem às estruturas horizontalizadas do Grupo Urucuia, composta pelas Formações Posse, da base e Serra das Araras, do topo, favoreceu o desenvolvimento de uma superfície aplainada, com dominância de drenagem paralela com direção SW-NE que, até hoje, é encontrada na continuidade da Chapada Central, que se estende até o sul do Piauí (Figs. 3 e 8A).

O rio Pandeiros, no entanto, corre NW-SE em direção ao rio São Francisco (Fig. 1), seu nível de base quando se estruturou, e ao qual continua associado até os dias atuais. Foi o rio São Francisco, considerado um rio ancestral por alguns autores que apontam a existência de um proto-SF desde o Cretáceo Superior, que capturou o rio Pandeiros, levando ao seu encaixamento. Esse encaixamento, provavelmente após o Mioceno, apontado por autores (POTTER, 1997; CAMPOS e DARDENNE, 1997) como a época na qual o rSF teria adquirido a estrutura próxima da atual, se deu ao longo de uma falha extensional normal do Paleoproterozóico, localizada no início do baixo Pandeiros. A erosão a remontante da drenagem do rio Pandeiros e a captura dos seus afluentes, provocou o recuo das escarpas à posição que se encontram no presente, provocando aumento no comprimento longitudinal e do alargamento da bacia (Fig. 8 B)

O relevo aplainado, dominante nas fases iniciais do encaixamento da drenagem (Figs. 2 A; 2B; 8B), bem como a erosão das rochas da Formação (Fm) Serra das Araras, deixando apenas morros testemunhos, deu lugar a um relevo predominantemente ondulado nos domínios das rochas da Fm Posse (Fig. 8).

Nas áreas das rochas carbonáticas do Bambuí, o encaixamento do rio São Francisco e, posteriormente, o do sistema do rio Pandeiros, associados aos processos de dissolução química, criam afloramentos e o desenvolvimento de relevo cárstico (Figs. 6 e 8C).

O conhecimento básico da evolução geológico-geomorfológica da bacia, bem como o papel da drenagem nesse processo aponta para o fato de que, independentemente da erosão atual provocada pelos impactos antrópicos, a bacia do rio Pandeiros vem sofrendo grande e importante retirada de sedimentos por erosão das encostas e fluvial há milhões de anos, desde o Cretáceo Superior, concomitante e logo após a deposição da Fm Serra das Araras, como mostra a figura 8.

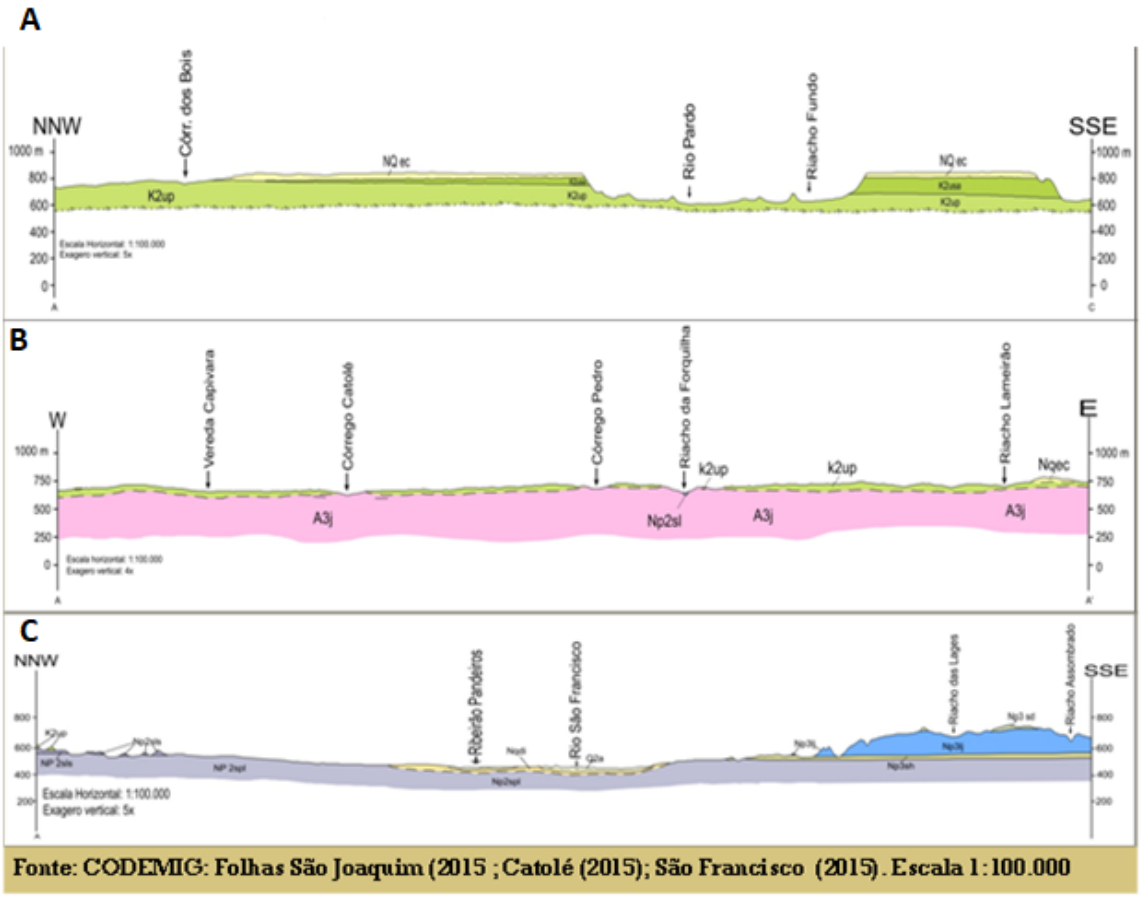


Figura 8: Evolução do relevo da bacia do rio Pandeiros, com a retirada das rochas sedimentares areníticas dos Grupos Urucuia e as pelíticas/carbonáticas do Grupo Bambuí, ao longo de milhões de anos, a partir do cretáceo Superior.

A própria existência de uma bacia relativamente encaixada (Fig. 8), é resultante desse fato, comprovado nesta pesquisa pelas taxas calculadas por Oliveira (2020), com o uso de 10Be, que dão o valor de perda que variam de 45.10 a 42.30 m/Ma, ou seja, uma média de 44,20 m de perda por milhão de anos (Ma).

O modelado do relevo encontra-se intimamente associado às características litoestruturais das rochas, ao clima, vegetação e à dinâmica dos cursos de água ao longo do tempo, fato que remete à questão do tempo necessário para que um sistema de drenagem se encaixe em uma bacia e, por conseguinte, qual a idade do rio principal responsável por isto. Para Potter (1997), esta é uma questão difícil de ser respondida, uma vez que rios devem, como apontados por Leopold et al. (1964, apud POTTER, 1997, p. 332), “ser pensados mais como tendo um legado do que tendo uma origem”. Isto porque eles tendem, ao longo do seu desenvolvimento, a se adaptar continuamente em reposta “às mudanças climáticas e tectônicas”, sendo difícil defini-los “como feições com início e fim precisos” (POTTER, 1997).

Considerações Finais

As rochas constituem a base na qual o relevo é modelado por processos erosivos geomorfológicos, tanto fluviais, como de encostas. Esses processos são os que, ao longo do tempo, além de elaborarem o relevo, provocam a retirada dos sedimentos formados pelos materiais intemperizados das rochas (regolitos) *in situ,* ou aqueles que já sofreram transporte (coluviais e aluviais), disponibilizando-os para serem transportados até o oceano, lagos ou lagoas. Os tipos de processos dependem das características do material a ser erodido, dos fatores climáticos, da cobertura vegetal e das próprias formas de relevo.

Na bacia do rio Pandeiros, tanto as rochas como o relevo, são testemunhos de uma longa história evolutiva associada ao substrato rochoso, que se inicia com a formação do embasamento cristalino, entre o Arqueano e o Paleoproterozóico, representado pelo Complexo Januária, sobre o qual as rochas carbonáticas proterozóicas do Grupo Bambuí e, depois, as siliciclásticas cretáceas do Grupo Urucuia se depositaram. Vários estudos revelam que estas últimas foram depositadas em condições climáticas desérticas (dunas na base e flúvioeólicas no topo), devido, em parte, à sua posição geográfica no interior do supercontinente Gondwana, cuja ruptura deu origem ao oceano Atlântico, o que levou à

separação, entre outros, dos continentes da América do Sul e África (AUGUSTIN et al., 2020a).

A deposição sedimentar de rochas areníticas, no Cretáceo Superior, com estruturas horizontalizadas a sub-horizontalizadas do Grupo Urucuia, composta pelas Formações Posse, da base e Serra das Araras, do topo, favoreceu o desenvolvimento de superfície plana, com dominância de drenagem paralela com direção SW-NE que, até hoje, é encontrada na continuidade da Chapada Central, área de chapadas, que se estende até o sul do Piauí.

O rio Pandeiros, no entanto, corre NW-SE em direção ao rio São Francisco, seu nível de base quando se estruturou, e ao qual continua associado até os dias atuais. Foi o rSF, considerado um rio ancestral por alguns autores que apontam a existência de um proto-SF desde o Cretáceo Superior, que capturou o rio Pandeiros, levando ao seu encaixamento na falha normal, extensional do baixo Pandeiros. Esse encaixamento se deu no, ou logo após, o Mioceno, apontado por autores, como a época na qual o rSF teria adquirido a estrutura próxima da atual.

A erosão a remontante do rio Pandeiros e a captura dos seus afluentes provocou o recuo das escarpas erodidas nas rochas areníticas, à posição que se encontram no presente, provocando também o alargamento da bacia. O relevo aplainado, dominante nas fases iniciais do encaixamento da drenagem, bem como a erosão das rochas da Formação Serra das Araras, deixando apenas morros testemunhos, deu lugar a um relevo predominantemente ondulado nos domínios das rochas da Formação Posse. Nas áreas das rochas carbonáticas do Bambuí, o encaixamento do rio São Francisco e, posteriormente, o do sistema do rio Pandeiros, associados aos processos de dissolução química, criaram afloramentos rochosos e o desenvolvimento de relevo cárstico (AUGUSTIN et al., 2020a; 2020b; 2020c).

O conhecimento básico da evolução geológico-geomorfológica da bacia, bem como o papel da drenagem nesse processo, auxilia na compreensão de aspectos que influenciam no uso e ocupação da terra nos dias atuais. Também permite entender as características que o sistema de drenagem do rio Pandeiros apresenta, incluindo a erosão e transporte de sedimentos, processos que impactam a bacia e seus recursos naturais. Esses aspectos serão abordados em outros artigos ao longo dessa edição especial.

4.1.2 CARACTERÍSTICAS DAS FORMAS DE RELEVO

Bibliografia Base:
AUGUSTIN, C.H.R.R.; FONSECA, B.M.; OLIVEIRA, D.A. de LIMA, A.P.; ARANHA, P.R.A.; FRANCO, G.G. Formas de relevo da bacia do rio Pandeiros – MG. **MG.Biota, Número Especial** (em submissão).

Introdução

A bacia do rio Pandeiros, localizada estado de Minas Gerais, entre as coordenadas geográficas 15°0'00"/15°43'00"S de latitude e 45°28'00"/44°35'03.40"O de longitude (Fig. 1).

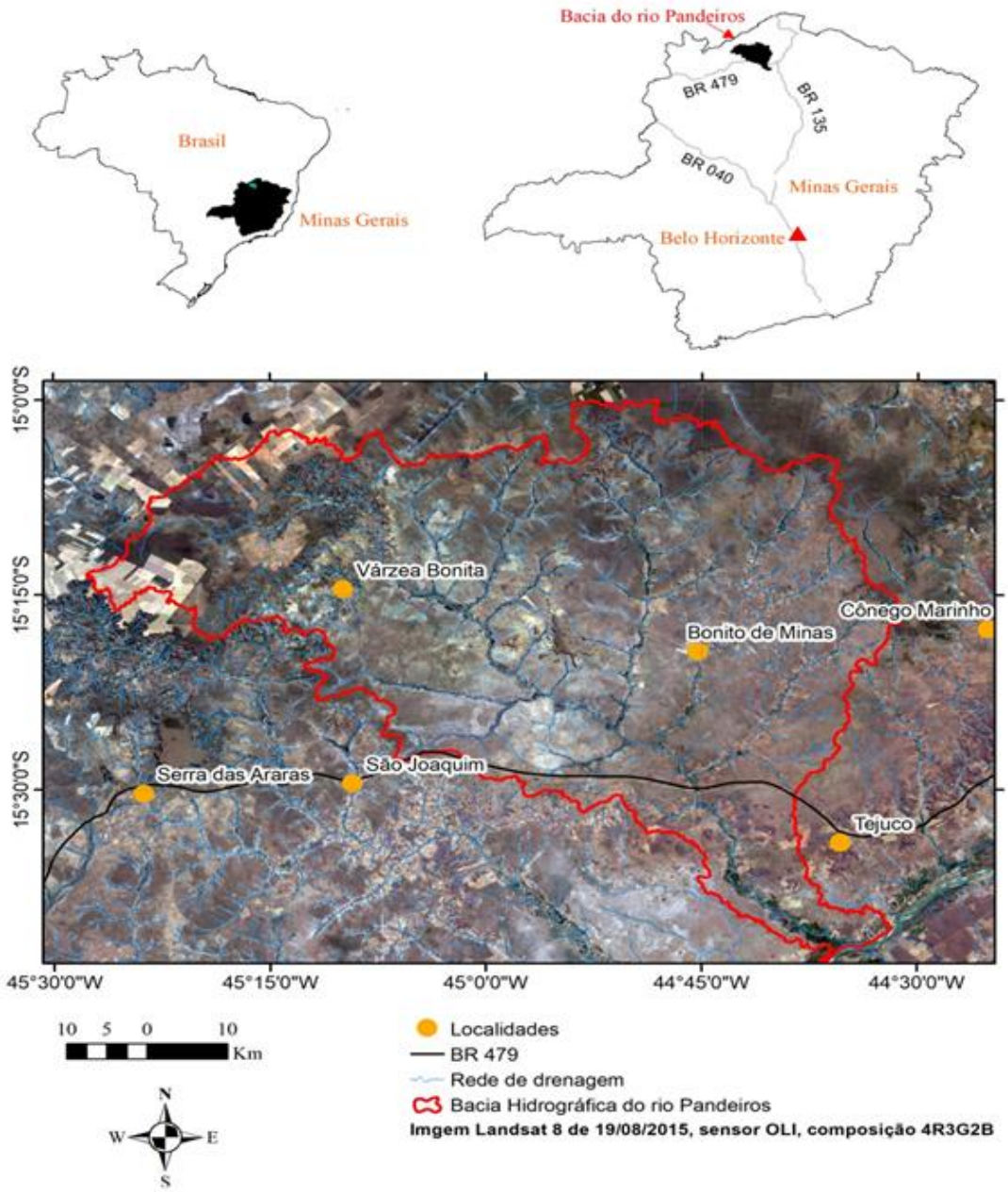


FIGURA 1: Localização da bacia de drenagem do rio Pandeiros – MG.

Ela faz parte de uma zona tropical subúmida, que tem as formas de relevo modeladas pela erosão principalmente da água atuando sobre o material intemperizado das rochas, que é transportado e, eventualmente, depositado (AUGUSTIN et al., 2020a; 2020c). Nesse contexto, é importante analisar o papel do relevo na dinâmica das bacias de drenagem, papel este amplamente reconhecido através do efeito que tem no escoamento da água superficial, seja nas encostas, seja nos canais fluviais, e nas águas subsuperficiais (CARSON e KIRKBY, 1975; LAMARRE e LAMARRE, 2014).

O principal objetivo da análise destes mapas é o de indicar, espacialmente, as variabilidades das altitudes e inclinações das vertentes da bacia, possibilitando estabelecer uma relação de causa e efeito que influenciam as características atuais do relevo. Busca ainda entender a relação do relevo, e sua evolução, com as demais características da bacia, em especial com a drenagem e o substrato geológico.

Essa abordagem serve de base para analisar a dinâmica da área ocupada por este sistema fluvial, com vistas ao desenvolvimento de ações de controle de erosão e impactos ambientais, e para fins de planejamento territorial.

Evolução da Bacia do rio Pandeiros

O encaixamento do sistema de drenagem do rio Pandeiros, provocado pelo recuo das suas cabeceiras e pelo alargamento da bacia em decorrência do avanço dos seus tributários, ocorreu a partir do nível de base do rio São Francisco (AUGUSTIN *et al*., 2020a). Durante o processo, o relevo foi sendo modelado, provocando o recuo dos interflúvios mais elevados da Chapada das Gerais a remontante. Há indícios de que a zona das Escarpas tenha se mantido como tal, pelo menos em parte da bacia, durante este recuo que resultou no aumento progressivo da área da bacia (Fig. 1). A abertura da bacia representou a retirada de grande quantidade de material proveniente do intemperismo das camadas geológicas das sequências sedimentares do Grupo Urucuia, representada pelos arenitos avermelhados da Formação (Fm) Serra das Araras (superior), o que levou à diminuição do domínio destas rochas e, consequentemente, da Chapada das Gerais (Fig. 1a).

A retirada das rochas da Fm Serra das Araras, expôs os arenitos esbranquiçados da Fm Posse (Fig. 1a), encontrados topográfica e estratigraficamente abaixo destas (CODEMIG-UFMG, 2015). Os arenitos desta formação, por sua vez, repousam diretamente sobre as rochas carbonáticas do Grupo Bambuí, tendo chegado, no passado geológico distante, antes da abertura da bacia, a cobrir as rochas pelíticas e carbonáticas das diversas formações do Grupo Bambuí que, hoje, afloram de maneira mais ou menos contínua na porção baixa da bacia (Augustin et al., 2020).

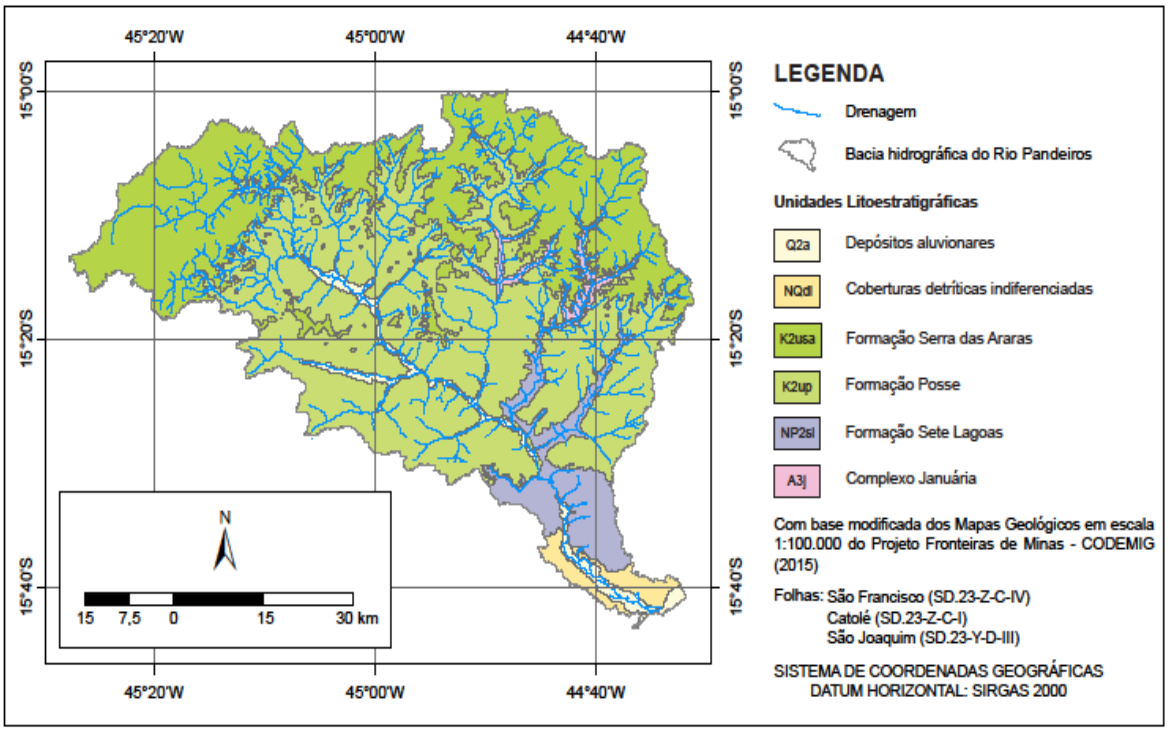


Figura 1a: Geologia da bacia do rio Pandeiros e das bacias vizinhas. Fonte: Maia-Rodrigues, 2014.

Nos fundos de vale de alguns tributários da porção média da margem esquerda do rio Pandeiros, afloram rochas granito-gnáissicas do Complexo Januária, do Arqueano ao Neoproterozóico (Fig. 1a). Elas estão expostas em área de contato direto com remanescentes das rochas da Formação Posse, ou seja, sem a presença das rochas do Grupo Bambuí, indicando que o Alto Estrutural de Januária, uma estrutura topograficamente mais elevada localizada na porção norte da bacia do Pandeiros (IGLEZIAS e UHLEIN, 2009), impediu a deposição das rochas pelíticas e carbonáticas.

A taxa de desnudação da bacia, ou seja, de retirada de sedimentos, de acordo com análise de ^{10}Be, é de 48,15 m / Ma (Oliveira, 2020), indica uma dinâmica

erosiva relativamente ativa para um sistema fluvial de zona subúmida e instalado sobre rochas em sua maioria bastante permeáveis, formadas basicamente de arenitos.

O atual relevo da bacia é resultado dessa evolução, que criou um conjunto de formas de relevo e seus atributos, como altitude, morfologia e regolitos que influenciam na distribuição do escoamento superficial e subsuperficial da água de chuva, afetando os tipos e as taxas de erosão e de deposição dos sedimentos. Desta maneira, afetam a manutenção dos cursos de água e, assim, no uso e ocupação da terra, incluindo seu manejo.

Análise das Variações das Formas de Relevo ao Longo de Perfis Transversais ao Eixo do rio Pandeiros

A análise dos padrões de formas de relevo da bacia, bem como sua dinâmica foi realizada com o auxílio de dois instrumentos espaciais do SIG: Mapa Hipsométrico, com o auxílio do Mapa de Declividade. Isto porque, embora a inclinação (Fig. 2) seja um dos principais fatores indutores da erosão, ela não atual sozinha. Vertentes com declividade acentuada, mas longas e com cobertura vegetal densa, bem como irregularidades na superfície dos regolitos, tendem a produzir menos sedimentos dos que aquelas menos inclinadas, curtas e sem a presença dos dois outros fatores (BARBOSA e AUGUSTIN, 2002).

O Mapa Hipsométrico da área de estudo (Fig. 3) permite analisar, através dos cortes de seções transversais ao longo do eixo longitudinal da bacia do rio Pandeiros, a variação dos diversos domínios altimétricos, bem como seus padrões de relevo dominantes, enquanto o Mapa de Declividade indica as áreas de maior inclinação do terreno (Fig. 2). A análise geomorfológica da bacia do rio Pandeiros, focada nos desníveis topográficos e inclinação das vertentes mostra que a variação das formas de relevo, que em grande parte impactam os processos da dinâmica hídrica da bacia, não se restringe aos domínios litoestatigráficos do substrato geológico.

Mapa de Declividade da Bacia

A declividade é um dos importantes indicadores do potencial erosivo, uma vez que constitui uma das variáveis do relevo mais fortemente associadas à indução dos processos causadores da perda de material nas vertentes e nos fundos de

vale. Este é um dado importante, porque indica onde ocorrem desníveis que influenciam e afetam a ocorrência, intensidade e a magnitude dos processos erosivos, sejam eles de encosta ou fluviais (AUGUSTIN et al., 2020b).

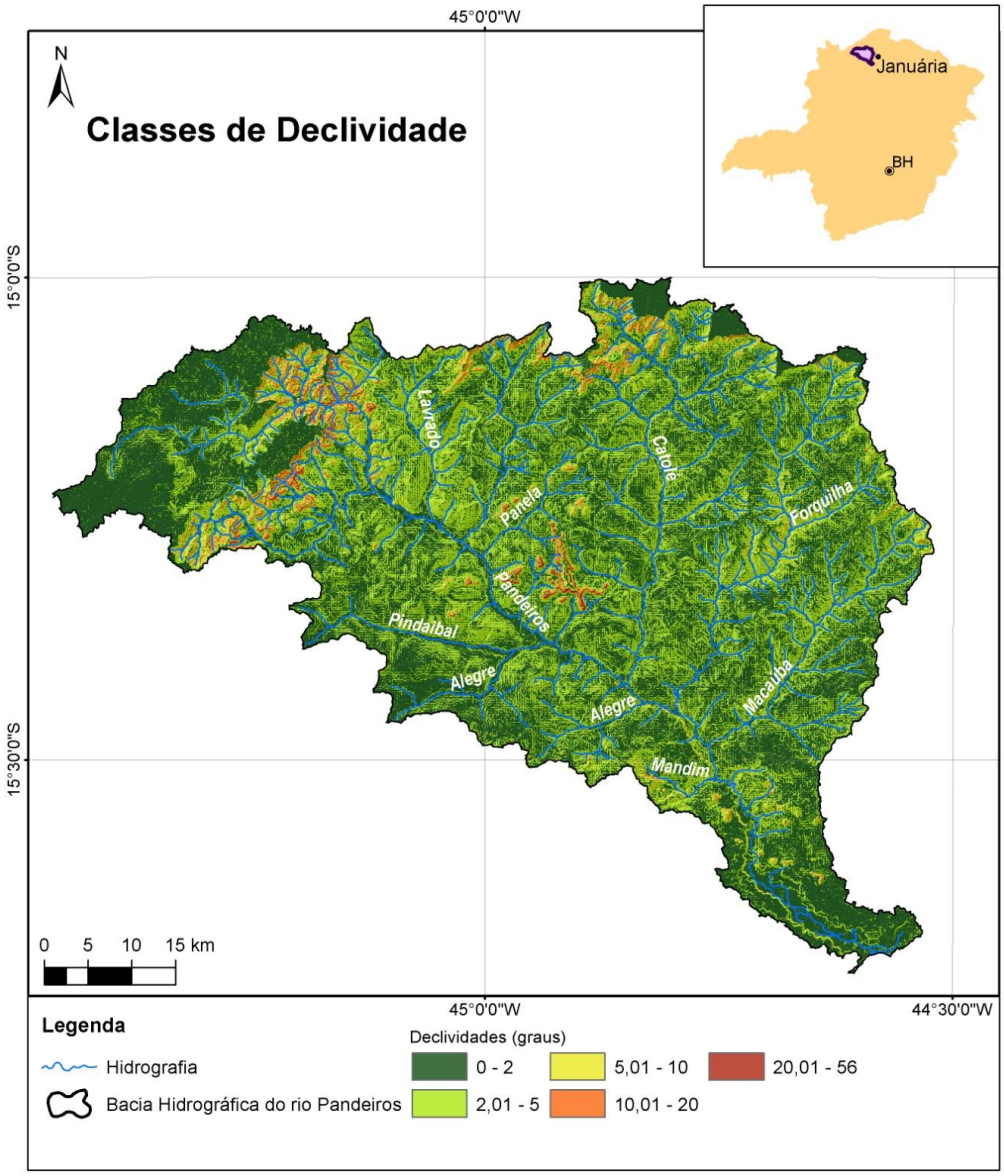


FIGURA 2: Mapa de Declividade da bacia do rio Pandeiros, mostrando as áreas de maior inclinação dos terrenos, informação importante para a identificação de potencial erosivo dos regolitos e de deposição dos seus sedimentos.

Mapa Hipsométrico da Bacia

O Mapa Hipsométrico, obtido a partir do SIG, retrata as macroformas de relevo da bacia (Fig. 3), indicando padrões altimétricos e seus arranjos espaciais a partir das altitudes com relação ao nível do mar e tomando como referências as distâncias das curvas de nível.

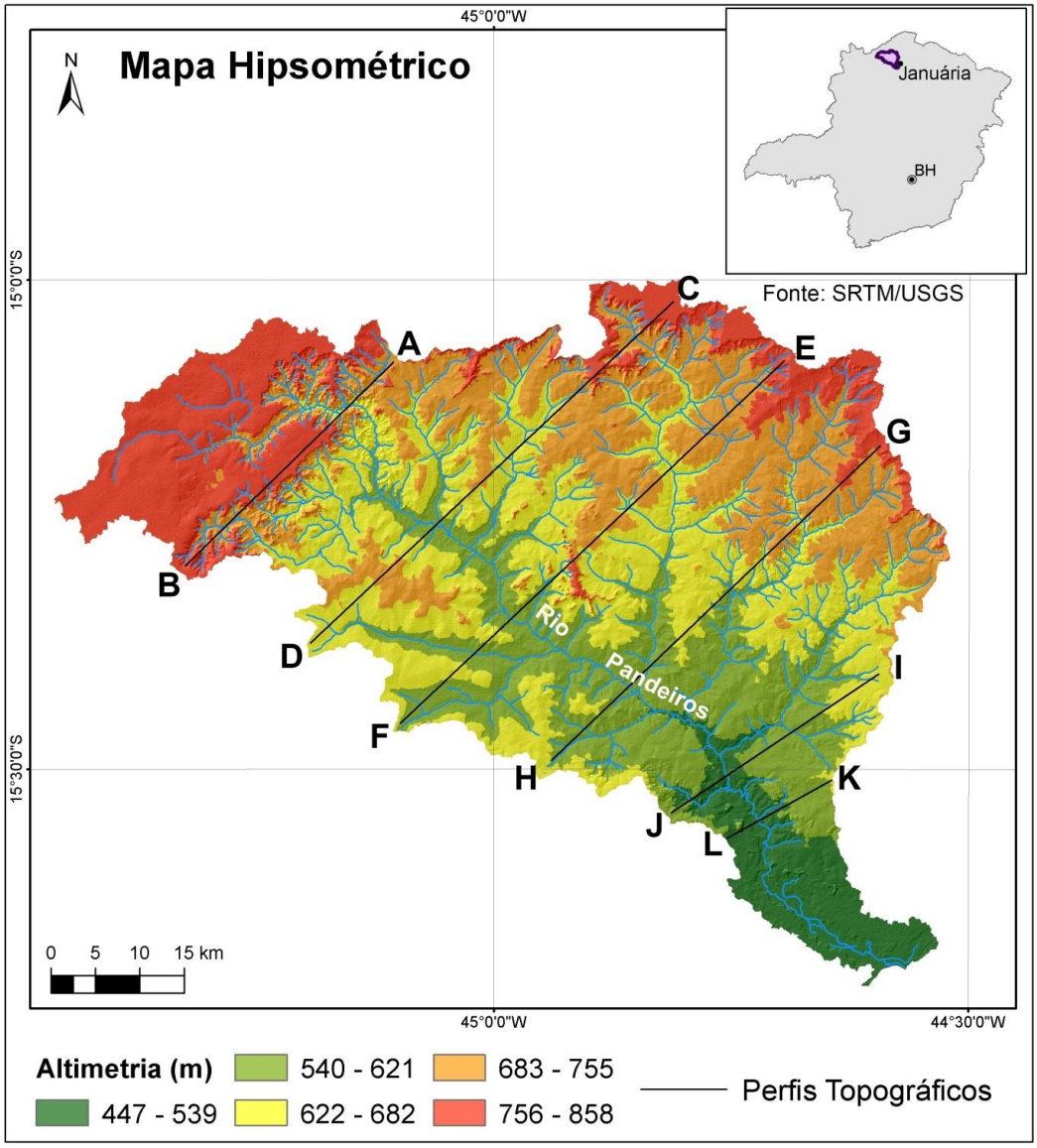


FIGURA 3: Mapa Hipsométrico da bacia do Rio Pandeiros – MG, com cortes transversais à bacia (A-B); (C-D); (E-F); (G-H); (I-J); (K-L).

Eixos de estruturação do relevo

A análise do Mapa Hipsométrico (Fig. 3) indica a existência de dois eixos de estruturação do relevo na bacia: o primeiro, NW-SE, corresponde ao perfil longitudinal do rio Pandeiros (Fig. 4), ou seja, das partes mais elevadas da bacia em direção às mais baixas da foz, na confluência com o rio São Francisco; o segundo refere-se aos perfis laterais da bacia, da margem esquerda mais alta, para a margem direita, mais baixa (Fig. 3). A existência desses dois eixos tem efeito prático na distribuição da energia, além de indicar as direções nas quais esta energia é transformada em trabalho erosivo; da mesma maneira, mostra onde ela diminui levando à deposição do material erodido.

Perfil longitudinal

No primeiro eixo, do topo da Chapada nos limites das cabeceiras do rio Pandeiros até a foz do rio Pandeiros com o rio São Francisco, o desnível é de, aproximadamente, 365 m em 106 km do comprimento da bacia (Fig. 4). Isto corresponde a um desnível médio de 3,44 m/Km da bacia, lembrando que este valor não constitui um valor regular, representativo de toda a bacia.

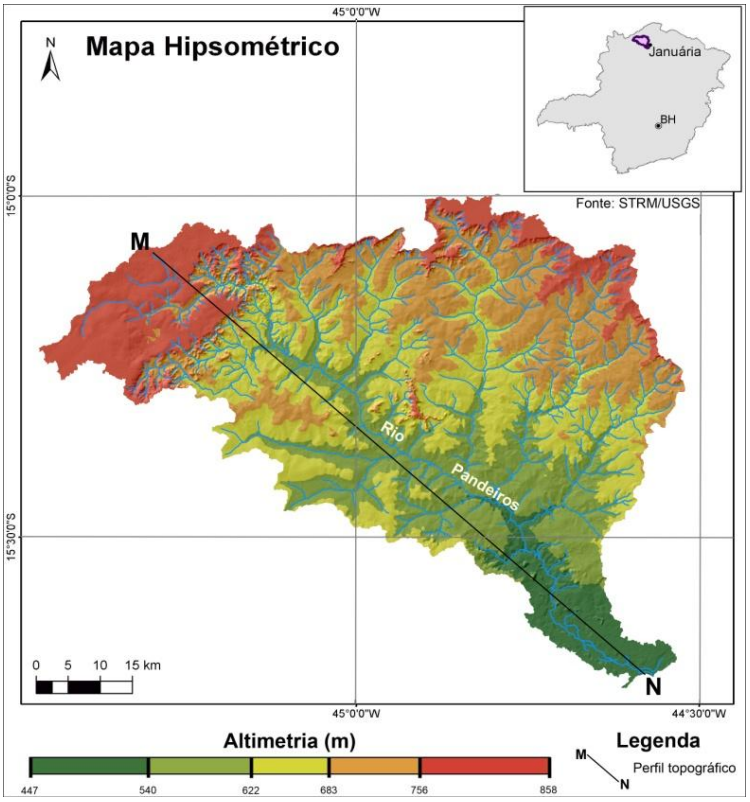
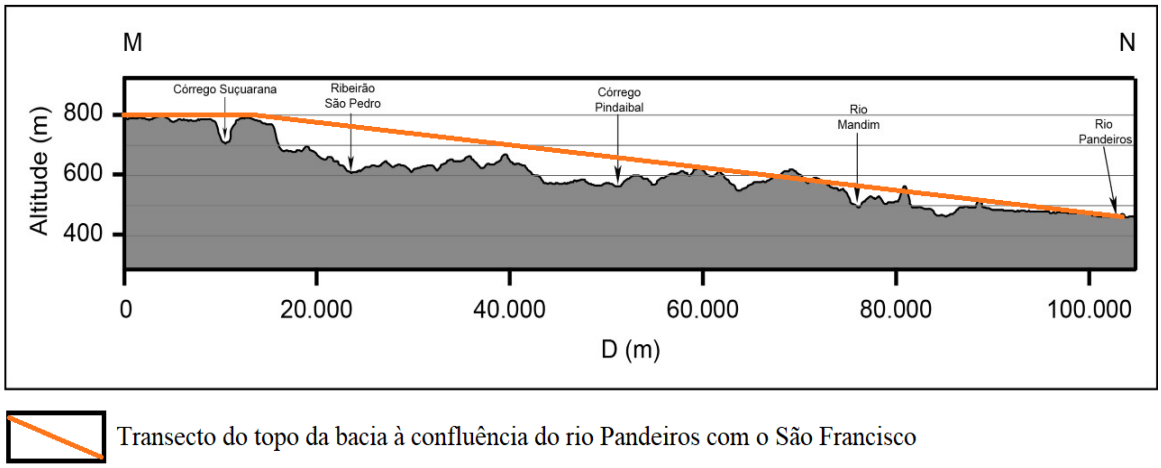


FIGURA 4: Mapa Hipsométrico, com a plotagem do transecto longitudinal do rio Pandeiros, do topo até sua confluência com o São Francisco (desnível topográfico).

Ele não reflete a dinâmica de todo o sistema do relevo, porque há trechos nos quais ocorrem rupturas acentuadas de declive (Figs. 3 e 5), acima desse valor médio, o que leva ao aumento da energia, e outros, nos quais os desníveis estão mais abaixo desse valor, fazendo com que o rio disponha de menor energia, tornando-o mais meandrante e propiciando a formação de lagoas marginais.



Transecto do topo da bacia à confluência do rio Pandeiros com o São Francisco

FIGURA 5: Perfil longitudinal do topo da Chapada das Gerais até a confluência do rio Pandeiros com o rio São Francisco, mostrando o primeiro eixo topográfico visualizado pelo Mapa de Hipsometria (Fig. 3 e 4).

Análise mais detalhada deste eixo (Figs. 4 e 5) foi realizada por Augustin, et al. (2020c). No presente estudo, será dada ênfase aos perfis laterais ou transversais da bacia, que segundo Sinha-Roy (2009, p. 127), “refletem a extensão da erosão no vale, que depende de vários fatores, entre eles a sua duração, a resistência das rochas e as atividades tectônicas que causam soerguimento e subsidência dos terrenos”.

Análise dos Perfis Topográficos Transversais da Bacia

O segundo eixo da evolução da bacia do rio Pandeiros (Fig. 3), corresponde à abertura lateral produzida pela expansão das drenagens dos tributários das duas margens, ambas com o predomínio da direção SW-NE. O Mapa Hipsométrico da área de estudo permite analisar a variação dos diversos domínios altimétricos da bacia do rio Pandeiros, bem como seus padrões dominantes de relevo.

Os perfis laterais (A-B; C-D; E-F; G-H; I-J; L-M) mostram que, de uma maneira geral, as maiores altitudes estão localizadas na margem esquerda do rio Pandeiros e que embora as menores altitudes predominem na margem direita, nem sempre estas significam baixas declividades, indicando que para uma visão mais precisa do relevo e da energia a ele associada, esta deve incluir, como é o caso, mais de uma ferramenta de análise.

Perfil A-B

O perfil transversal A-B (Figs. 3 e 6), plotado no alto rio Pandeiros, intercepta duas áreas com características geomorfológicas bem definidas. A primeira delas, correspondente às superfícies da Chapada das Gerais, com altitudes entre 840 e 700 m e que se estendem a noroeste nos limites com as bacias dos rios Carinhanha (noroeste), Cochá (norte) e Peruaçu (nordeste). Ela forma no perfil A-B, o platô elevado, limitado por duas outras áreas topograficamente mais baixas e dissecadas.

Como pode ser observada na figura 6, toda a extensão da Chapada tem bordas irregulares em decorrência da erosão provocada pelo recuo das drenagens dos córregos. Estas bordas formam o limite da segunda unidade geomorfológica da bacia, as Escarpas, em cuja porção NW, encontra-se localizada as cabeceiras do rio Pandeiros, formadas pelas drenagens do ribeirão Pandeiros e do córrego Genipapo à esquerda, e o Suçuarana, à direita, identificado por Bethonico (2009) como a cabeceira principal do rio Pandeiros.

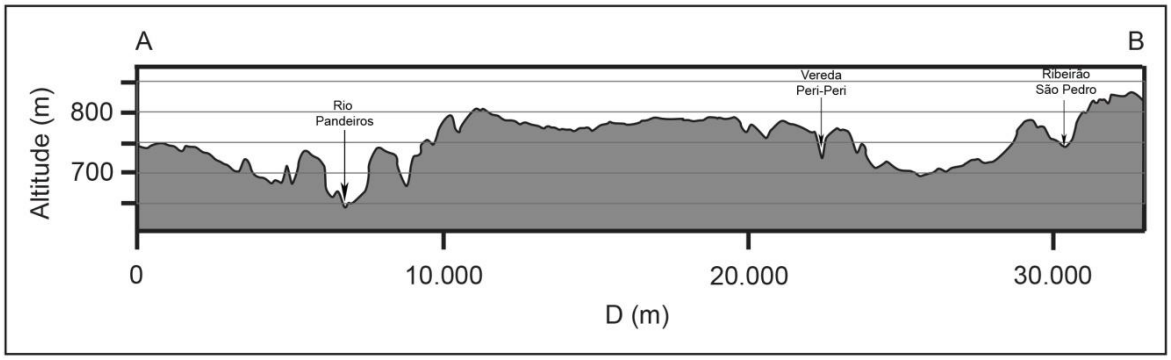


FIGURA 6: Perfil transversal A-B, identificado no Mapa Hipsométrico da figura 3, mostrando duas áreas com relevos individualizados: as mais altas altitudes correspondem à Chapada das Gerais e as outras duas, às de nascentes da drenagem do rio Pandeiros, MG.

O ribeirão Pandeiros, denominado em vários mapas (ex. Mapa Topográfico, Folha São Joaquim, IBGE, 1972), como córrego Vitória, não é conhecido por esta denominação pelos moradores locais e corresponderia, segundo estes, às nascentes do ribeirão Pandeiros, que captura o córrego Genipapo em seu curso ao longo da Escarpa NW. A denominação de rio Pandeiros somente ocorre após o encontro com a drenagem do córrego Suçuarana (AUGUSTIN et al., 2020c).

A Chapada das Gerais tem uma superfície plana à ondulada (Figs. 3, 6 e 7), com baixa declividade (1 a 2^0), como mostra o Mapa de Declividade (Fig. 2). Em função disso, e do fato de que a erosão é influenciada pela estrutura horizontalizada das camadas tectonicamente indeformadas das rochas da Fm Serra das Araras, do Grupo Urucuia, esta área apresenta baixa densidade de drenagem.

FIGURA 7: Relevo relativamente plano (1-2º) do topo da Chapada das Gerais, porção mais elevada da bacia do rio Pandeiros, nas proximidades da Fazenda RIMA. Destaca-se o Latossolo Vermelho-amarelo predominante, e a cobertura vegetal de cerrado degradado, resultante do desmatamento e da queima periódica para fins de uso para pastagem de gado.

A drenagem incipiente e pouco encaixada, os baixos índices de declividades e de rugosidade do terreno (Fig. 2 e 7), além de elevadas taxas presumidas de infiltração em função do relevo plano e da textura arenosa das geocoberturas, fazem com que esta área apresente um baixo potencial erosivo. Grande parte dela tem regolito relativamente espesso, composto por material proveniente predominantemente de elúvios da intemperização *in situ* das rochas da Fm Serra das Araras e por colúvios localizados, formando Latossolos Vermelho-Amarelos (SILVA *et al*., 2015; DIAS, 2017), com alto teor de areia.

Nas bordas da Chapada NW ainda podem ser encontrados afloramentos residuais das rochas areníticas avermelhadas pela laterização da Fm Serra das Araras, como pode ser observado na figura 8. A partir dos limites da borda, aparecem os vales encaixados, localizados no segundo domínio geomorfológico da bacia: as Escarpas. Elas se estendem por todos os limites da bacia do rio Pandeiros: do

noroeste, com o rio Carinhanha; ao norte, com o rio Cochá, até o nordeste, com o rio Peruaçu.

FIGURA 8: Borda noroeste da Chapada, onde ainda é possível identificar-se afloramentos laterizados dos arenitos da Formação Serra das Araras, que sustenta a superfície aplainada da Chapada.

A porção deste domínio onde estão localizadas as nascentes do rio Pandeiros, interceptada pelo perfil A-B (Figs. 3, 6 e 8), marca o limite das duas áreas mais baixas ao longo do perfil, tanto na sua porção inicial, quanto na final (OLIVEIRA *et al.,* 2017a, b; AUGUSTIN *et al*., 2020a).

O recuo das cabeceiras criou uma borda irregular, rendilhada, que marca todo o contato da Chapada das Gerais com as Escarpas (Figs. 3, 6 e 9). Elas resultam da intensa dissecação do relevo realizada pelo entalhe das cabeceiras da drenagem do rio Pandeiros e dos seus afluentes, modelada sobre as rochas da Formação Serra das Araras, depositadas no Cretáceo Superior e que formam o topo do Grupo Urucuia (Figs. 2, 8 e 9).

No corte A-B (Figs. 3 e 6), é possível observar como a Escarpa NW é marcada por grande desnível altimétrico causado pela incisão, na margem esquerda, das cabeceiras do córrego Genipapo e especialmente do ribeirão Pandeiros e na margem direita, pelas do córrego Suçuarana. Estas drenagens ao se juntarem, formam o rio Pandeiros (Fig. 9). O perfil também inclui a zona de influências das cabeceiras do córrego Lavrado. As rupturas de declive, nesta área, podem atingir a ordem de 100 m de altura no contato do topo da Chapada com a base marcada pelo nível do rio Pandeiros (Figs. 3 e 9).

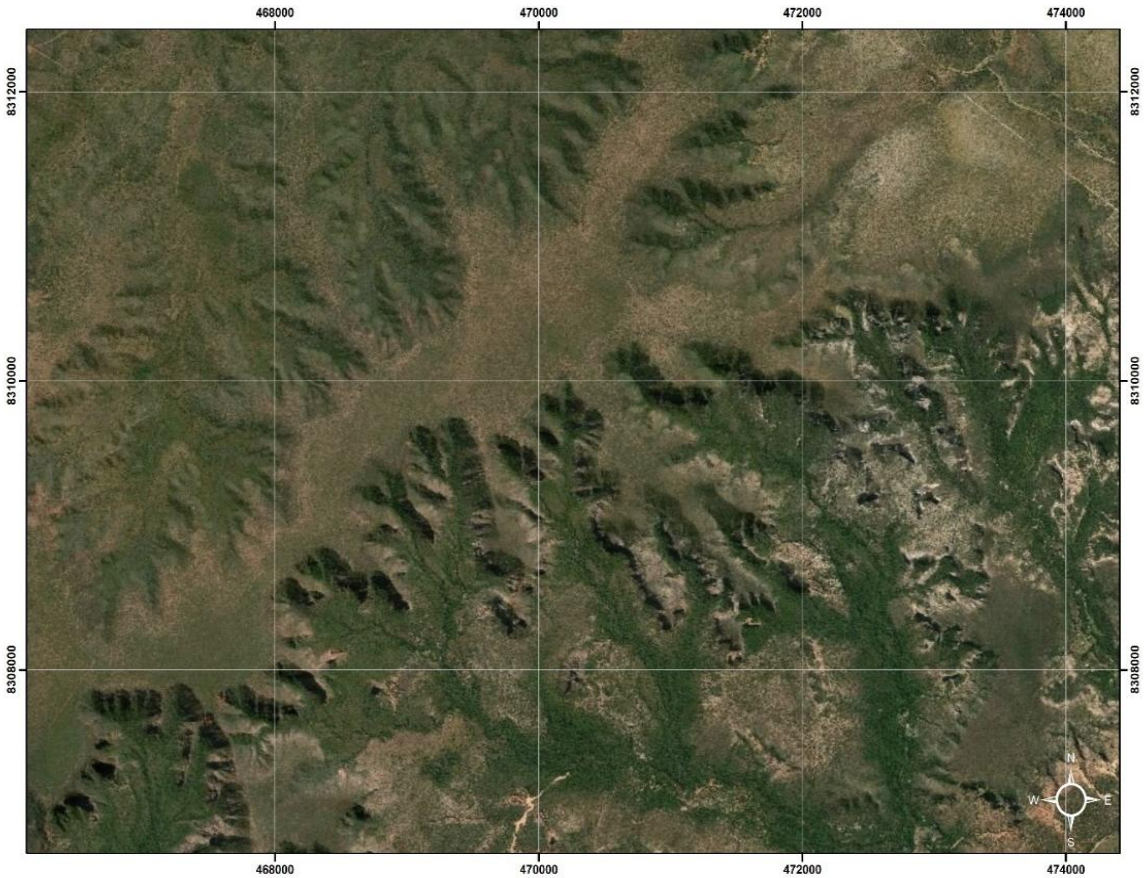


FIGURA 9: Cabeceiras de afluentes do rio Pandeiros no contato da superfície da Chapada das Gerais, localizada na porção sudeste do Chapadão Central e a bacia propriamente dita. É possível observar as profundas incisões da drenagem, formando escarpas e criando um padrão rendilhado na borda do platô da Chapada.

O mesmo ocorre nas Escarpas norte/nordeste da bacia do Pandeiros, nos interflúvios que marcam os limites com as bacias dos rios Cochá e Peruaçu, onde as diferenças altimétricas são menores (50 a 60 m) e os níveis de base variam conforme a profundidade dos canais (Fig. 3 e 6). Por se tratar de fluxos de nascentes, tendem a apresentar baixa vazão; no entanto, eles contam com muita energia em decorrência das declividades acentuadas (10-50^0), as mais elevadas da bacia (Figs. 2, 3, 6 e 9), significando alto potencial de energia e intensa capacidade de erosão e produção de sedimentos, tanto por processos fluviais, quanto de encosta. Isto ocorre, em especial, nos segmentos mais inclinados das Escarpas, voltados para anfiteatros, de formas semicirculares, denominadas na geomorfologia de anfiteatros, típicas de áreas de nascentes (Fig. 10).

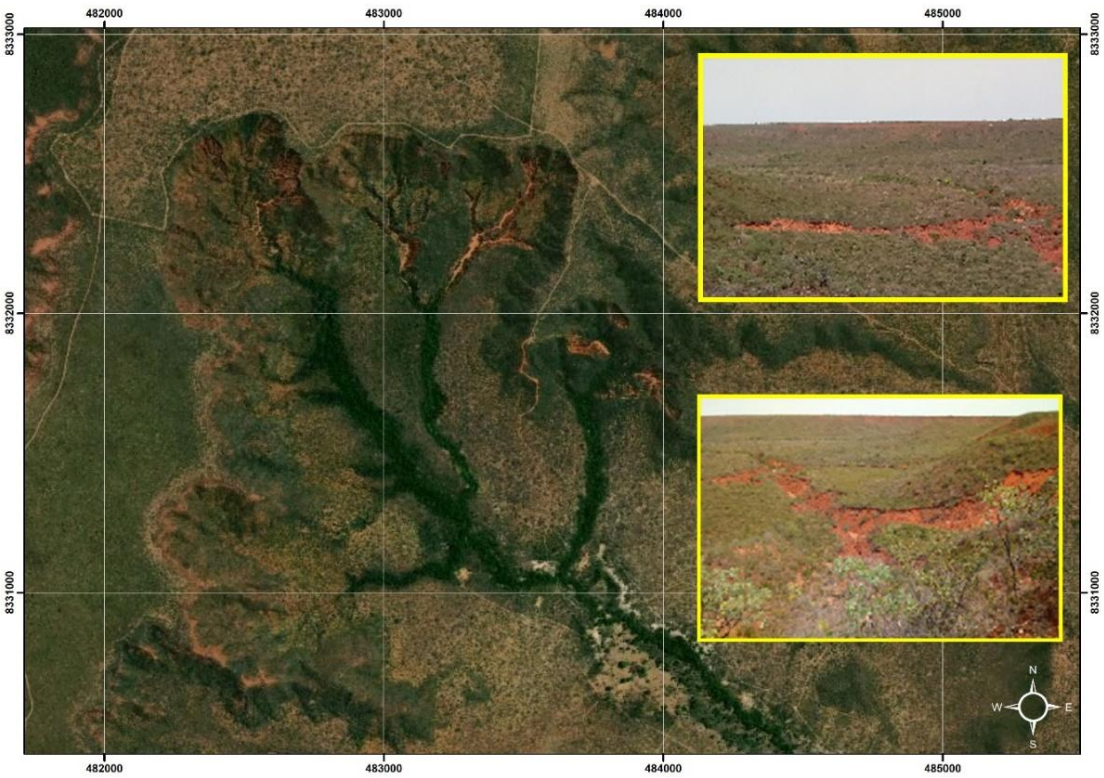


FIGURA 10: Anfiteatros nas áreas de contato entre a Chapada das Gerais e a Escarpa, na região NW, vale do ribeirão Pandeiros (denominado córrego Vitória em alguns mapas). Esses anfiteatros são formados pelo recuo das cabeceiras de drenagem. Fonte: Imagens Google Earth, 2020.

Em função da forma côncava que concentra a água de escoamento superficial e da declividade acentuada (acima de 20^0, Fig. 2), estes anfiteatros estão sujeitos à erosão acelerada e também à ocorrência de deslizamentos (Fig. 10). O material tende a se concentrar nas porções centrais e por causa do afunilamento dos canais na parte mais baixa do anfiteatro, é lentamente retirado pela drenagem (Fig. 11).

É principalmente na Escarpa NW, onde os processos erosivos hídricos têm atuado mais, com destaque para os concentrados como os voçorocamentos, embora estes não estejam restritos a este domínio (Figs. 3, 9, 10 e 11).

FIGURA 11: Voçorocas na área da borda da Chapada, próxima às nascentes do rio Pandeiros. Nota-se a cor vermelha da encosta do anfiteatro indicando saída recente de sedimentos e pouca presença de cobertura vegetal.

A retirada da cobertura vegetal predispõe a área à ocorrência dos processos erosivos tanto dispersos como concentrados e aos movimentos de massa, em função da associação entre características do relevo (Fig. 11), como declividade acentuada (escarpa) e a presença de regolito muito friável e pouco coeso no qual predomina a fração areia (AUGUSTIN, *et al*., 2020a).

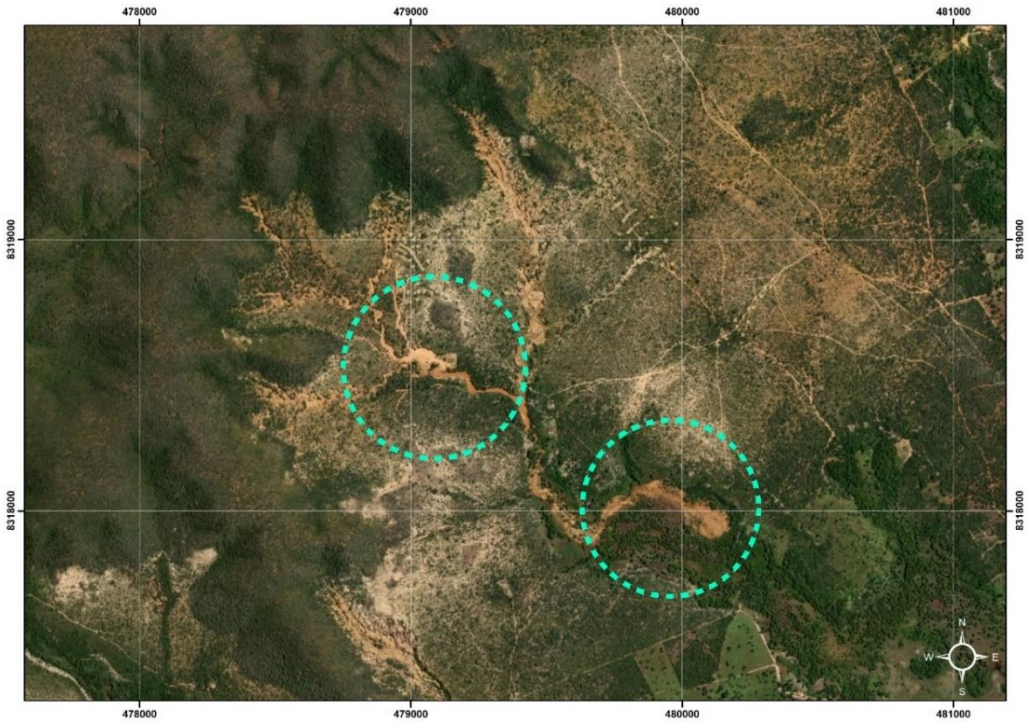


FIGURA 12: Sedimentos provenientes de voçorocas na zona da Escarpa, detectados em cursos de água. Notar a coloração barrenta da água do fluxo, indicadas pelos círculos. Fonte: Imagens Google, 2020

Esses tipos de processos, por sua vez, são geradores de produção intensa de sedimentos, os quais, eventualmente, são transportados pelos cursos de água e depositados ao longo dos canais fluviais, comprometendo a dinâmica fluvial dos rios/córregos (Fig. 12).

Perfil C - D

O perfil transversal C-D do Mapa Hipsométrico (Fig. 13) está localizado na porção alta para a média do vale do rio Pandeiros (Fig. 3).

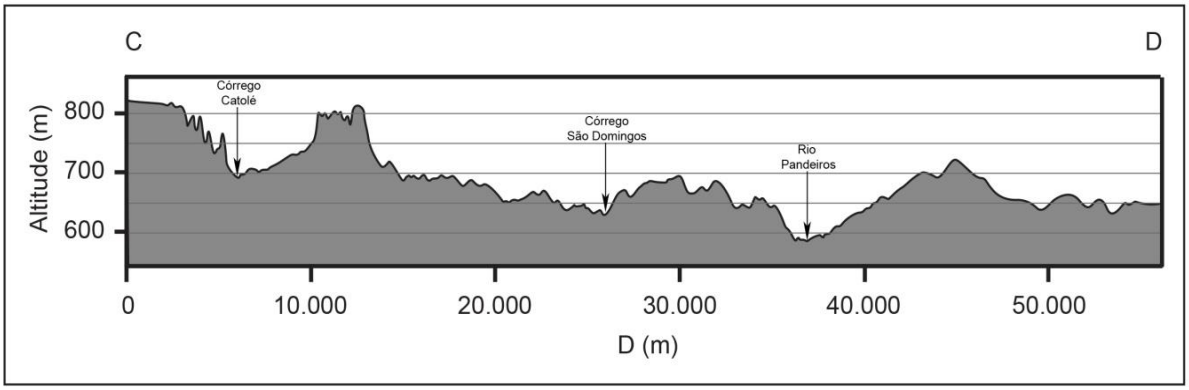


FIGURA 13: Perfil transversal C-D, posicionado na porção alta-média da bacia do rio Pandeiros-MG. Na margem esquerda do rio Pandeiros, destaca-se a parte mais elevada da Chapada e o morro do Sumidouro, separado da Chapada pela incisão da drenagem, formando um relevo tabular residual.

Ao longo do perfil (Fig. 13) é possível identificar a presença de três conjuntos de terrenos mais elevados (858 a 680 m): 1- na margem esquerda da bacia, o relevo da Chapada das Gerais NW e seus remanescentes; 2- o da Escarpa NW, ocupada pelos interflúvios do córrego Catolé e Panela e seus relevos residuais; 3- no lado direito, os interflúvios entre o córrego Pindaibal e rio Pandeiros, apresentando também formas residuais.

O primeiro conjunto da margem esquerda do rio Pandeiros é o mais elevado topograficamente (Figs. 3 e 13) formado por relevo plano a levemente ondulado (0 a 2°) do domínio da Chapada das Gerais norte (Fig. 2) que contorna todo o limite noroeste, norte e nordeste da bacia do Pandeiros com as bacias vizinhas. No limite da sua borda, ocorre a zona da Escarpa norte (N), abrigando várias nascentes, entre elas, as dos córregos São Domingos e Panela, afluentes do rio Pandeiros. A erosão provocou o recuo da Chapada e acentuou as declividades, que podem variar de 10 a 56° (Fig. 2), formando o domínio da Escarpa (Fig. 3),

deixando como testemunho da sua antiga área de ocupação, relevos residuais, como o morro do Sumidouro, de forma tabular, que alcança até 800 m de altitude (Figs. 13 e 14), ladeado por declives acentuados (10 a 20^0) que o margeiam.

FIGURA 14: O Morro do Sumidouro, relevo residual entre as drenagens do córrego São Domingos e Catolé. Antes da dissecação provocada pelo córrego Catolé, criando a zona da Escarpa norte, fazia parte da Chapada das Gerais. Fonte imagens Google Earth (2018). Coordenadas: 15º04'50.26" S e 44º50'05.40"O.

Este tipo de relevo residual foi esculpido em rochas da Fm Serra das Araras (Fig. 14), do Grupo Urucuia, embora a base das mesmas esteja assentada, hoje, sobre rochas da Fm Posse, cujos sedimentos mais esbranquiçados, formados por areias com baixo teor de ferro, foram depositados em condições climáticas muito secas, no Cretáceo Superior (AUGUSTIN et al., 2020a).

Na margem esquerda, destacam-se ainda a classe de altitudes entre 683 e 775 m dos interflúvios dos córregos São Domingos e Panela, este último, com declividades acentuadas (5 a 20^0). Nas baixas encostas, predominam elevações de 683 a 540 m (Figs. 3 e 14) e declividades de 2 a 5^0 (Fig. 2).

Na margem direita do rio Pandeiros, apesar do terreno apresentar pontualmente altitudes semelhantes às da margem esquerda, predomina no conjunto, um relevo mais baixo, com altitudes entre 683 e 540 m (Figs. 3 e 13). As porções mais elevadas são encontradas no interflúvio do córrego Pindaibal com o rio Pandeiros (Fig. 3), no domínio das rochas da Fm Serra das Araras, que conta ainda, como

na porção mais alta da margem esquerda, com a presença de formas residuais, ou seja, testemunhas do antigo nível da Chapada das Gerais que chegava até esta porção da bacia (Fig. 15).

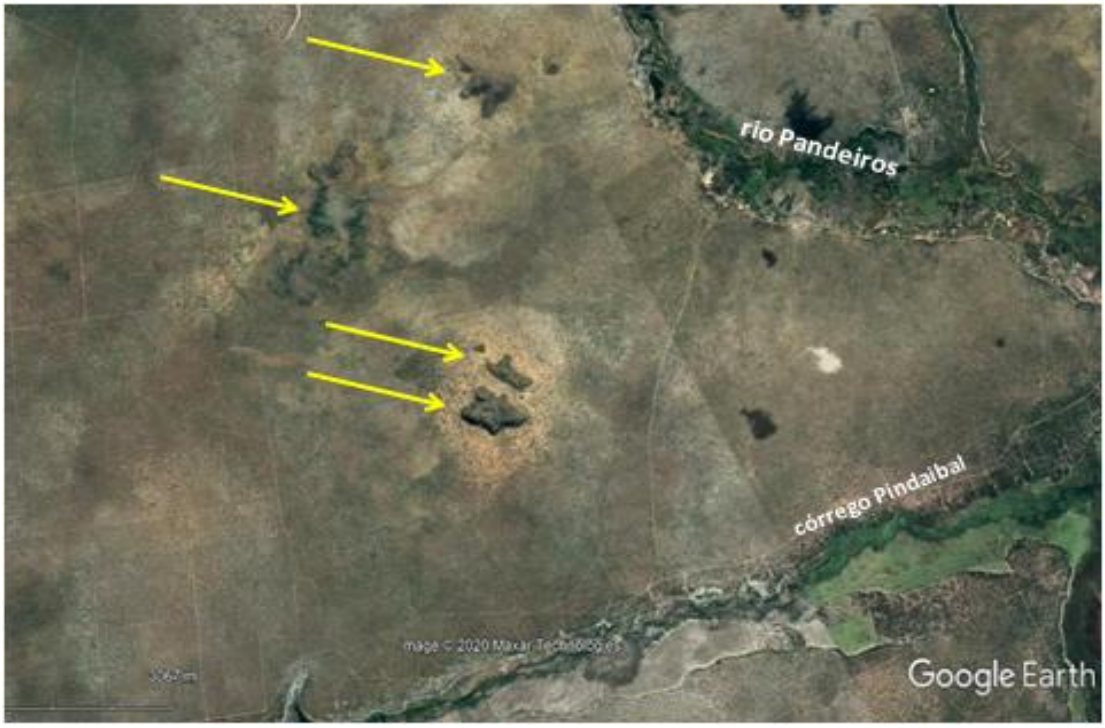


FIGURA 15: Formas de relevo residuais, tabulares, no interflúvio do córrego Pindaibal com rio Pandeiros. São formas de relevo residuais e testemunham que a Chapada das Gerais, formada sobre rochas da Formação Serra das Araras já esteve nesta porção da bacia.

A drenagem da margem direita, diferentemente da margem esquerda do Pandeiros, é menos densa e os rios são mais curtos. Rios curtos, em geral, tendem a ter um alto potencial erosivo. Contudo, nesta área, as vertentes são menos inclinadas do que as da margem esquerda (Fig. 2), o que, associado ao fato desta margem apresentar altitudes mais baixas, faz com que a drenagem tenha menos energia. Como pode ser observado na figura 3, a zona de confluência da drenagem dos afluentes, tanto da margem esquerda como da direita, com o vale do rio Pandeiros, começa a tornar-se extensa.

Perfil E – F

O perfil transversal E-F (Fig. 16) corta a área onde é encontrada a maior amplitude lateral da bacia do rio Pandeiros (em torno de 65 Km). Através do perfil (Fig. 3), é possível verificar que ainda ocorre a distinção com relação à atitude e formas de relevo entre as duas margens da bacia, que são, neste trecho,

separadas pelo vale do rio Pandeiros, bastante encaixado em relação à topografia neste trecho (Fig. 16).

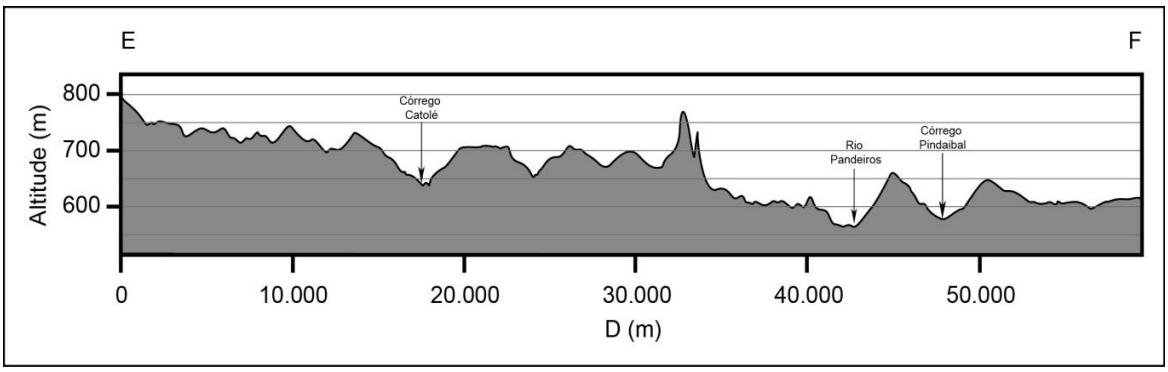


FIGURA 16: Perfil transversal (E-F) da figura 3, referente à porção média da bacia do rio Pandeiros. Destaca-se, ainda a porção mais elevada da margem do lado esquerdo do rio Pandeiros, comparada àquelas da margem direita, bem como a presença de relevos residuais, como a serra da Mescla, cuja forma íngreme é resultado do exagero vertical da escala do perfil transversal. Na realidade, ela tem forma tabular.

A área topograficamente mais elevada (756 a 858 m) corresponde às porções norte/nordeste da Chapada das Gerais, no limite com o interflúvio do rio Peruaçu, com declividades entre 1 e 2^0 (Figs. 2 e 3). O perfil E-F (Fig. 16) também intercepta as bordas da Escarpa N, onde estão localizadas as nascentes do maior tributário do rio Pandeiros, o córrego Catolé e seus afluentes: vereda da Porta, e riachos Flor, do Mandu, e Capivara, entre outros (Fig. 3). O córrego Catolé é representativo da drenagem da margem esquerda, constituída por cursos de água mais extensos do que os da margem direita, e que são separados por grandes interflúvios alongados na direção aproximada N-S, com altitudes na faixa de 755 a 683 m. Destacam-se no fundo dos vales dos médios cursos dos córregos Catolé e do Borrachudo, afloramentos dos granito-gnáisses, do embasamento cristalino, bem como a presença de Latossolos Vermelho-amarelos e Cambissolos. No passado geológico, essas áreas mais elevadas do Alto Estrutural de Januária, impediram a deposição das rochas do Grupo Bambuí que, na margem do riacho Borrachudo e do riacho Macaúba, só aparecem do médio para baixo curso. Nos altos cursos do córrego Catolé e do riacho Borrachudo, portanto, os arenitos mais adelgaçados do Grupo Urucuia, repousam diretamente sobre os granito-gnáisses. Como na margem esquerda (Fig. 15), também na margem direita da bacia, são encontrados relevos residuais (Figs. 16 e 17), testemunhos da presença da antiga

superfície da Chapada das Gerais, modelada nas rochas da Fm Serra das Araras, que ocupava parte representativa da bacia (AUGUSTIN *et al*., 2020a).

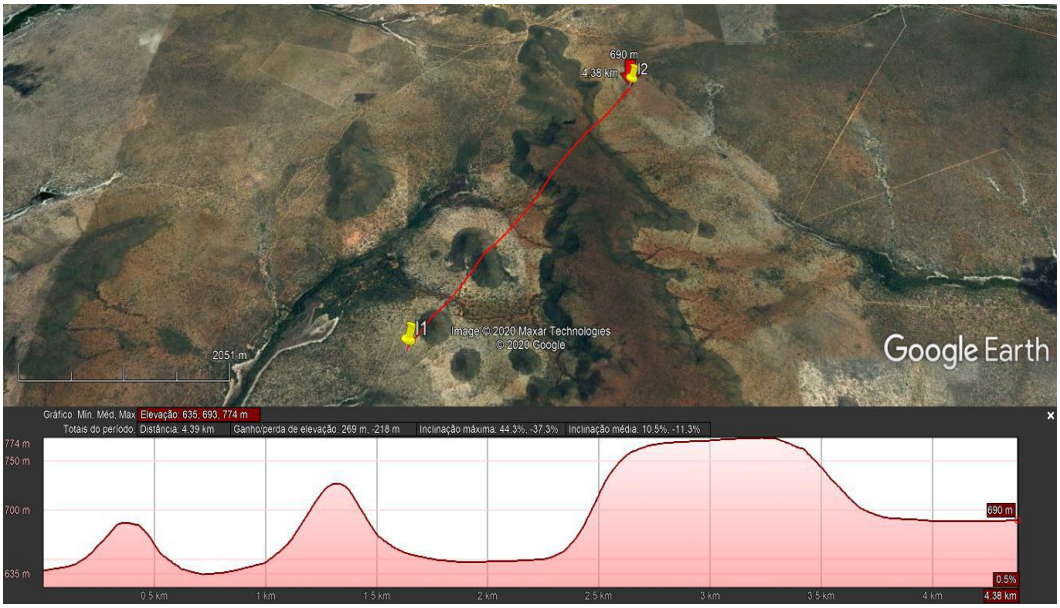


FIGURA 17: Perfis da Serra da Mescla, indicando que esta, bem como outras formas de relevo próximas, é residual, testemunha da superfície hoje presente somente na Chapada das Gerais. Destacam-se morros isolados e a própria forma de meseta da Serra Mescla. Fonte: Imagens Google, 2020.

Esses relevos testemunhos estão localizados nos interflúvios entre os córregos da Panela à direita, e do Catolé à esquerda, como é o caso da Serra da Mescla, de relevo tabular do tipo meseta com altitude de até 780 m (Figs. 3,16, 17 e 18).

FIGURA 18: Conjunto da Serra da Mescla, relevo de mesetas (tabulares) e morros isolados de topos convexos em função da ação de processos de reafeiçoamento das vertentes e encostas íngremes, testemunhos que a superfície da Chapada das Gerais se estendia até, pelo menos, esta área. Essas formas de relevo foram elaboradas sobre rochas da Formação Serra das Araras.

Esse complexo de formas constitui um relevo testemunho, composto não somente pela meseta da Serra da Mescla (Fig. 18), como por outras formas residuais, como os pequenos morros arredondados (ex: morro da Capivara e da Tábua), e outras mesetas tabulares menores e mais baixas (670 a 600 m).

Perfil G - H

Como nos demais perfis até agora analisados, ao longo do perfil transversal G-H (Fig. 19), também ocorrem dois conjuntos de formas de relevo: o da margem esquerda, mais elevado com altitudes que chegam acima de 700 m, correspondendo ao relevo residual da borda nordeste da Chapada (Fig. 15), modelado nas rochas da Fm Serra das Araras, e os mais baixos, da margem direita do Pandeiros. Estes, são encontrados predominantemente sobre as rochas da Fm Posse e, embora não formem relevos tabulares, contam com elúvios ainda espessos de rochas da Fm Serra das Araras (Figs. 3 e 19).

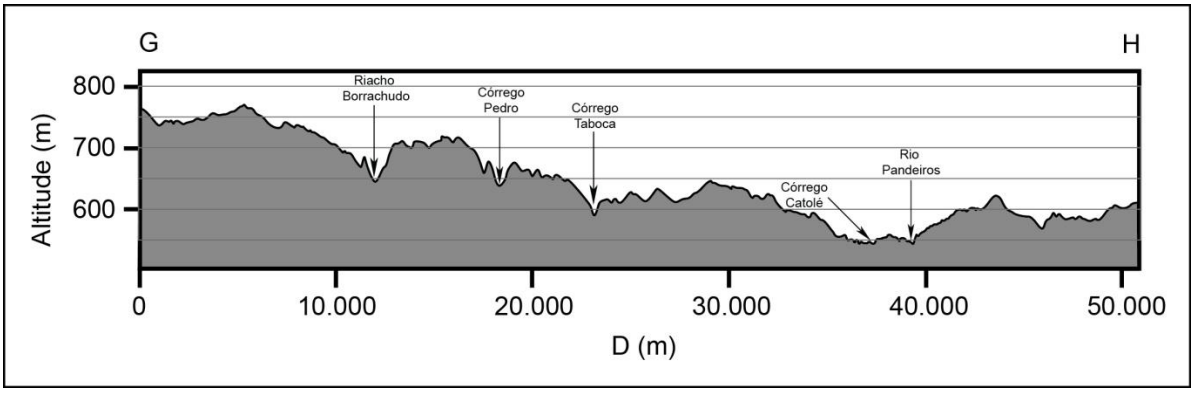


FIGURA 19: Perfil G-H, intercepta áreas do médio-baixo rio Pandeiros. Relevo da margem esquerda é mais elevado, diminuindo em direção à calha do rio.

Na margem esquerda, na Chapada das Gerais NE (Figs. 3 e 19), no limite com o rio Peruaçu, são encontradas altitudes mais elevadas (756-858 m) em uma pequena área com substrato de rochas da Fm Serra das Araras (acima de 780 m). Como no restante da Chapada, esta porção também é plana (0 a 2^0), como pode ser verificado no mapa da figura 2. Isto muda abruptamente na borda da Chapada com a Escarpa NE, na área de nascentes do córrego Forquilha, afluente do riacho Borrachudo (Fig. 3), onde as declividades estão entre 5 e 10^0 (Fig. 2).

Na margem direita do rio Pandeiros, interceptada pelo perfil G-H (Fig.19) as altitudes são bem mais baixas do que as da margem esquerda, porém semelhantes às encontradas nas baixas encostas do riacho Borrachudo (Fig. 3).

As maiores altitudes (682 e 622 m) do lado direito do Pandeiros são encontradas ao longo do vale do córrego Alegre.

Como podem ser observadas na figura 19, as porções mais baixas do relevo, predominantemente entre 539 e 447 m ocorrem nos fundos do vale do rio Pandeiros na confluência dos seus tributários (Fig. 3), tanto da margem esquerda (ex: córrego do Catolé e Borrachudo), quanto da direita (ex. córrego Alegre). Essas junções são resultantes do maior aprofundamento e também do alargamento dos vales, indicando também grande retirada de sedimentos das encostas, provocando assoreamento os fundos dos canais. Assim, os vales que em condições de equilíbrio dinâmico teriam forma de “V”, passam a ter forma de “U”, em função do assoreamento dos fundos dos vales.

Perfil I - J

O perfil I-J (Fig. 20) mostra que as grandes diferenças de extensão, altimetria e declividade entre os terrenos da margem esquerda, mais extensa, alta e inclinada, e os da direita do rio Pandeiros, mais baixos, menos extensos, e inclinados, perpassam toda a bacia, acompanhando o eixo longitudinal do rio Pandeiros (Figs. 3 e 4). A principal drenagem da margem esquerda, neste trecho, é a do riacho Macauba, cujo canal e as baixas encostas foram elaborados sobre as rochas carbonáticas da Fm Sete Lagoas, do Grupo Bambuí, expostas justamente pela dissecação fluvial do rio São Francisco e, em menor escala, pelo Pandeiros, que retirou as rochas areníticas do Grupo Urucuia que as cobria no passado geológico.

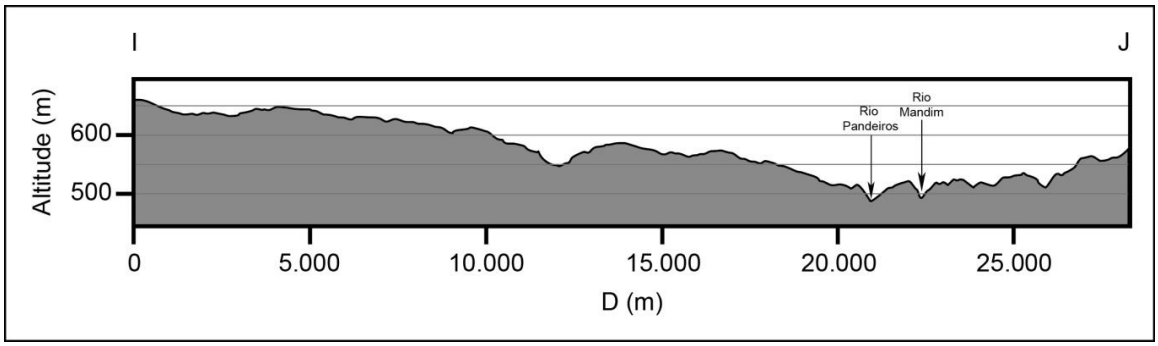


FIGURA 20: Perfil I-J mostrando mudanças significativas do padrão de drenagem, com a presença de tipo de relevo mais baixo e menos dissecado na margem direita do rio Pandeiros, onde corre o riacho Mandim e seus afluentes, enquanto na margem esquerda o relevo é menos dissecado e mais elevado, acompanhando o padrão de toda a bacia do rio Pandeiros.

Os arenitos da Fm Posse, da base do Urucuia, são ainda predominantes, formando o substrato rochoso de todas as áreas mais altas do interflúvio do riacho Macauba (Figs. 3 e 20). Abaixo dos arenitos, encontram-se as rochas pelíticas e carbonáticas das rochas do Grupo Bambuí. Nesses domínios, as altitudes encontram-se entre 682 e 622 m. Saindo das zonas de interflúvio, elas se reduzem a valores abaixo de 539 m, atingindo 540 m nas zonas dos fundos dos vales do rio Pandeiros e riachos Macauba e Mandim, este último, tributário da margem direita do rio Pandeiros (Fig. 3).

O perfil I-J (Fig. 20) ainda mostra que o córrego Mandim e seus afluentes, constituídos de cursos de água curtos, causam dissecação mais intensa na margem direita do rio Pandeiros, do que aquela causada pelo Riacho Macauba, da margem esquerda (Figs. 2 e 3). As nascentes do Mandim estão localizadas no contato dos arenitos da Fm Posse, que têm granulometria que favorece a infiltração e armazenagem da água de escoamento da chuva (*runoff*), tornando-os um aquífero local importante, e as rochas carbonáticas do Membro Pedro Leopoldo, estratigráfica e topograficamente mais baixas. Seu canal, no entanto, já se encontra estabelecido sobre as rochas da Fm Sete Lagoas, ou seja, sobre rochas carbonáticas. Isto pode explicar, pelo menos em parte, a forte sazonalidade do seu escoamento, possivelmente já associado ao regime cárstico.

O contato geológico nessa área é responsável pela ocorrência de uma grande ruptura de declive, fazendo com que as declividades na bacia do Mandim sejam relativamente elevadas em comparação com o restante da área (Fig. 1a), atingindo localmente de 10 a 20^0, embora predominem aquelas entre 5 e 10^0 (Fig. 2). Isto influencia na intensificação dos processos erosivos, levando à ocorrência de voçorocamento, processo que contribui para o assoreamento do córrego Mandim.

Na margem direita deste córrego, bem como na porção do baixo interflúvio entre o córrego Maracujá e a drenagem isolada do córrego Tejuco (não pertencente à bacia do rio Pandeiros), são encontradas rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas, do Grupo Bambuí, formando um semiarco no sentido N-S, da bacia do rio Peruaçu à do rio Pardo. Enquanto as rochas dolimíticas de cores claras do Membro Pedro Leopoldo, da base da Fm Sete Lagoas, constituem o substrato das porções mais baixas do relevo, com altitudes entre 539-477 m (Figs. 1a; 3),

os afloramentos de “calcários calcíticos até cinzentos do tipo calcarenitos, com raros níveis finos de marga calcítica” (CODEMIG-UFMG, Folha São Francisco, 2015) do Membro Lagoa Santa, do topo da Fm Sete Lagoas (Fig. 1a), formam as porções mais elevadas (660–560 m).

O cotejamento do Mapa Hipsométrico (Fig. 3) com o Geológico (Fig. 1a) mostra que as altitudes mais elevadas (682 e 622 m) mostradas na figura 20, ocorrem na margem esquerda do rio Pandeiros, dominadas pelos interflúvios do riacho Maracujá e seu afluente, o riacho Lameirão (margem esquerda). Aí o relevo é mais plano, com baixas declividades (0 a 5^0- figura 2), desenvolvido sobre arenitos da Formação Posse, da base do Grupo Urucuia, embora o próprio leito do Maracujá tenha atingido os carbonatos da Formação Sete Lagoas.

Os afloramentos de calcário formam paredões abruptos com até 100 m de altura, em cujas bases encontram-se zonas deprimidas denominadas de poljes (Figs. 21A; 21B). Esses maciços tendem a ser atravessados por cursos de água, que podem ou não ser permanentes. Em período de chuva, com a subida do nível freático, ocorre ressurgência, levando à inundação da planície. Na região, esses afloramentos recebem o nome de “ilhas”, por se encontrarem parcialmente cercados por área mais baixa (planície, ou polje, presentes nas figuras 21A e 21B).

Como parte das feições cársticas, os paredões formam colunas, que são feições do fraturamento das rochas, acentuadas pela dissolução e na qual predominam os lapiás, ranhura formadas pela dissolução superficial (exocarste), muito efetiva em áreas que têm cobertura vegetal, devido à acidificação do pH da água (Fig. 21C).

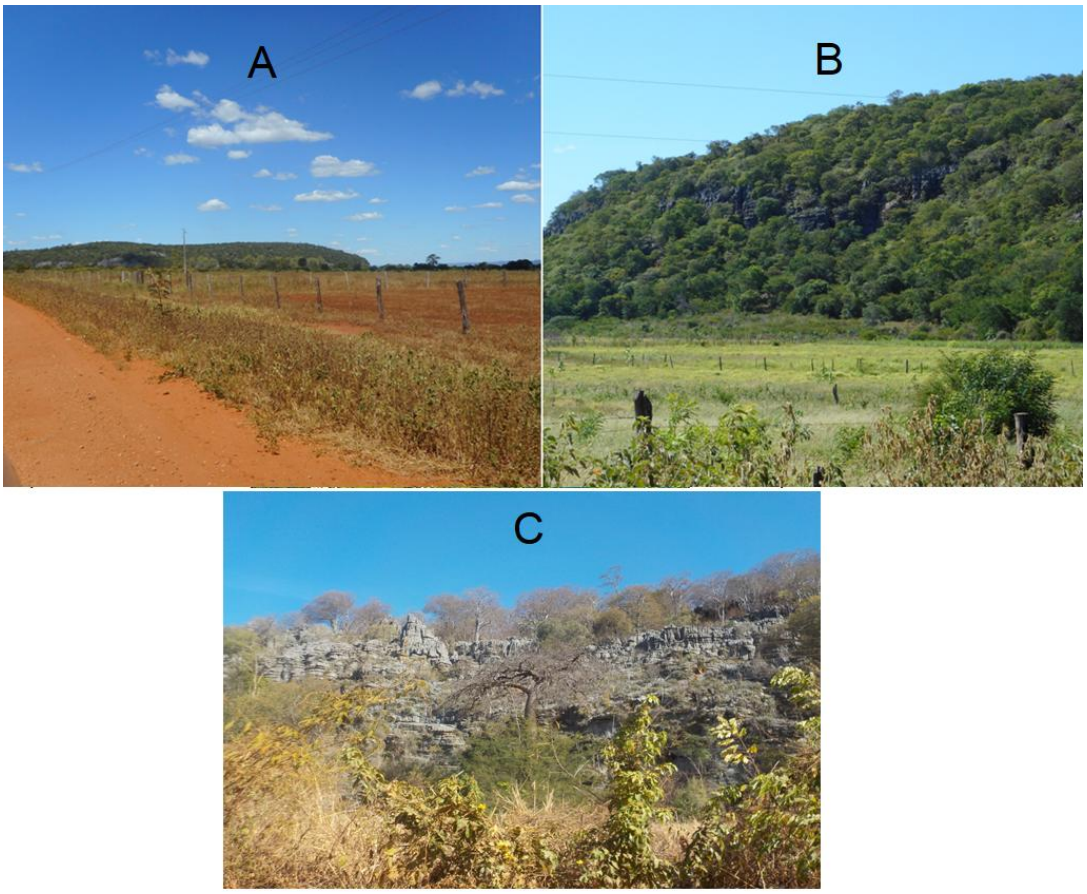


FIGURA 21: (A) Paredões de rochas carbonáticas formando “ilhas” mais elevadas em meio aos poljes; (B) detalhe do afloramento de calcário, formando colunas; (C) presença de colunas com lapiás e da espécie arbórea conhecida como “barriguda”, típica de áreas com déficit hídrico.

No restante do domínio das rochas pelíticas e carbonáticas predominam declividades entre 2 e 10^0 (planícies dos *poljes* e dos vales fluviais), embora possam ultrapassar a faixa dos 20 a 56^0, chegando, nas paredes dos afloramentos, à aproximadamente 90º (Fig. 2). É possível que tenham se desenvolvido cavernas nesses maciços com paredões, presentes nas margens dos canais dos rios Pandeiros e Pardo. Embora formem uma extensão considerável do relevo do baixo rio Pandeiros, estas feições cársticas não foram, até agora, muito estudadas.

Perfil K – L

O sexto e último perfil transversal da bacia (K-L), intercepta o relevo do baixo rio Pandeiros (Figs. 22). A porção mais elevada do perfil corresponde ao domínio das rochas carbonáticas da Fm Sete Lagoas (622 e 540 m), nas quais se desenvolveu relevo cárstico, semelhante aquele identificado no perfil anterior, no qual se

destacam tanto os poljes, como os afloramentos marcados por colunas e lapiás (Figs. 21 A, 21B e 21C).

Na margem esquerda do Pantanal, a mais elevada, parte das rochas do Grupo Bambuí já foi erodida pela dissecação do vale do rio São Francisco, fazendo com que recuassem lateralmente. As encontradas, hoje, repousam diretamente sobre os granito-gnáisses do Complexo Januária e formam a base da larga planície aluvial que margeia o canal do rio São Francisco, onde os depósitos aluvionares do Quaternário foram depositados (Fig. 1a). Na planície aluvial, com altitudes mais baixas (539 a 447 m) e declividade entre 0 e 2^0 (Fig. 2) ocorrem *levées* naturais, que são terraços mais altos, depositados nas margens externas do canal (Fig. 22), durante enchentes do rio São Francisco.

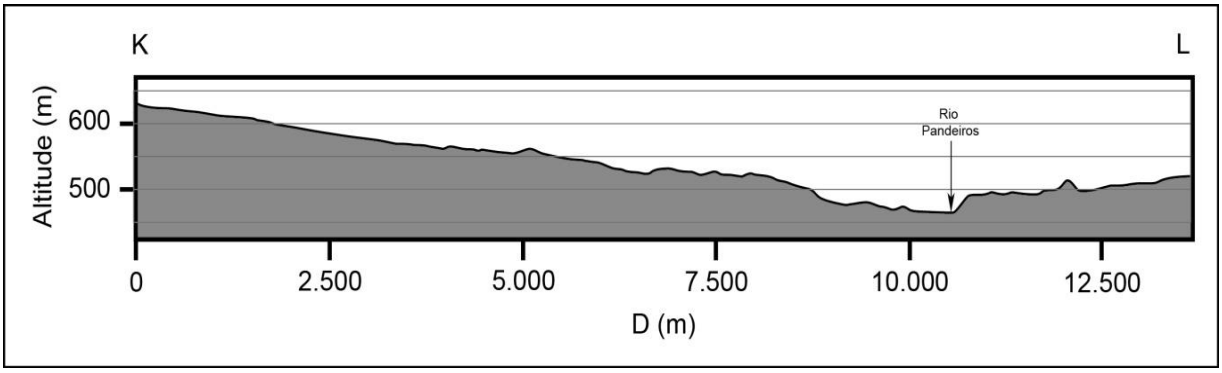


FIGURA 22: Perfil transversal (K-L) do baixo curso do rio Pandeiros, onde se destacam as porções mais elevadas do relevo sobre rochas carbonáticas e as menos elevadas, correspondentes ao domínio da planície aluvial do rio São Francisco, na qual flui inclusive o rio Pandeiros, na sua porção denominada Pantanal.

É também nesta larga planície (Figs. 3 e 22) que se encontra localizado o Pantanal do rio Pandeiros, uma área úmida (*wetland*), parcialmente sujeita, assim como toda a zona da planície aluvial, às inundações sazonais do rio São Francisco (OLIVEIRA, 2020).

O denominado Pantanal Mineiro (Figs. 22 e 23), ocupando uma área que varia de 20 a 50 Km^2 dependendo da extensão das cheias, abriga importantes ecossistemas aquáticos (BETHONICO, 2009a). Além do seu papel na sustentação desses ecossistemas, tem, como outras áreas úmidas (*wetlands*) em vários lugares do mundo, a função de conter sedimentos que, de outra maneira, seriam despejados no rio São Francisco e acabariam transportados para o mar (OLIVEIRA, 2020).

Ainda contribui para a captura de CO_2, diminuindo os efeitos do aquecimento do clima. A figura 23 mostra um trecho (A) no qual o rio Pandeiros vagueia lateralmente, formando vários níveis de ajuste, representados por um grande número de meandros abandonados que indicam o efeito das enchentes periódicas as quais a área é submetida.

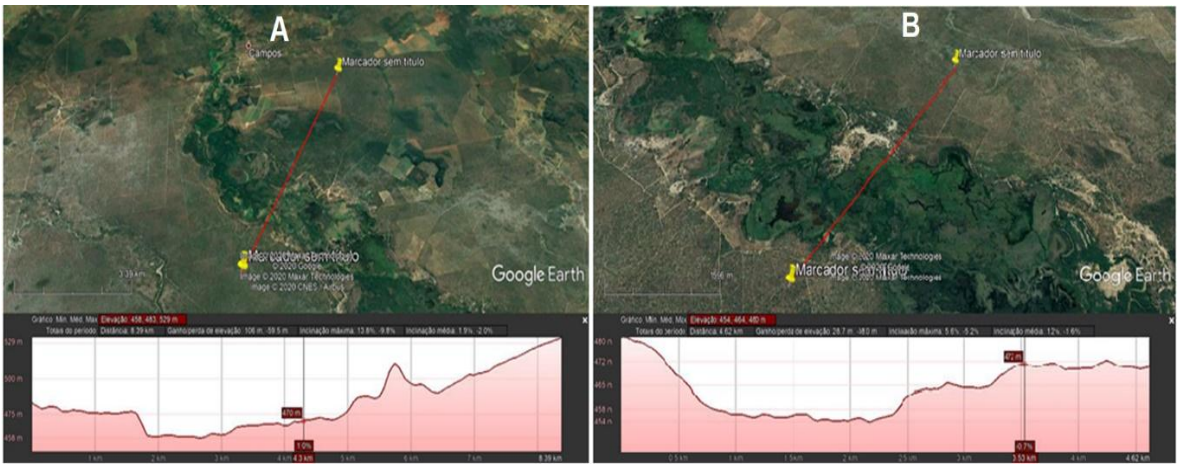


FIGURA 23: (A) Corte topográfico na porção mais larga do Pantanal, mostrando em sua margem esquerda, mais alta e onde aforam rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas, a presença de poljes e dolinas. (B) Perfil topográfico do baixo rio Pandeiros, no qual se observa o encaixamento da área do Pantanal, com paredes relativamente abruptas ao longo do canal. Fonte Imagens Google Earth (2020).

Estes meandros, quando desconectados do leito principal do rio, constituem um conjunto importante de lagoas (Fig. 24). Sazonalmente, durante o período de chuvas, elas voltam a ser preenchidas, tornando-se parte ativa do canal do rio Pandeiros e do São Francisco, sendo, novamente, abandonadas quando os rios voltam ao seu leito normal (Fig. 24). O nível do rio Pandeiros é de 459 m (espelho d'água) ao atingir o rio São Francisco, nível de base regional que, neste ponto, atinge 457 m.

É interessante registrar que, apesar de contar com uma extensão lateral maior de planície aluvial, o rio Pardo, vizinho da direita do rio Pandeiros, não tem uma *wetland*. Ainda não estão claras as razões que definiram o desenvolvimento do Pantanal no rio Pandeiros.

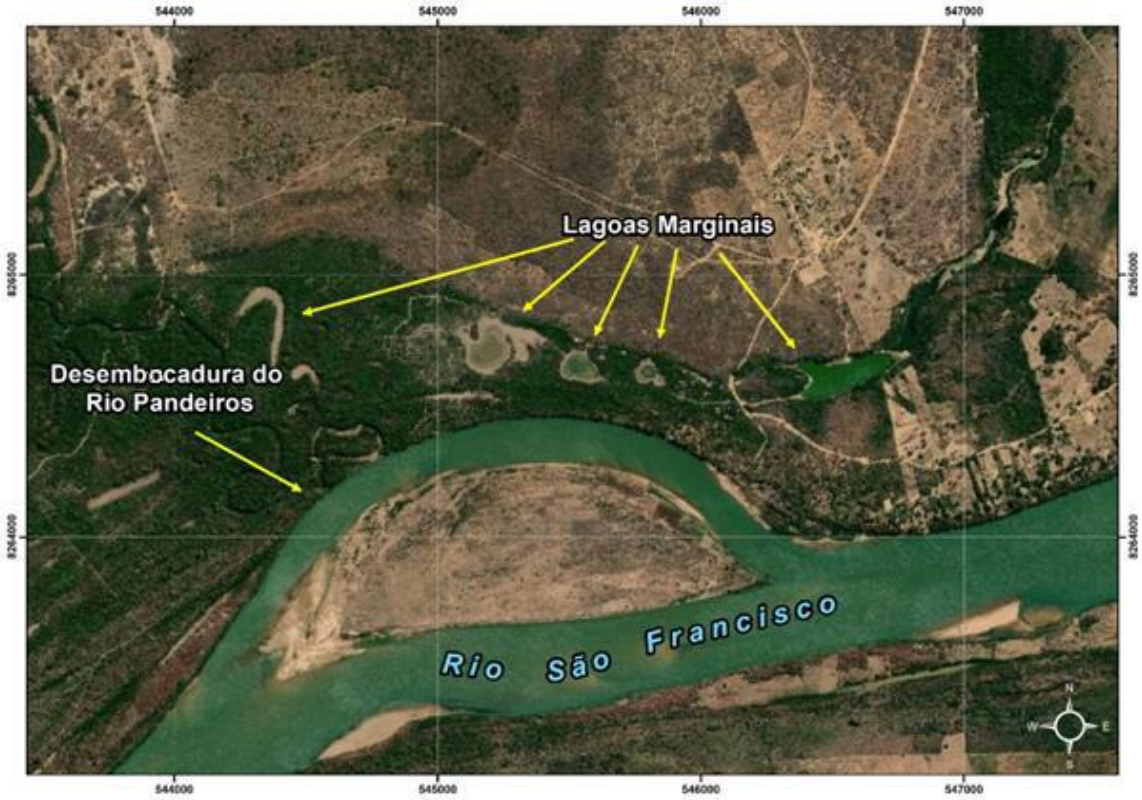


FIGURA 24: Foto da jusante do rio Pandeiros, mostrando sua desembocadura e as diversas lagoas marginais, tanto do rio Pandeiros, como do São Francisco, que são periodicamente inundadas.

Considerações finais

A análise geomorfológica da bacia do rio Pandeiros, focada nos desníveis topográficos e inclinação do relevo ao longo de perfis transversais da bacia, teve como base os mapas Hipsométrico e de Declividade. Ela mostrou que a variação das formas de relevo, que em grande parte impactam os processos da dinâmica hídrica da bacia, não se restringe aos domínios litoestatigráficos do substrato geológico, formado pelas rochas do Grupo Urucuia e Bambuí e, de maneira localizada, por rochas granito-gnássicas do Complexo Januária.

Através do Mapa Hipsométrico, foi possível identificar a disposição do relevo em torno de dois eixos principais do relevo. O primeiro é o eixo longitudinal ao longo do canal do rio Pandeiros, do topo da Chapada à sua confluência com o rio São Francisco, seu nível de base. Ele orienta o desenvolvimento da incisão do vale principal, formado pelo rio Pandeiros, o que normalmente ocorre ao longo de eixos longitudinais dos rios, e mostra o desnível do relevo no âmbito da bacia.

O segundo eixo, transversal, é representado pela abertura da bacia e realizado principalmente pelo avanço das cabeceiras dos tributários do rio Pandeiros. Este eixo evidencia as grandes diferenças altimétricas, de declividade e de padrão de formas, entre as duas margens do rio, com o predomínio de feições mais baixas e, em geral, com menos declive, na margem direita, enquanto os grandes interflúvios dos córregos São Domingos, Catolé, Borrachudo e riacho Macaúba, por exemplo, na margem esquerda, apresentam maiores altitudes e declividades mais acentuadas, em direção não só às suas próprias calhas, como também em direção àquela do rio Pandeiros.

Os seis perfis topográficos transversais à bacia do rio Pandeiros, do topo da Chapada NW até o Pantanal (A-B; C-D; E-F; G-H; I-J; K-L), possibilitaram a identificação e caracterização dos distintos domínios geomorfológicos, mostrando as variações do potencial erosivo e deposicional de cada um deles. Assim é que, nem sempre as maiores altitudes correspondem aos relevos mais declivosos e com maior energia erosiva potencial, seja ela fluvial, ou de encosta. Este é o caso, por exemplo, do Domínio Geomorfológico da Chapada das Gerais, a parte mais elevada da bacia, ainda pouco dissecada pela drenagem e com declividade que a classificam como um relevo de plano a levemente ondulado. Por outro lado, embora o interflúvio do riacho Mandim, na margem direita, não tenha altitudes muito elevadas, conta com declividades relativamente altas.

A análise também apontou que as grandes rupturas de declive, como as encontradas nos domínios das Escarpas que acompanham toda a borda esquerda da bacia do rio Pandeiros, são áreas que apresentam alto potencial de impacto negativo, o que as tornam áreas preferenciais para conservação ambiental. Devem ser protegidas porque, além de serem áreas de nascentes, são também muito propensas e suscetíveis à ação dos processos erosivos concentrados e dispersos, por causa das altas declividades, levando a uma intensa retirada de material regolítico, cujos sedimentos tendem a se depositar em áreas mais baixas e com menor declividade. Isto é especialmente crítico por causa da retirada e queima sazonal da cobertura vegetal nos anfiteatros que abrigam as nascentes.

Este trabalho mostrou que o uso conjunto dos mapas Geológico, Hipsométrico e de Declividade, com o auxílio de perfis transversais, consegue fornecer elementos

importantes para ampliar a compreensão da dinâmica geomorfológica de bacias e rede de drenagem de bacias de drenagem.

É interessante registrar que, apesar de contar com uma extensão lateral maior de planície aluvial, o rio Pardo, vizinho da direita do rio Pandeiros, não tem uma *wetland*. Ainda não estão claras as razões que propiciaram o desenvolvimento do Pantanal no rio Pandeiros.

4.1.3 A DRENAGEM DA BACIA DO RIO PANDEIROS

Bibliografia Base**:**

AUGUSTIN, C.H.R.R.; FONSECA, B.M.; OLIVEIRA, D.A.; de LIMA, A.P.; ARANHA, P.R.A.; FRANCO, G.G. Drenagem da bacia do rio Pandeiros-MG: Aspectos da Dinâmica Geomorfológica. **MG.Biota, Número Especial** (em submissão).

Introdução

O papel da drenagem é fundamental tanto em sua dimensão de rede fluvial, ou seja, relativa às características e dinâmica dos canais fluviais, como de bacia, que diz respeito à área drenada por uma rede ou sistema fluvial, elemento central da evolução do relevo e do desenvolvimento de padrões do modelado (HORTON, 1945; HOWARD, 1997; KULKARNI, 2013), que influenciam vários aspectos do uso e ocupação da terra nas áreas tropicais, subtropicais e subúmidas (AUGUSTIN et al., 2020b). A bacia de drenagem como unidade de estudo constitui, assim, um dos recortes geomorfológicos mais integradores da paisagem natural (*VERSTAPPEN, 1983; PRICE, 458)*.

Este estudo é centrado nos aspectos da drenagem fluvial da bacia do rio Pandeiros, afluente da margem esquerda do Médio rio São Francisco, MG, para o qual contribui tanto com a vazão, como com carga sedimentar. O principal objetivo é o de apresentar as principais características da drenagem fluvial da bacia do rio Pandeiros, em especial àquelas que influenciam ou são influenciadas pelo relevo, como base para o entendimento da dinâmica da área ocupada por este sistema fluvial, complementando trabalhos anteriores sobre o tema (MAIA-RODRIGUES, 2014; MARTINS et al., 2015; DIAS, 2017; OLIVEIRA, et al., 2017; OLIVEIRA, D., 2020). Portanto, são analisadas as influências da geomorfologia em aspectos específicos da drenagem, vista como um sistema interligado do

escoamento dos fluxos de água e dos seus efeitos sobre a área que drenam, ou seja, a bacia.

Contexto Regional e Local da bacia

A Área de Estudo

Localização, contexto regional e local da bacia do rio Pandeiros

A bacia do rio Pandeiros encontra-se localizada entre as coordenadas 15°29' 16"S, e 44° 21' 43"O, no norte do estado de Minas Gerais (Fig. 1). Ela constitui juntamente com a bacia hidrográfica do rio Calindó, a unidades de planejamento SF09 que, segundo Maia-Rodrigues (2012, p. 13), é uma das unidades de gestão dos recursos hídricos criadas a partir da implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos, incorporando o conceito de bacia hidrográfica, bem como suas subdivisões, como preceito para a Gestão dos Recursos Hídricos.

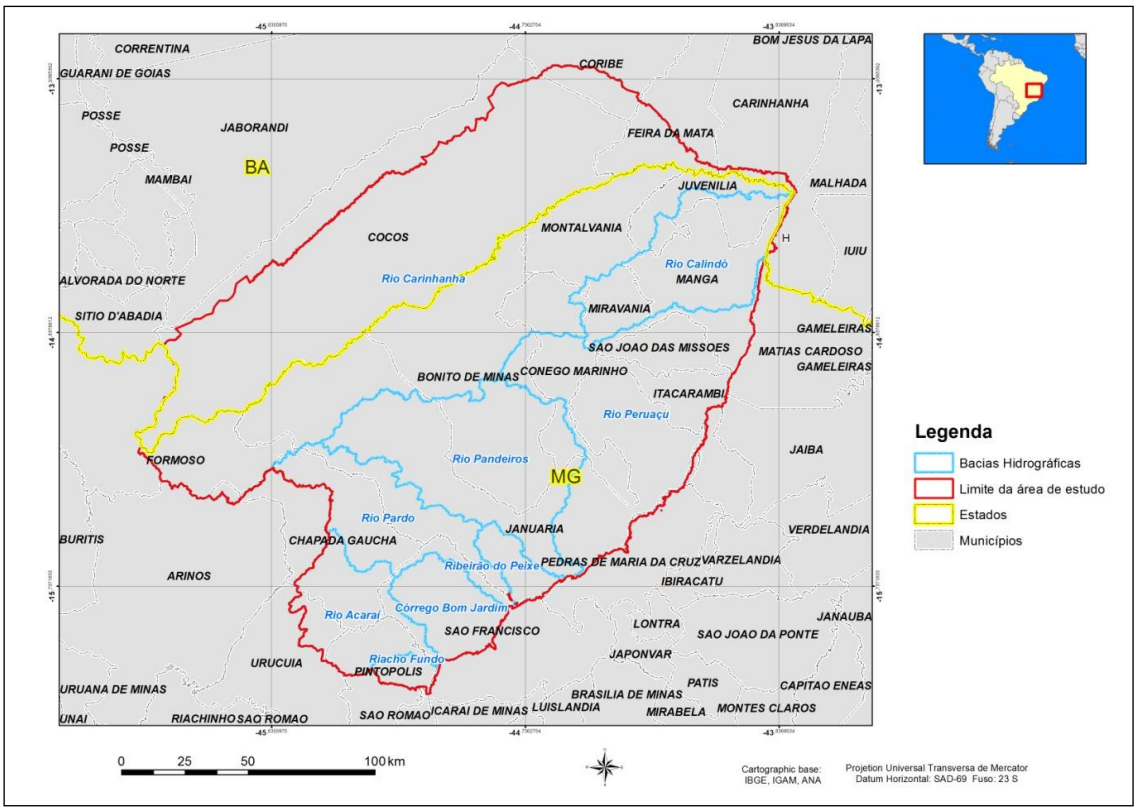


Figura 1: Localização da bacia de drenagem do rio Pandeiros e das bacias vizinhas Fonte: Maia-Rodrigues, 2014.

O rio Pandeiros faz parte da bacia do rio São Francisco (rSF), do qual é afluente direto (Fig. 2). Com 639.219 km^2 de área de drenagem (7,5% da área do país), dos quais a Bahia responde por 48,2% e Minas Gerais por 36,8% (dados do Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco – CBHSF**,** 7/06/2016), com uma extensão total de cerca de 2.700 km (Fig. 2) e uma vazão média de 2.850 m^3/s (2% do total do País), o rSF forma com seus afluentes uma das mais importantes bacias da Região Sudeste e do Brasil.

Devido à sua posição geográfica em Minas Gerais, faz limite com todas as grandes bacias hidrográficas do estado (Fig. 2). A bacia do rio Pandeiros, no contexto geográfico da bacia do rSF, encontra-se localizada na margem esquerda, no trecho denominado Médio SF.

Figura 2: Contexto regional da bacia do rio São Francisco no Estado de Minas Gerais, da qual a baia do Pandeiros faz parte Fonte: CBHSF, 2016.

No contexto local, a bacia do rio Pandeiros (Fig. 3) é limitada a noroeste pela bacia do rio Carinhanha (Fig. 3-II), a norte pela bacia do rio Cochá (Fig. 3-III), a nordeste pela do rio Peruaçu (Fig. 3-IV), e ao sul, pela bacia do rio Pardo (Fig. 3-V).

A maior bacia da região é a do rio Carinhanha, que apresenta drenagem predominantemente paralela, típica de substratos rochosos sedimentares não deformados, representados na área pelo material intemperizado e laterizado, provenientes das rochas areníticas cretáceas da Formação (Fm) Serra das Araras, do Grupo Urucuia.

Entre o baixo Pandeiros e a calha do rSF, ocorrem pequenas bacias isoladas (Fig. 3-VI), formadas por rios que fluem diretamente para este último (Figs. 1 e 3). Elas acompanham, nesta trajetória, o próprio rio Pandeiros, que também deságua neste rio (Fig. 3-VI).

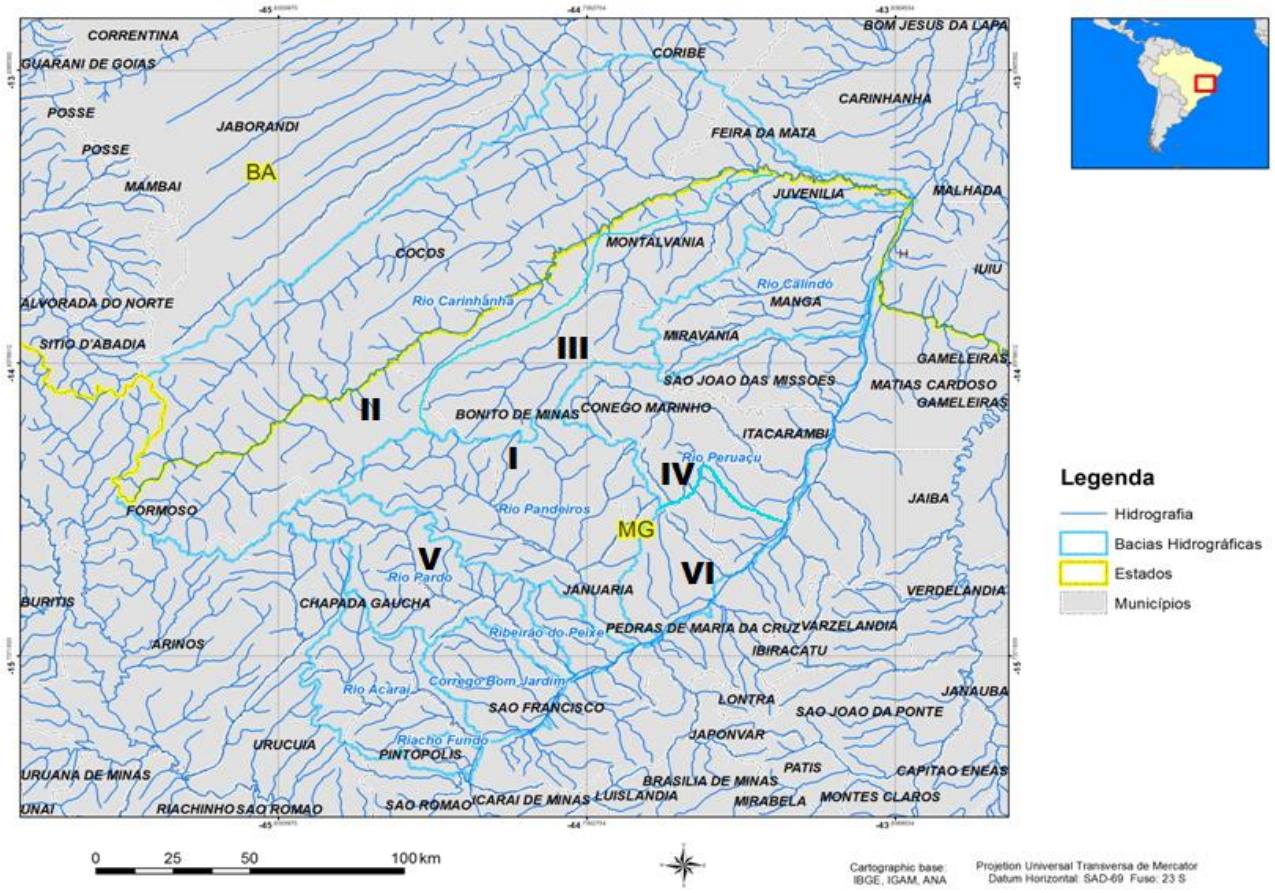


Figura 3: A bacia do rio Pandeiro e as bacias limítrofes, MG. Fonte: Maia-Rodrigues, 2012.

Grande parte destes cursos de água como é o caso dos córregos Jaboticatubas, Veredas Flores e Tamboril e dos riachos da Quinta, Pau Dálho, da Cruz, dos Cochos, do Tejuco e do Mocambo (Fig. 3-V), têm suas nascentes nos contatos entre os arenitos finos (quartzo arenitos a arenitos feldspáticos, em geral silicificados) de estratificação plana, da Formação Posse, inferior, do Grupo Urucuia, do Cretáceo, com as rochas calcárias-dolomíticas do Membro Pedro

Leopoldo, da Fm Sete Lagoas, do Grupo Bambuí (CODEMIG-UFMG, Folhas São Francisco, Catolé e Januária, 2015).

Logo após o domínio das rochas do Grupo Bambuí, estas drenagens isoladas passam a correr sobre depósitos dos sedimentos do Quaternário formados por material aluvial não consolidado, predominantemente areias e, em menor proporção, argilas e matéria orgânica, depositados sobre rochas pelíticas e carbonáticas do Grupo Bambuí (CODEMIG-UFMG, Folha São Francisco, 2015), que formam assim, sua base.

Os cursos de água isolados são intercalados por uma sequência de relevo mais plano, com altitudes entre 500 e 445 m, sendo que parte deles tem suas nascentes e mesmo afluentes nas dolinas e uvalas, feições típicas do carst. Elas são resultantes da dissolução do calcário e, durante o período chuvoso, ou imediatamente após, são preenchidas por água superficial.

Geologia

O substrato geológico da bacia do rio Pandeiros, segundo mapeamentos da CODEMIG-UFMG (2015), é formado pelas rochas do Grupo Urucuia, do Cretáceo, e por rochas Neoproterozóicas do Grupo Bambuí (Fig. 4). O Grupo Urucuia "[...] corresponde a um conjunto de rochas siliciclásticas, de idade neocretácea, formado por conglomerados, arenitos e siltitos depositados em ambientes essencialmente continentais" [...], abrangendo "[...] a mais ampla distribuição em área na porção centro-norte da Bacia Sanfranciscana" (SPIGOLON e ALVARENGA (2002, p. 599).

O Grupo Bambuí é constituído por rochas pelíticas e carbonáticas (CODEMIG/UFMG, 2015), do Proterozóico Superior. Também rochas do complexo granito-gnáissico do embasamento cristalino (Complexo Januária), formadas entre o Arqueano e Neoproterozóico aparecem expostas em fundos de vale de tributários do rio Pandeiros, em especial ao longo do médio curso do ribeirão Catolé e do riacho Borrachudo, afluentes da margem esquerda do rio Pandeiros.

A distribuição das rochas areníticas com estratificação horizontalizada do Grupo Urucuia não é homogênea na bacia (Fig. 4). Nas porções mais elevadas do relevo são encontradas rochas da Formação (Fm) Serra das Araras que, segundo

Augustin et al. (2020a, 2020b), ainda não foram totalmente erodidas pela incisão do sistema de drenagem do rio Pandeiros, incluindo a erosão das encostas. Estratigráfica e topograficamente abaixo desta Formação, está a Formação (Fm) Posse (CODEMIG-UFMG, 2015), também formada por arenitos, de coloração clara, mas que pode tornar-se mais escura em áreas com muita decomposição de matéria orgânica.

As rochas do Grupo Bambuí estão presentes na porção baixa da bacia, compostas de sedimentos pelíticos e carbonatados, com baixo grau de metamorfismo (Fig. 4). Formam estruturas que variam de depressões, como as dolinas e uvalas, às planícies próximas aos afloramentos rochosos, denominadas de poljes, todas resultantes da dissolução do calcário e magnésio presentes nestas rochas.

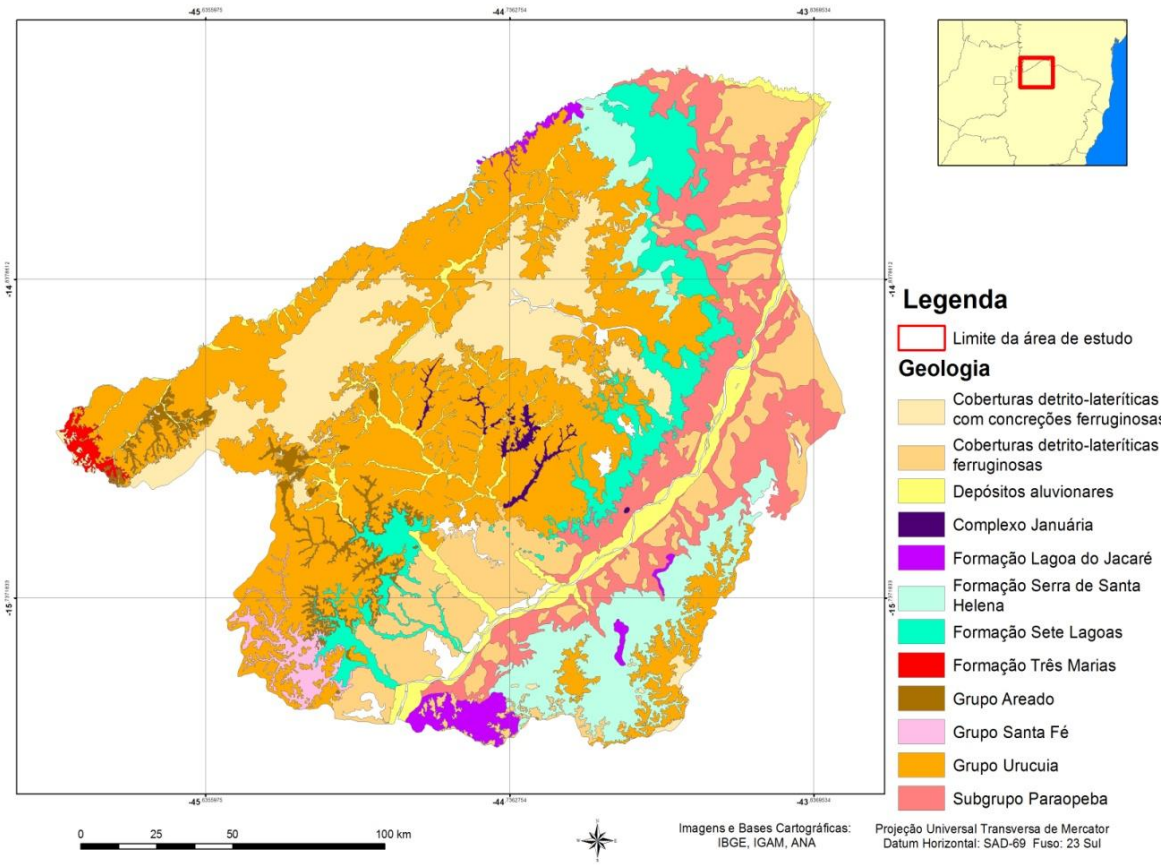


Figura 4: Geologia da bacia do rio Pandeiros e das bacias vizinhas. Fonte: Maia-Rodrigues, 2014.

A incisão dos canais de alguns tributários da margem esquerda do rio Pandeiros, como o córrego Catolé e o riacho Borrachudo, situados na área do “alto estrutural de Januária” onde a espessura das camadas de rochas sedimentares do Grupo

Urucuia é mais delgada, favoreceu sua erosão, expondo as rochas do complexo granito-gnáissico (AUGUSTIN et al., 2020a).

Nas planícies aluviais do rio Pandeiros, dos seus tributários e no Pantanal, são encontrados sedimentos aluviais, do Quaternário, compostos predominantemente de areias quartzosas, argila e resíduos orgânicos decompostos. A presença desses sedimentos, no entanto, é mais representativa ao longo do canal do rio São Francisco, onde se estende lateralmente por quilômetros.

Geomorfologia

De acordo com Oliveira et al. (2017) e Augustin et al. (2020), a bacia conta com 6 unidades geomorfológicas distintas, produto da evolução e integração entre os elementos de fatores geológicos, clima e do próprio relevo ao longo de milhões de anos, desde que o rio Pandeiros foi capturado pelo rio São Francisco.

Essas unidades, ou Domínios, são: **I** - Chapada das Gerais, de relevo plano a levemente ondulado, correspondendo às áreas mais elevadas e que semicircunda a bacia ao longo dos seus limites noroeste, norte e nordeste; **II** - Escarpas NW, N, NE, representando uma grande ruptura de declive que semicircunda a bacia com declividades acima de 56° na Escarpa NW, onde também ocorrem as maiores rupturas da bacia (na região da nas nascentes do rio Pandeiros), atingindo mais de 100 m; **III** - Vertentes Longas, encontradas na margem esquerda do rio, que abrigam interflúvios longos, com declividades mais acentuadas, e um maior número de rios mais extensos do que os da margem direita; **IV** - Vertentes Curtas, localizadas na margem direita, com interflúvios mais curtos, declividades menos acentuadas e rios em geral menos extensos; **V** – Carste, no qual predominam feições de dissolução das rochas carbonáticas do Grupo Bambuí, destacando-se os poljes, dolinas, uvalas, cavernas e nos afloramentos, colunas e lapiás; **VI** - Pantanal do rio Pandeiros, uma *wetland*, localizada em uma depressão localizada no baixo curso do Pandeiros, sujeita à enchentes periódicas, embora conte com uma zona permanentemente úmida. Todas essas unidades contam com características ambientais próprias, incluindo maior ou menos susceptibilidade à erosão e à deposição de sedimentos (Fig. 4).

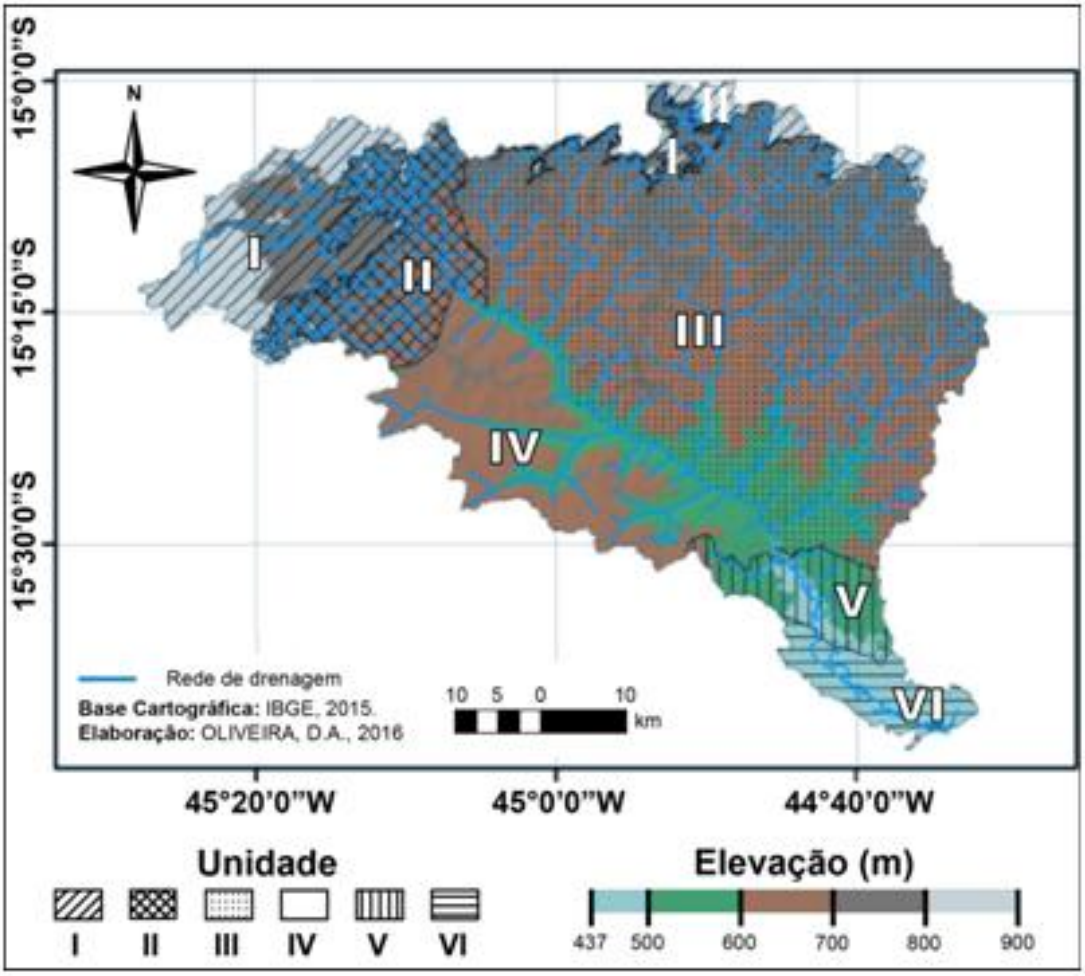


Fig. 4: Mapeamento dos seis Domínios Geomorfológicos, que correspondem às Unidades do relevo da bacia do rio Pandeiros.

Como estas unidades apresentam características próprias de declividade, altitude, densidade de drenagem e extensão dos cursos de água, contam com variações de tipos de solos e cobertura vegetal, bem como de potencial erosivo.

Apresentação e Discussão dos Resultados

Organização da Bacia de Drenagem do Rio Pandeiros

As nascentes do rio Pandeiros

Embora no mapa topográfico do IBGE (Folha São Joaquim, esc: 1: 100.000, 1972) e nos elaborados pela CODEMIG-UFMG (2015), o rio Pandeiros receba a denominação de ribeirão ao longo de todo o seu percurso, ele é regionalmente conhecido como rio. Do ponto de vista geomorfológico (fluvial), ele constitui um rio, uma vez que apresenta uma extensa rede de tributários, com vazão durante todo o ano, fluindo de uma área mais alta para uma mais baixa apenas devido à

ação da gravidade e desaguando no rio São Francisco, seu nível de base (Figs. 4 e 6).

O rio Pandeiros tem seu início no domínio das rochas areníticas da Formação Serra das Araras (AUGUSTIN et al., 2020a), do Grupo Urucuia, do Cretáceo, na Escarpa NW (Fig. 5a, n° 1 a). O ribeirão Pandeiros (Fig. 5a, n° 1) nasce à aproximadamente 820 m de altitude, tem direção predominante NW-SE e é constituído por quatro sub-bacias bastante dinâmicas, cuja erosão à remontante avança em direção à Chapada das Gerais. A Escarpa é formada por um grande desnível topográfico nos contatos entre as rochas da Fm Serra das Araras e Fm Posse (OLIVEIRA et al. 2017; AUGUSTIN, et al. 2020a, 2020b). Tanto nos mapas topográfico do IBGE (1972), como nos geológicos da CODEMIG-UFMG (2015), o ribeirão Pandeiros é identificado como córrego Vitória, denominação esta desconhecida da população local.

Após receber as águas do córrego Genipapo (Fig. 5a, n° 3), o ribeirão Pandeiros captura o córrego Suçuarana (Fig. 5a, n° 2) que perde, dessa maneira, a condição de nascente principal, como identificada por Bethonico (2009). Após esta captura, passa, então, a ser denominado rio Pandeiros e na medida em que corre para SE, recebe as águas de vários afluentes (Fig. 6), sendo alguns deles, em especial na alta porção da bacia, veredas.

Entre os córregos das nascentes do rio Pandeiros, o Suçuarana é o mais longo (Fig. 5a, n° 2). Tem suas nascentes na Chapada das Gerais a partir do encontro de três drenagens principais: uma (Fig. 5a, n° 2), a aproximadamente 786 m inicialmente com direção NW-SE e depois N-S (Fig. 5a, n° 2); a segunda, a 773 m, com direção SW-NE (Fig. 5a, n° 3) e a terceira, à aproximadamente 755 m, com direção predominante N-S (Figura 5b, n° 4).

Os afluentes do Suçuarana têm canais pouco encaixados no topo da Chapada (Fig. 5b). Depois que estes se encontram, tomam direção SW-NE formando o córrego Suçuarana, cujo vale vai se tornando mais profundo à medida que desce a Escarpa NW (Augustin, et al. 2020b), como pode ser observado nas figuras 5a e 5b.

Figura 5a: Cabeceira do ribeirão Pandeiros (1a), que após a confluência do córrego Suçuarana (2 e seus principais afluentes: a, b, c, d) e o do córrego Genipapo (3) passa a ser denominado de rio Pandeiros. À esquerda do, ainda, ribeirão Pandeiros, está localizada a bacia do córrego Lajeado (4). Fonte: Imagens Google, 2020. Coordenadas: 15º05’52”S e 45º14’49.13”O.

Nesta última, é possível identificar a existência de lagoas e de canais rasos, semelhantes aos de veredas, que parecem ter contribuído, no passado, para o canal principal do córrego Suçuarana, como é o caso daqueles representados nesta figura pelas letras a, b e c. É possível que continuem a fazê-lo em períodos de chuvas excepcionais.

No entanto, tanto as lagoas como os canais, encontram-se semidestruídos, possivelmente em decorrência do uso da terra para pastagem bovina a montante, o que afetou e afeta a flutuação do freático, dificultando sua exsudação nas depressões (Fig. 5b).

Outro aspecto interessante da drenagem do córrego Suçuarana é que o afluente 2 do Suçuarana (Fig. 5b) capturou o canal “c”, dando origem ao subafluente 2**’,** também em decorrência do impacto das atividades antrópicas na dinâmica hidrogeomorfológica da bacia.

Figura 5b: Detalhes da drenagem do córrego Suçuarana, mostrando sua rede de afluentes, alguns dos quais já estão secos, incluindo a lagoa que se conectava a montante com a vereda identificada como “c”, o mesmo aconteceu com a antiga vereda “a”. Fonte: Imagens Google Earth, 15/05/2020. Coordenadas: 15º08’51.10”S e 45º15’41.86”O.

A bacia do córrego Genipapo mostra sinais de intensa dissecação realizada por seus três principais afluentes (Fig. 5b, n° 3). A erosão lateral em sua margem direita é tão intensa que vem consumindo o pequeno interflúvio que separa sua bacia daquela do ribeirão Pandeiros. Como o ribeirão Pandeiros, ele tem suas nascentes na borda da Chapada, a uma altitude máxima de 820 m, com direção aproximada N-S, antes de encontrar o ribeirão Pandeiros, quando é capturado por este último.

A bacia do rio Pandeiros e seus tributários

Uma bacia de drenagem é formada quando um rio se estabelece em um canal principal, cuja profundidade cria um desnível gerando uma base para qual convergem, pelo efeito da gravidade, outros cursos de água e o *runoff* proveniente das vertentes (BABAR, 2005; GOUDIE, 2006), abrindo um vale, como é o caso do rio Pandeiros.

A abertura do vale do rio Pandeiros e dos seus tributários, como acontece com os vales de um modo geral, foi o resultado da ação de vários processos, entre os quais os de abrasão, cavitação, corrosão e intemperismo, ao longo dos eixos da

drenagem a remontante. O aprofundamento dos canais é, portanto, decorrente da erosão basal dos cursos de água, enquanto o alargamento advém basicamente da erosão lateral em ação conjunta com processos de encostas facilitados pelo intemperismo do substrato que altera a coesão da rocha, facilitando a sua remoção.

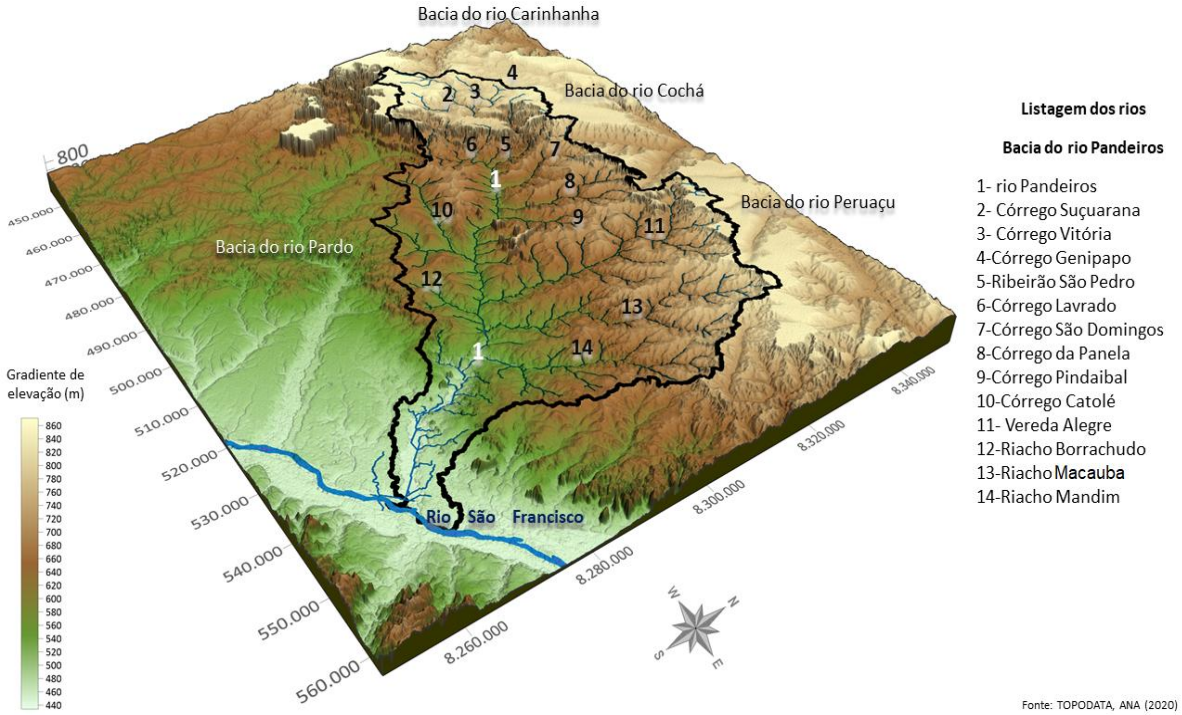


Figura 6: Bacia hidrográfica do rio Pandeiros, com seus principais afluentes, das nascentes até a foz em sua confluência com o leito do rio São Francisco.

A bacia do rio Pandeiros é formada pela área drenada por ele e seus tributários (Fig. 6), entre os quais os de maior destaque são: na margem direita, o ribeirão São Pedro, os córregos Pindaibal, Vereda Alegre e Mandim; na margem direita com canais mais longos e drenagem mais densa, os córregos: Lavrado, São Domingos, da Panela, Catolé, Borrachudo a vereda Mescla e o riacho Macaúba.

Todos esses cursos de água têm o rio Pandeiros como nível de base (*base level* ou *stream gradient*), ou seja, seu leito forma o nível mais abaixo de erosão da bacia, influenciando a percolação de água dos tributários e do escoamento das vertentes, assim como o rio São Francisco constitui o nível de base do rio Pandeiros, no qual deságua nas proximidades da Fazenda Remanso.

No trecho do baixo Pandeiros, no qual este flui sobre a planície aluvial do rio São Francisco, os afluentes com canais de superfície praticamente desaparecem após

a confluência do córrego Mandim (Fig. 6). Isto acontece em razão da presença do substrato formado por rochas carbonáticas, que favorece a drenagem subterrânea, típica do relevo cárstico, como apontado por AUGUSTIN et al. (2020a; 2020b).

Evolução da Bacia

Influência dos Lineamentos

Redes de drenagem tendem a se estruturar seguindo descontinuidades litoestruturais das rochas. Uma destas descontinuidades são os chamados lineamentos, definidos como feições lineares superficiais associadas às estruturas do substrato rochoso, tais como falhas e fraturas, decorrentes de atividades tectônicas. Segundo o *Oxford Dictionary of Earth Sciences* (2008), os lineamentos também podem ser provenientes do transporte e deposição de areia por fluxo superior em regime de camadas de sedimentos de leito (*plan-bed*), ou por movimentos de gelo glacial sobre a superfície da rocha. Independentemente da sua natureza, os lineamentos exercem controle direto na direção do escoamento superficial e subsuperficial da água, condicionando tanto a evolução da rede de drenagem, quanto do próprio processo evolutivo do relevo.

Dunne (1980, p. 2011) destaca “que bacias se originam e expandem de diferentes maneiras de acordo com a história da superfície do terreno onde se desenvolvem”. A evolução da bacia do rio Pandeiros reflete esta afirmativa. O desenvolvimento e a estruturação da bacia do rio Pandeiros se deram ao longo do tempo geológico de milhões de anos e teve início com a captura de um curso de água (proto rio Pandeiros) pelo rio São Francisco (AUGUSTIN et al., 2020a). A presença de uma falha normal extensional no início do baixo Pandeiros (Fig. 7), ainda hoje ocupada parcialmente pelo canal, sugere que este tenha aí se alojado. Segundo Augustin et al. (2020a, 2020b), esta falha que corta também as rochas do Grupo Bambuí (CODEMIG-UFMG, Folha São Francisco), direcionou o avanço do eixo longitudinal do rio Pandeiros, fazendo-o recuar a montante na direção SE-NW (Figs. 5, 6 e 7). Atualmente, este eixo atinge um comprimento aproximado de 106 km, da porção mais elevada no limite da Chapada das Gerais, até a confluência do Pandeiros com o rio São Francisco, seu nível de base (Figs. 5, 6 e 7).

Na medida em que erodia, o rio Pandeiros fazia recuar o interflúvio representado pela Chapada das Gerais, removendo as rochas intemperizadas do Grupo Urucuia e Bambuí e capturando as drenagens com direção NE-SW/SW-NE, de um lado e outro do canal (Figs. 6 e 7). Os recuos de interflúvios onde se encontram as cabeceiras e a captura das drenagens, como apontado entre outros por Mudd e Furbish (2005), são decorrentes da alteração do nível de base do canal principal e das condições tectônicas, climáticas e litológicas que podem variar ao longo do tempo de abertura da bacia, afetando o próprio nível de base (LARUE, 2011).

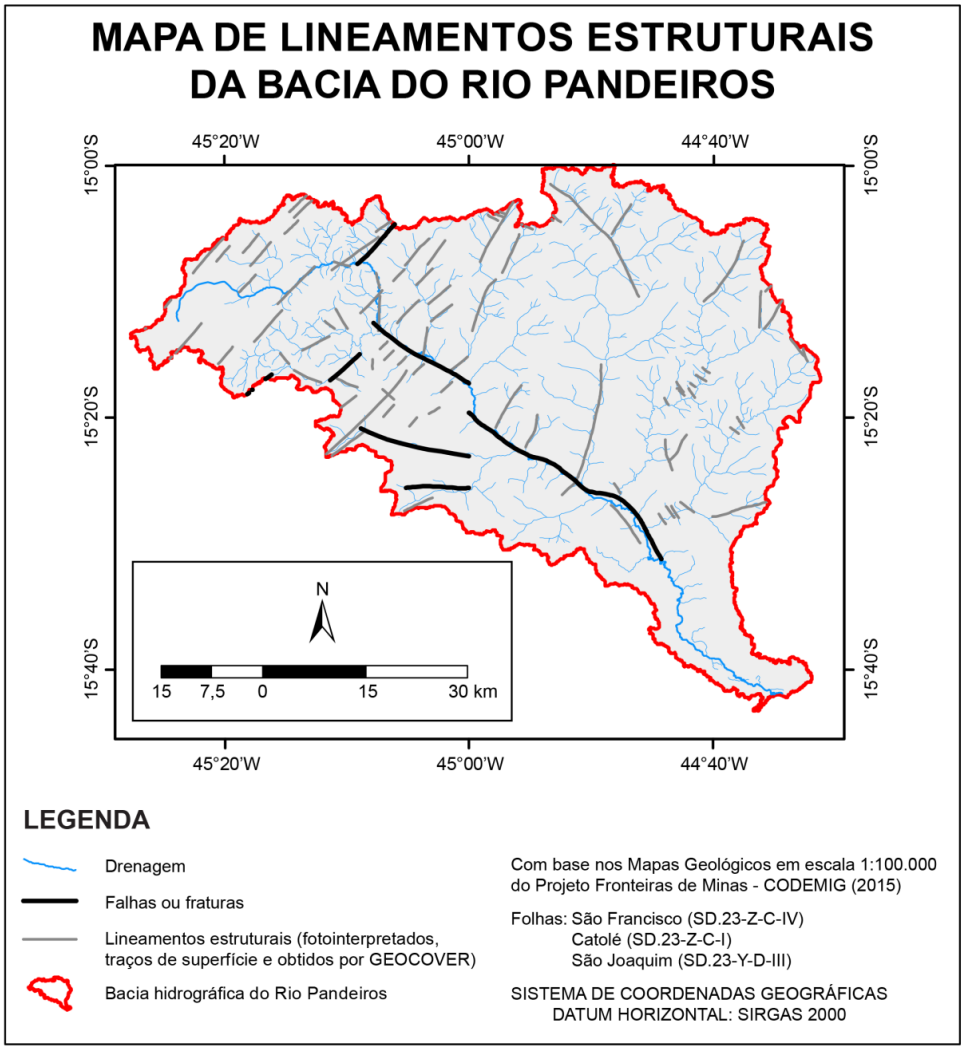


Figura 7: Mapa dos lineamentos identificados na bacia do rio Pandeiros a partir dos mapas geológicos das Folhas São Francisco, Catolé e São Joaquim (CODEMIG-UFMG, esc: 1: 100.000, 2015).

A partir de mecanismos semelhantes aos apontados por Dunne (1980), o Pandeiros estruturou seu sistema de drenagem criando uma bacia, ou seja, uma

área drenada pelo sistema de canais fluviais a ele interligados (Figs. 5, 6 e 7). A presença de feições pretéritas da tectônica na bacia, como os lineamentos (Fig. 7), revelam sua grande influência na dinâmica do recuo da Chapada das Gerais. Os relevos testemunhos (ex. Conjunto da Serra da Mescla) encontrados em áreas distantes dos grandes interflúvios atuais formados no domínio das Escarpas indicam que houve migração, ao longo do tempo, dos interflúvios/cabeceiras de uma posição mais próxima ao baixo curso do rio Pandeiros para a localização atual, nos domínios das Escarpas.

Isto significa que além da migração do perfil longitudinal do rio Pandeiros, que ocorreu do rio São Francisco em direção NW fazendo com que a Escarpa noroeste e, consequentemente, a Chapada das Gerais, migrasse nesta direção, também ocorreu lateralmente, com a captura das drenagens de um lado e outro do canal do rio Pandeiros. Esse recuo das porções mais elevadas do relevo resultou na remoção lateral das rochas do Grupo Urucuia e do Grupo Bambuí (AUGUSTIN et al. 2020a, 2020b), fazendo com que a largura da bacia atinja atualmente até 65 km.

A influência dos lineamentos pode ser observada atuando até hoje no desenvolvimento do sistema e da bacia de drenagem. Na figura 8a pode ser identificada a direção preferencial SW-NE da drenagem do alto da Chapada das Gerais com padrão paralelo (marcadas pela letra “A”), típico das áreas com substrato de rochas sedimentares com camadas horizontalizadas da Fm Serra das Araras, em contraste com aquelas de direção NW-SE (marcada pela letra “B”) dos rios Pandeiros e Pardo, que é a preferencial de rios que cortam rochas da Fm Posse (Cretáceo) e as do Grupo Bambuí (Proterozóico Superior).

O mesmo pode ser observado na figura 8b, sendo possível identificar os lineamentos nas zonas de recarga das cabeceiras do rio Pandeiros, mostrando que as cabeceiras, que são mais recentes, vão sendo capturadas e, mesmo aquelas drenagens com padrão paralelo, vão sendo levadas a se articular à drenagem do Pandeiros, com direção NW-SE (Fig. 8b). As capturas mais recentes são evidenciadas na figura, pela direção SW-NE do córrego Suçuarana (Fig.8b, n° 2) e NE-SW do córrego Genipapo (Fig. 8b, n° 3).

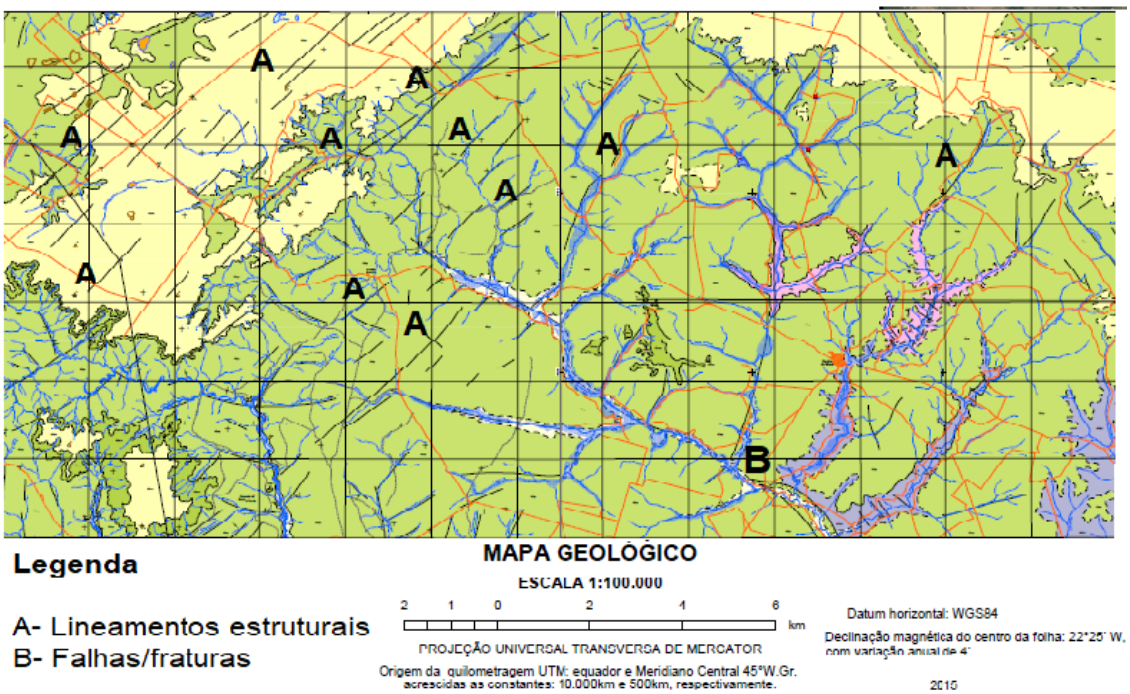


Figura 8a: Principais lineamentos da bacia do rio Pandeiros, com o predomínio daqueles com direção SW-NE / NE-SW (**A**), em especial em áreas de domínio das rochas sedimentares areníticas da Formação Serra das Araras; a outra direção é a NW-SE (**B**), da drenagem do rio Pandeiros em todo o seu percurso. Fonte: Mapas geológicos da CODEMIG-UGMG, 2015, esc:1:100.000.

Cacama, et al. (2015, p. 68) identificam a direção NE-SW/SW-NE como correspondente ao Lineamento Transbrasiliano (LTB), que corresponde a uma descontinuidade da litosfera "[...] de direção NE-SW com mais de 2.700 km de extensão, interceptando os terrenos afetados pelo Ciclo Brasiliano localizados entre o Cráton Amazônico e o Cráton São Francisco (porção oeste do Escudo Atlântico). Ele afeta não somente a bacia do rio Pandeiros, como também grande parte do território brasileiro, influenciando a estrutura das drenagens. Segundo estes autores, a direção NE-SW observada nas figuras 8a e 8b, corresponde a uma feição herdada de atividades tectônicas que ocorreram entre 600 e 550 Ma, mas que foram reativadas, formando lineamentos com outras direções.

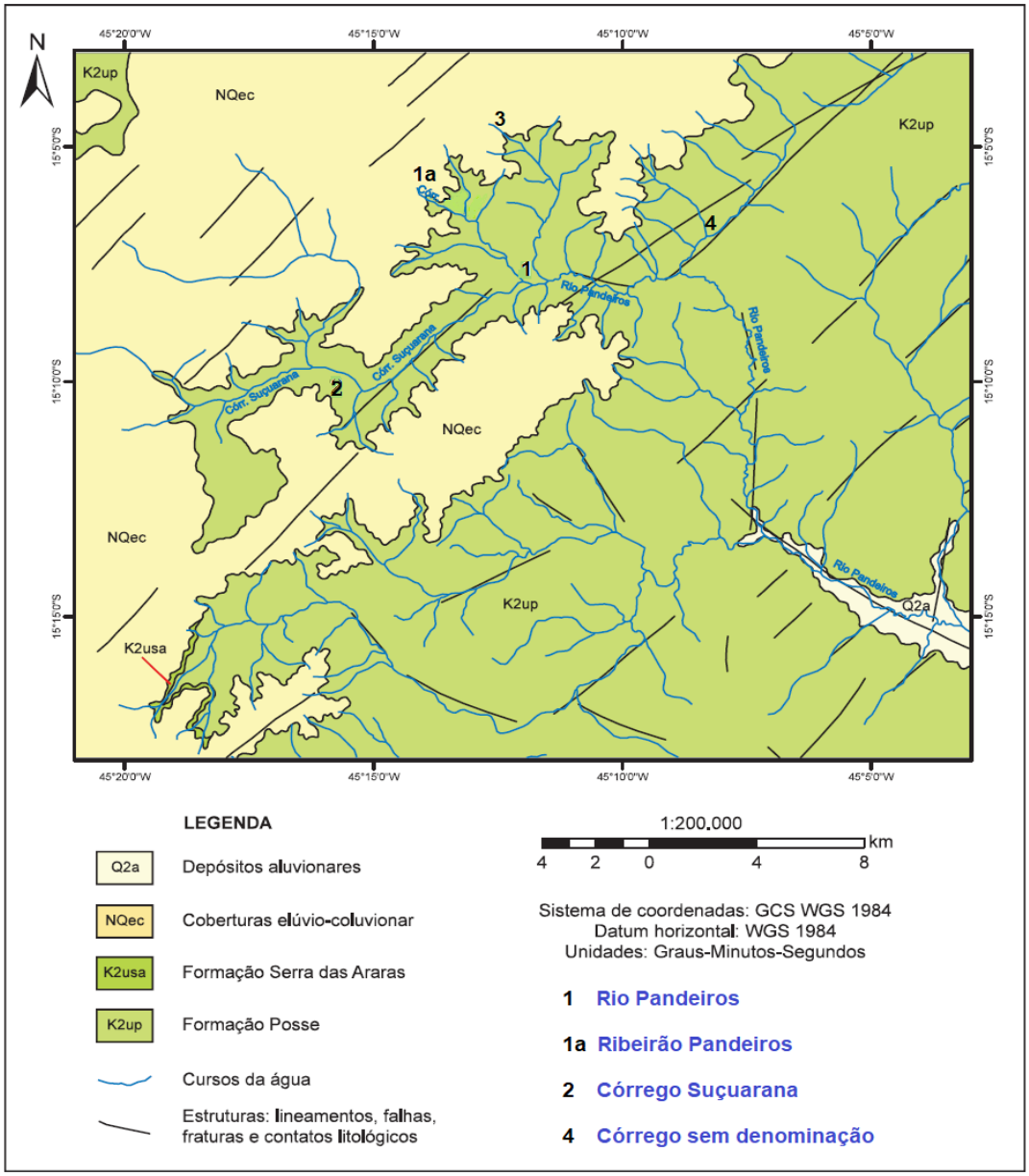


Figura 8b: Lineamentos presentes e atuantes nas zonas de recarga e cabeceiras do rio Pandeiros (8a), e em seus afluentes iniciais: córregos Suçuarana (2), Genipapo (3), recebendo ainda a contribuição de um quarto córrego (4), sem denominação e que faz divisa com a vereda da Ema da bacia do rio Cochá. Aqueles com direção SW-NE/NE-SW, representam a direção predominante, correspondente à LTB, em sua fase mais antiga. Já a direção NW-SE/SE-NW, seria decorrente de fase de reativação mais recente mesocenozóica. Fonte: CODEMIG-UFMG, Mapeamentos geológicos, 2015, esc: 1: 100.000.

Para Augustin, et al. (2020a), outro fator envolvido na estruturação da rede de drenagem do rio Pandeiros é a topografia pretérita, que parece ter induzido a articulação dos canais ao longo de um eixo principal de fluxo. No caso da abertura da bacia do rio Pandeiros, isto se deu pela presença do alto estrutural de Januária, área com topografia elevada anterior à deposição das rochas do Grupo

Bambuí, no Proterozóico, e que se encontra localizada à esquerda do canal do rio Pandeiros, e que, possivelmente, também influenciou o seu encaixamento na falha extensional.

Estruturação da Rede de Drenagem da Bacia do Rio Pandeiros

A assimetria da bacia do rio Pandeiros

A assimetria de uma bacia pode ser definida como a presença de vertentes mais longas e íngremes de um lado do que do outro do rio principal (HOPKINS e TABER, 1962; KNIGHTON, 1981).

Para Hare e Garner (1985), os basculamentos são causados por atividade tectônica. Na metodologia proposta por estes autores, valores do Fator de Assimetria (FA) abaixo de 50 indicam a ocorrência de basculamento da margem esquerda do rio; valores iguais ou próximos a 50 correspondem à de baixa ou nenhuma atividade tectônica enquanto acima de 50 seriam decorrentes de basculamento da margem direita.

O mapa da figura 9 da bacia do rio Pandeiros mostra que os dois lados do rio apresentam diferenças de extensão de área e de declividade de um lado e outro do eixo do rio. Para verificar a ocorrência de assimetria, foi calculado o índice do FA (ver Métodos e Técnicas), que é de 31,19, ou seja, valor abaixo de 50, o que segundo Hare e Gardner (1985), indicaria a existência de basculamento da margem esquerda do Pandeiros proveniente de causa tectônica.

No entanto, a ausência de inclinação ou de deslocamento vertical ou horizontal das camadas das rochas sedimentares areníticas do Grupo Urucuia, em qualquer um dos lados da bacia, sugere que outros fatores encontram-se envolvidos na assimetria identificada na bacia (Figs. 4 e 9). Como já apresentado neste artigo a ocorrência de um alto estrutural com localização próxima aos limites norte e nordeste da bacia do Pandeiros com suas bacias limítrofes, não só impediu a deposição das rochas Proterozóicas do Bambuí e limitou o espessamento das rochas do Grupo Urucuia, como parece ter atuado no encaixamento do eixo longitudinal do rio Pandeiros (Figs. 7 e 9).

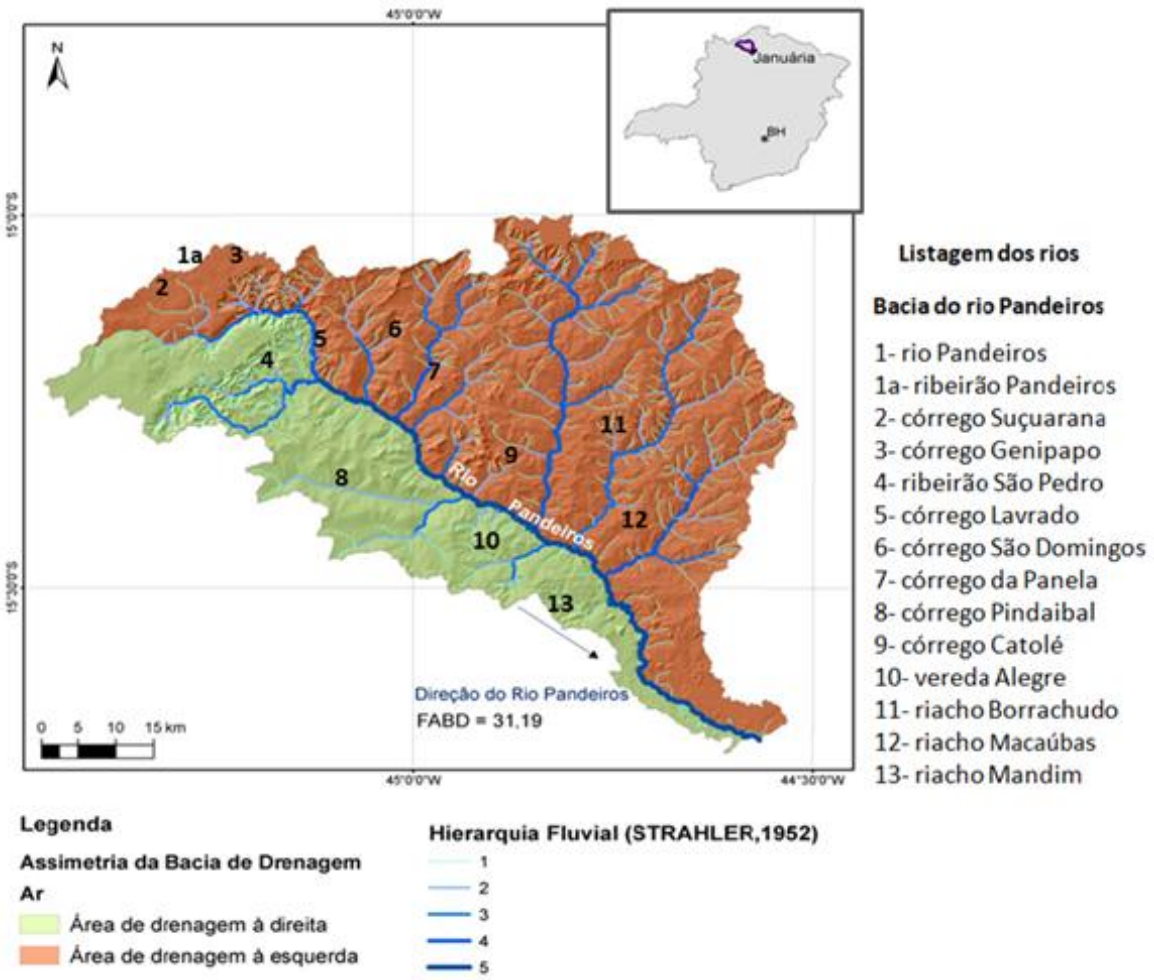


Figura 9: Mapa de Assimetria da bacia de drenagem do rio Pandeiros: lado esquerdo com maior área do que do lado direito. Fator de assimetria de 31,19, segundo Hare e Gardner (1985) indica basculamento do lado esquerdo. No entanto, ausência de deslocamento/inclinação das camadas das rochas do Grupo Urucuia, aponta para a influência de outros fatores. Mapa também mostra a hierarquização da drenagem até a 5ª Ordem.

Ou seja, durante o processo de recuo das Escarpas seguindo a falha extensional SE-NW do baixo Pandeiros (CODEMIG-UFMG, 2015), discrepâncias topográficas entre as duas margens do rio Pandeiros, já existentes à época em função da presença do alto estrutural de Januária na margem esquerda, teriam se acentuado, gerando maior intensidade erosiva do que na margem direita, como já observado em outros lugares (BAIONI, 2007, p. 574).

Análise do Diagrama de Rosetas

As influências estruturais do substrato rochoso na drenagem de uma área, ou bacia, podem ser identificadas por mapeamentos e pela aplicação da técnica de diagrama de rosetas. Os diagramas abaixo mostram as principais direções dos

lineamentos da bacia, permitindo analisar a influência destes na estruturação da drenagem.

O diagrama da figura 10 mostra a frequência absoluta dos canais de drenagem da bacia do rio Pandeiros, indicando a distribuição em diferentes direções, com destaque para duas delas: NE-SW/SW-NE e NW-SE/SE-NW, que correspondem, como discutido anteriormente, às direções dos principais lineamentos presentes no substrato rochoso do País.

A primeira (NE-SW / SW-NE), de acordo com Beñák e Silva (2018, p. 5), é a mais comumente encontrada no sudeste brasileiro correspondendo as "[...] estruturas antigas de idade pré-cambriana e que influenciaram consideravelmente a estruturação do relevo da região SE do Brasil" e a segunda (NW-SE / SE-NW), "[...] a estruturas mais jovens, de idade mesocenozóicas [...]".

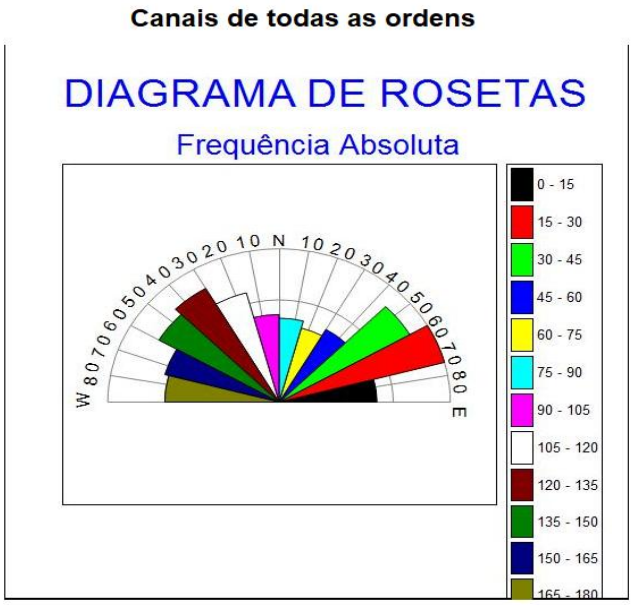


Figura 10: Diagrama de rosetas com a plotagem da frequência absoluta de todas as drenagens da bacia do rio Pandeiros, mostrando uma ampla distribuição de direções, com destaque para duas delas: NW-SE e NE-SW.

Os diagramas de roseta da figura 11 mostram que o número de tributários do rio Pandeiros tende a diminuir com o aumento da ordem dos canais (Figs. 6 e 9), o que é normal, uma vez que os canais de primeira ordem correspondem aqueles das nascentes, ou seja, são canais que não têm tributários (STRALHER, 1964; DIETRICH et al., 1987).

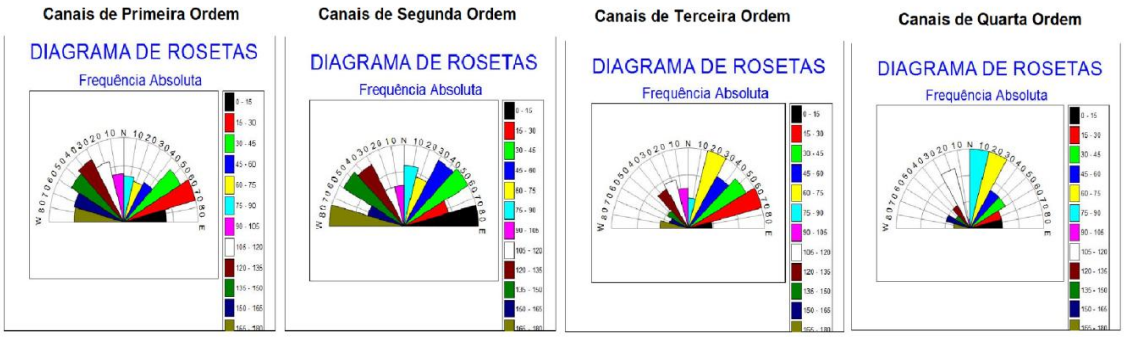


Figura 11: O conjunto dos diagramas de roseta das drenagens de primeira, segunda, terceira e quarta ordens permite observar as variações das frequências e comprimentos dos canais da bacia do rio Pandeiros.

Isto faz com que estes canais tenham uma distribuição maior com relação às diferentes direções, o mesmo se verificando nos canais de segunda ordem, que são aqueles que recebem os de primeira ordem (Figs. 9 e 11). Já os de terceira ordem indicam ainda grande influência da direção aparentemente inicial dos cursos de água da bacia: NE-SW, a mesma do rio São Francisco. A partir da 4ª ordem, eles passam a se estruturar em duas direções preferenciais de montante para a jusante: NE-SW, a do rio São Francisco, e NW-SE, a mesma do rio Pandeiros (Figs. 9 e 11). A figura 12, dos canais de 5ª ordem, por outro lado, evidencia que os rios de quinta ordem têm direção preferencial NW-SE, que é a mesma do rio Pandeiros (Fig. 9).

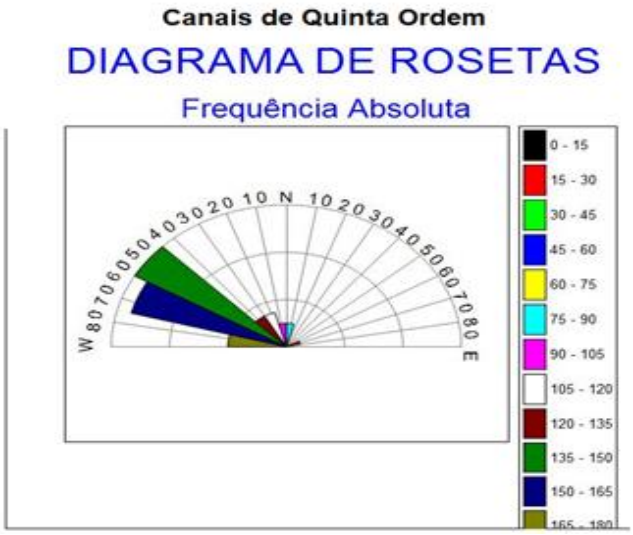


Figura 12: Diagrama dos canais de quinta ordem, representando os canais mais bem estruturados da bacia, com destaque para o rio Pandeiros.

Embora ele não seja o único canal com esta ordem de grandeza na bacia (Figs. 9 e 12), é o que conta com os afluentes mais longos em números médios e absolutos, revelando sua importância no sistema de drenagem. Isto significa que o rio Pandeiros é o mais bem estruturado da bacia, o que pode ser interpretado como também sendo o mais antigo e com maior influência sobre as outras drenagens, constituindo o nível de base local para todos os seus afluentes (Figs. 9 e 12).

Por isto, o rio Pandeiros é o único canal a receber todos os outros de ordens mais baixas, ou iguais. Embora esta direção da roseta (NW-SE) não seja tão representativa em termos de frequência de canais, representa a direção predominante dos canais de ordens maiores, em geral, também os mais bem estruturados (Figs. 9, 10, 11 e 12). Em função disso, pode-se assumir que o aumento do comprimento do canal do rio Pandeiros é resultante da erosão à remontante e o alargamento da bacia por seus afluentes, foi, e continua sendo, comandado pelo rio Pandeiros. O fato de não apresentar uma ordem maior do que a quinta indica tratar-se de um rio ainda relativamente jovem, formado bem posteriormente ao rio São Francisco, mas que conseguiu estruturar o sistema de confluências de canais mais antigo da bacia (Fig. 9).

Padrão da drenagem da bacia do rio Pandeiros

A maneira como os canais de uma bacia se conectam com seu rio principal, ou seja, a configuração dos canais com relação ao canal principal pode variar, assumindo diferentes formatos denominados de padrões de drenagem.

O rio Pandeiros e seus tributários não apresentam o mesmo padrão paralelo dos demais rios no domínio da Chapada das Gerais (Figs. 6, 8a, 8b, 9 e 13). Este padrão é associado por vários autores à influência de substratos com estratificações horizontalizadas (GREGORY e WALLING, 1983; SELBY, 1985; GOUDIE, 2006), ou ao controle do fluxo pelo gradiente, sem interferência da estrutura do substrato (TWIDALE, 2004, p. 174). No entanto, na bacia do rio Pandeiros, tanto os sistemas de drenagem com padrão paralelo, como os de padrão dendrítico, têm substrato formado por rochas com estratificação horizontalizada do Grupo Urucuia (Fig.13).

Portanto, é possível assumir que outros fatores estejam envolvidos na diferenciação desses padrões.

A bacia do rio Pandeiros tem um padrão dendrítico um pouco alongado, ou seja, se assemelha ao tronco de uma árvore com seus galhos, no qual os rios tributários vão se juntando de um lado e outro, em uma forma com tendência a circular (Figs. 6, 9 e 13). Phillips e Schumm (1987) atribuem este padrão à ausência de controle estrutural e litologia, características também identificadas por Mejía e Niemann (2008, p. 2), para quem este tipo de padrão "ocorre tipicamente em regiões com pouco controle tectônico, relevos suaves e litologia uniforme".

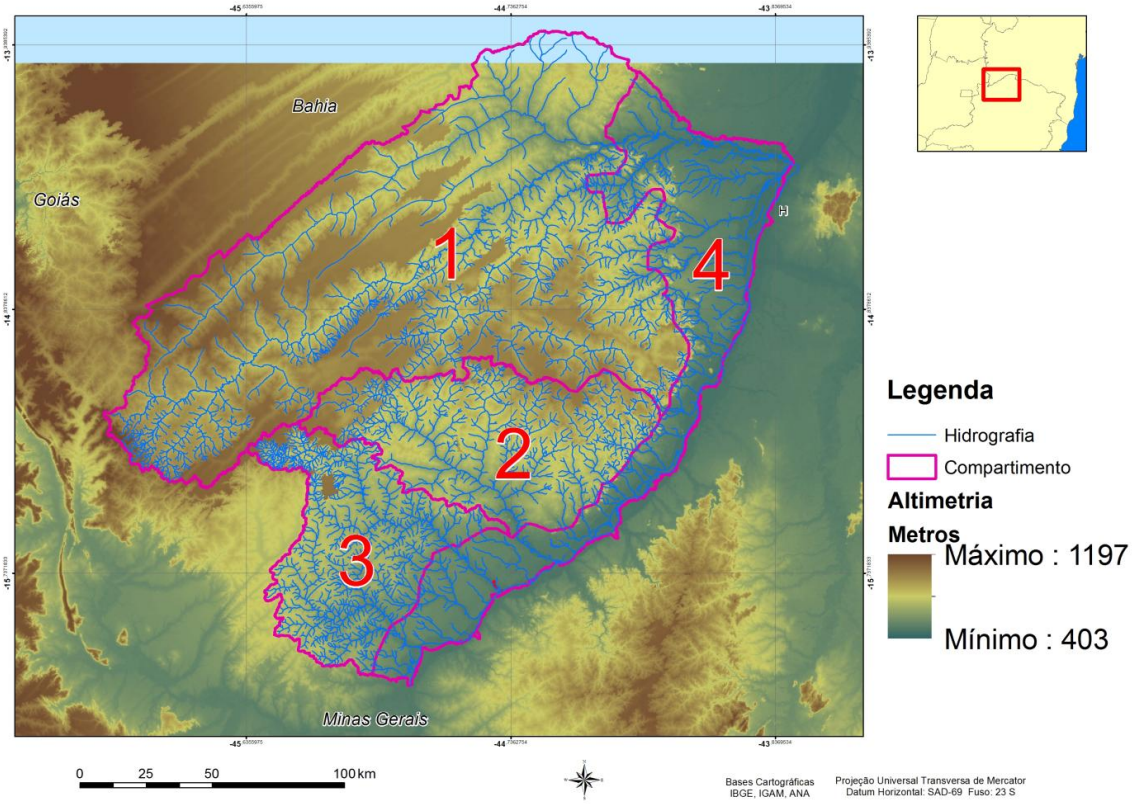


Figura 13: Padrão de drenagem paralela predominante no domínio da Chapada das Gerais (**1**), em contraste com o padrão dendrítico da drenagem dos rios demais bacias (**2**, **3**, **4**). Fonte: Modificado de Maia-Rodrigues, 2014.

No entanto, como lembrado por Santos (2013), há controles 'passivos', ou seja, relacionados a eventos ocorridos no passado geológico que influenciam a drenagem. Este é o caso da bacia do Pandeiros, onde eventos tectônicos pretéritos como defendido por Augustin et al. (2020a) afetaram a bacia, impactando a estruturação da sua drenagem. O padrão dendrítico da bacia

mostra evidências de que tenha sido condicionado pela captura do proto rio Pandeiros pelo rio São Francisco e por seu encaixamento na falha extensional do baixo Pandeiros, obrigando o canal a se direcionar de SE para NW (Figs. 6 e 7). Na medida em que o canal evoluía a montante, drenagens paralelas com direções NE-SW e SW-NE foram sendo capturadas e anexadas em função do nível mais baixo do gradiente da sua calha, criando o padrão dendrítico, ou arbóreo. O padrão dendrítico tende a favorecer tempos de atraso mais curtos e uma descarga de pico maior do que em drenagens de padrão alongado, como os que ocorrem no alto da Chapada, em função da menor distância que a água tem para percorrer.

Dinâmica Geomorfológica da Bacia do Rio Pandeiros

Perfil longitudinal do rio Pandeiros

O perfil longitudinal dos rios mostra a morfologia do canal de um rio, da cabeceira à foz, assim como dos transversais, às alterações da topografia e relevo, perpendiculares ao longo deste eixo. A análise dessa morfologia traz informações importantes sobre fatores envolvidos no ajuste dos canais às condições do substrato geológico e relevo ao input do clima e cobertura vegetal. Esta análise complementa aquelas relativas aos perfis transversais, que no caso da bacia do Pandeiros, foi realizada por Augustin et al (2020b), possibilitando a identificação de variações tanto da estrutura, como da litologia do substrato rochoso na distribuição das formas de relevo de um lado e outro do rio Pandeiros.

A figura 14 mostra o perfil longitudinal do rio Pandeiros e de alguns dos seus tributários. Como pode ser observado, o perfil do rio Pandeiros não é côncavo, mas inclinado, com rupturas pontuais e abruptas de declive, indicando uma morfologia de um rio que ainda não atingiu o “equilíbrio dinâmico”. Para vários autores, a configuração suavemente côncava representa o perfil mais comumente encontrado nos rios aluviais, revelam um perfil de “quase equilíbrio”, representando a relação entre a descarga, inclinação e disponibilidade de sedimento (HACK, 1973; LARUE, 2011). Segundo Hack (1957), este tipo de perfil ocorre com tanta frequência, porque facilita o transporte de sedimentos.

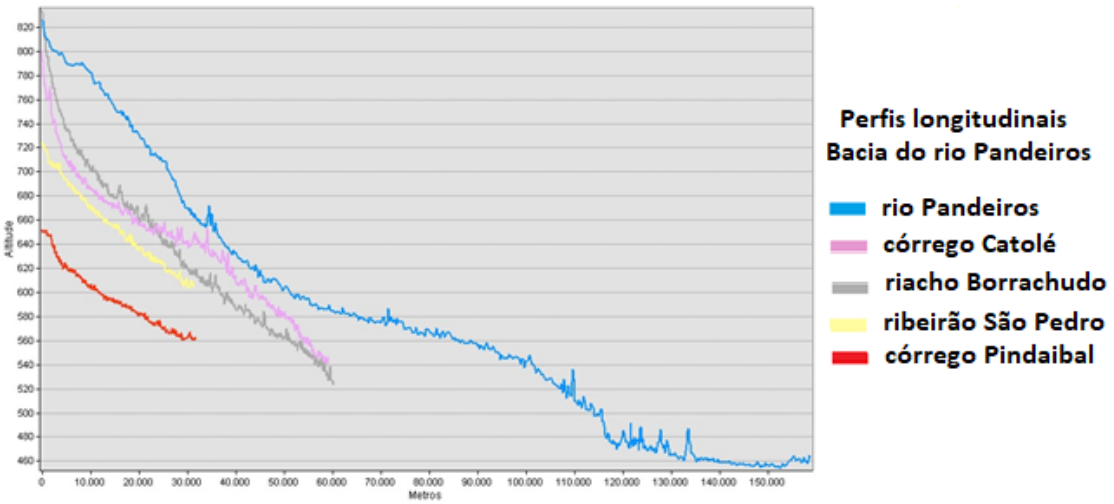


Figura 14: Perfis de alguns tributários do rio Pandeiros, MG, idicando que os dois tributários com morfologia mais próximas a de um “equilíbrio dinâmico”, são as dos ribeirão São Pedro e a do córrego Pindaibal.

Em comparação, seus tributários, ribeirão São Pedro e o córrego Pindaibal, apresentam um perfil relativamente próximo do côncavo, atribuído aos cursos de água que se encontram em uma relação de equilíbrio entre a descarga e o transporte de sedimentos, como apontado por Hack (op cit.).

Isto significa que o Pandeiros ainda constitui um rio com uma forte dinâmica hidrológica, em processo de ajuste entre a inclinação, disponibilidade de sedimentos e a descarga. As rupturas ao longo do rio Pandeiros da figura 14, também podem se vizualizadas na figura 15, tendo sido identificadas no mapa hipsométrico por Lima et al (2019), associadas à presença de grupo de voçorocas na bacia (Fig. 16).

Essas rupturas (3) mostradas na figura 16, ocorrem no limite dos contatos de quatro (4) grandes superfícies, formando degraus que vão diminuindo de altitude e mesmo de declividade em direção à foz, no encontro do Pandeiros com o São Francisco.

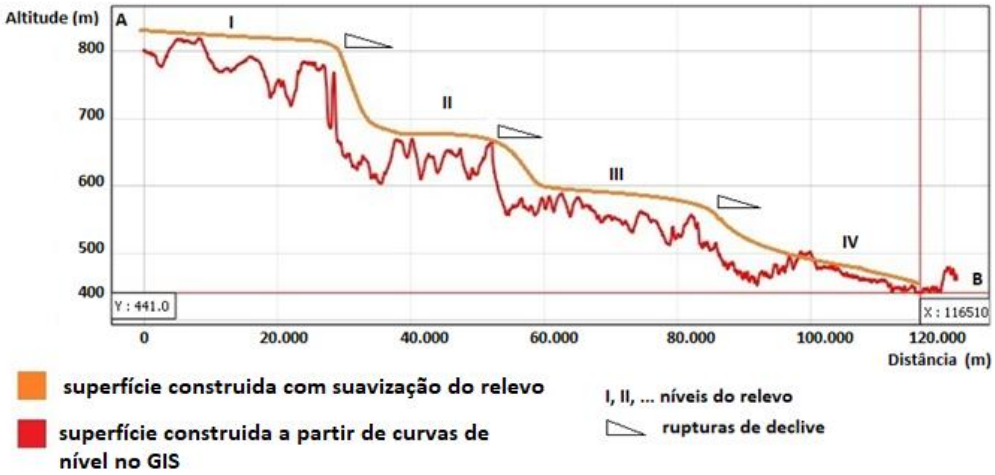


Figura 15: perfil longitudinal simplificado da bacia do rio Pandeiros, mostrando a presença de unidades de relevo (I, II, III, IV) separadas umas das outras por rupturas abruptas de relevo, formando áreas de intensificação da erosão. Modificado de Lima et al., 2019.

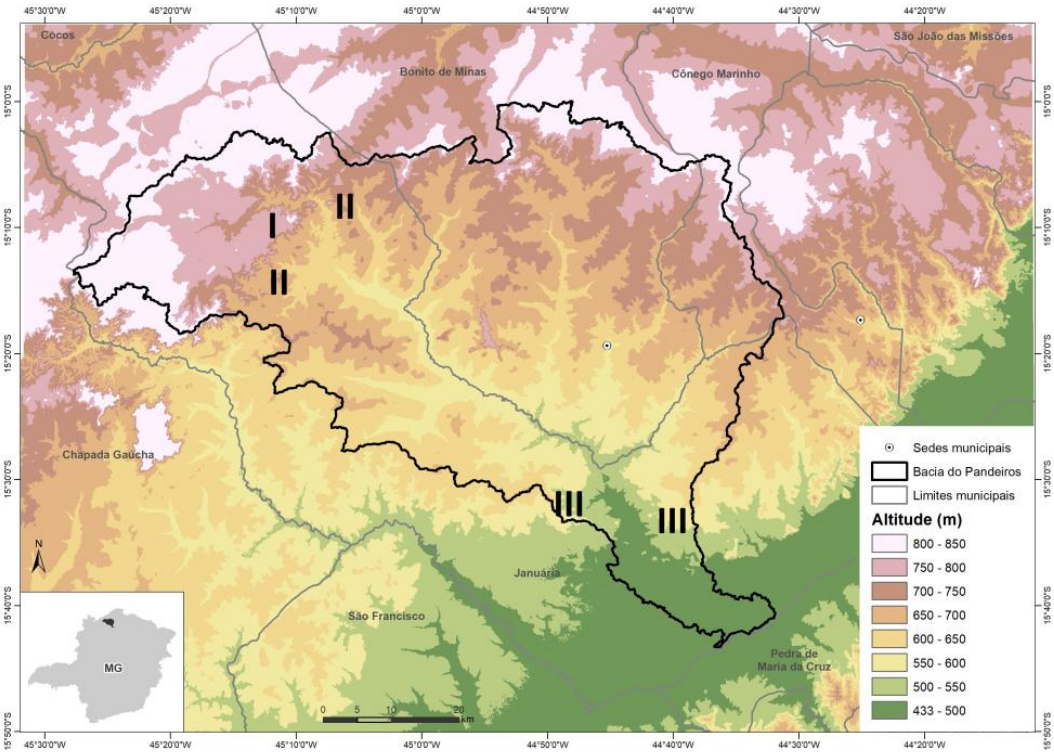


Figura 16: Mapa hipsométrico da bacia, mostrando a localização das voçorocas na bacia do rio Pandeiros, que tendem a se aglutinar em grupos, separados por rupturas de declive. Fonte: Lima et al., 2019.

O mapa da figura 16 mostra a localização de voçorocas que ocorrem em grupos, limitadas às áreas de rupturas de declive entre as unidades de relevo I e II, e entre III e IV da figura 15. Essa distribuição em *clusters,* sugere a presença de fatores que atuam em toda a bacia. Trata-se de aspecto importante, uma vez que

estes processos acelerados estão associados ao fornecimento de sedimentos para os canais fluviais e podem estar envolvidos na dificuldade do canal do rio Pandeiros em ajustar a vazão com a carga sedimentar, fazendo com que o transporte seja menos igualmente eficiente ao longo de todo o perfil longitudinal do rio, gerando áreas de aumento da sedimentação.

Parte desse desajuste, contudo, encontra-se relacionada ao papel da estrutura, tanto dos lineamentos, como dos acamamentos das rochas, principalmente do Grupo Urucuia, ou entre este domínio e o das rochas do Grupo Bambuí, que formam "soleiras" mais resistentes à dissecação, criando zonas de rupturas de declive. Nestas rupturas, o rio Pandeiros tende a acelerar o transporte de sedimentos, enquanto nas soleiras, ele diminui, formando sequências de áreas alagadas, com lagoas marginais, em um sistema de "*stop*" (soleiras) e "*go*" (rupturas de declive) (Fig. 17).

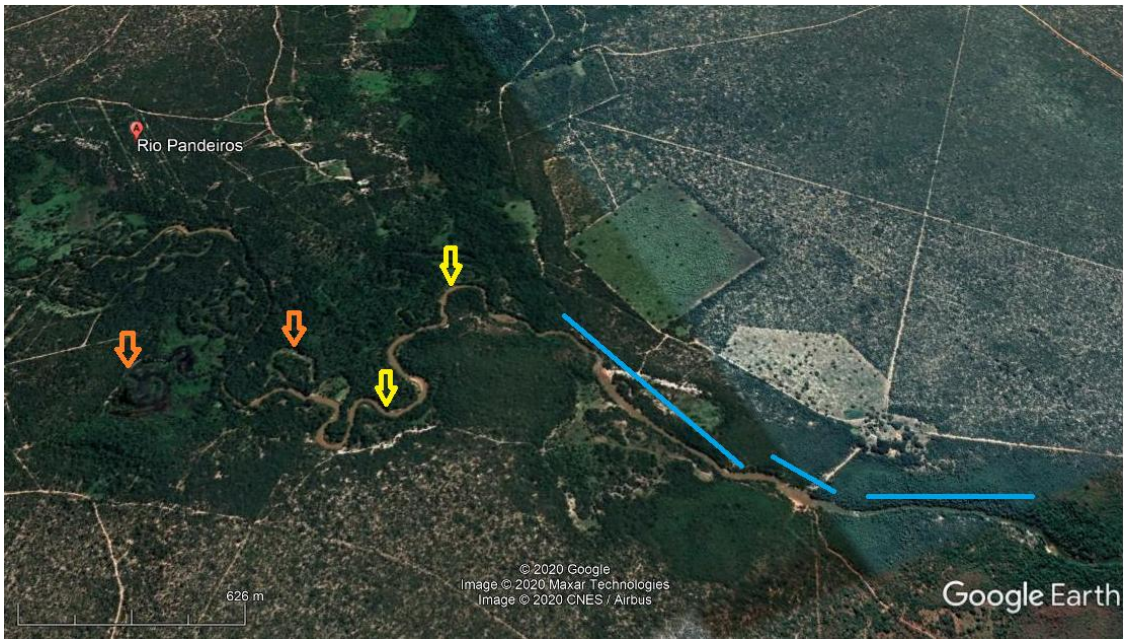


Figura 17: Trecho de aproximadamente 3, 80 km, com 553 m de altitude, ao longo do canal do rio Pandeiros, mostrando: à esquerda, uma larga planície aluvial na qual se destacam meandramentos (setas amarelas) e lagoas marginais (setas alaranjadas), onde o rio tende a depositar os sedimentos, em contraste com o trecho retilíneo (à direita), marcado em azul, onde o transporte é mais eficiente. Fonte: Imagens Google Earth, 2020. Localização: 15^{0}25'56.20" S e 44^{0}54'04.60"O.

Análise espacialmente representativa das rupturas, e como elas se comportam no âmbito da bacia, também pode ser obtida no mapa de knickpoints.

Mapa de Knickpoints (Rupturas de Declive)

Mudanças abruptas de declividade longitudinal dos canais fluviais são denominadas de *Knickpoints.* Elas podem ter causas variadas, entre elas, aquelas associadas às atividades tectônicas, às ocorridas em razão de mudanças de litologia, que podem impor resistências diferenciadas à erosão, resultando, quase sempre, em mudanças de níveis locais de base.

Na bacia do rio Pandeiros, esses pontos estão espacialmente bem distribuídos (Fig. 18), indicando a existência recorrente de fatores de indução dessas rupturas de relevo e da frequência de *inputs* de energia que dinamizam e impulsionam o trabalho erosivo da água. Contudo, utilizando as zonas de cores mais avermelhadas, é possível identificar áreas com mais alto potencial erosivo.

A primeira delas, observável no Mapa de knickpoints (Fig. 18), acompanha toda a borda noroeste, norte e nordeste da Chapada da Gerais, nas zonas das nascentes dos tributários da margem esquerda do rio Pandeiros, próximo aos limites da bacia do Pandeiros com a bacia dos rios Carinhanha (NW), Cochá (N) e Peruaçu NE) constituindo, de acordo com Augustin et al. (2020a, 2020b), o Domínio Geomorfológico das Escarpas. As cabeceiras do rio Pandeiros encontram-se localizadas na Escarpa NW, englobando as bacias do ribeirão do Pandeiros, dos córregos Genipapo e Lavrado e, na margem direita, o baixo córrego Suaçuarana e a bacia do ribeirão São Pedro (Figs. 6, 9 e 18).

Mesmo ocorrendo em áreas de litologia arenítica do Grupo Urucuia, do Cretáceo, elas estão localizadas em zona de transição entre as formações Serra das Araras (superior), laterizada e Posse, composta por arenitos finos e esbranquiçados da base. De acordo com Augustin, et al. (2020a; 2020b), a laterização das rochas da Fm Serra das Araras parece ser um dos fatores que respondem pela maior resistência da zona da Chapada à erosão, o que leva à criação de uma zona de grande ruptura, explorada pelas cabeceiras de drenagem (Figs. 6, 9, 18 e 19).

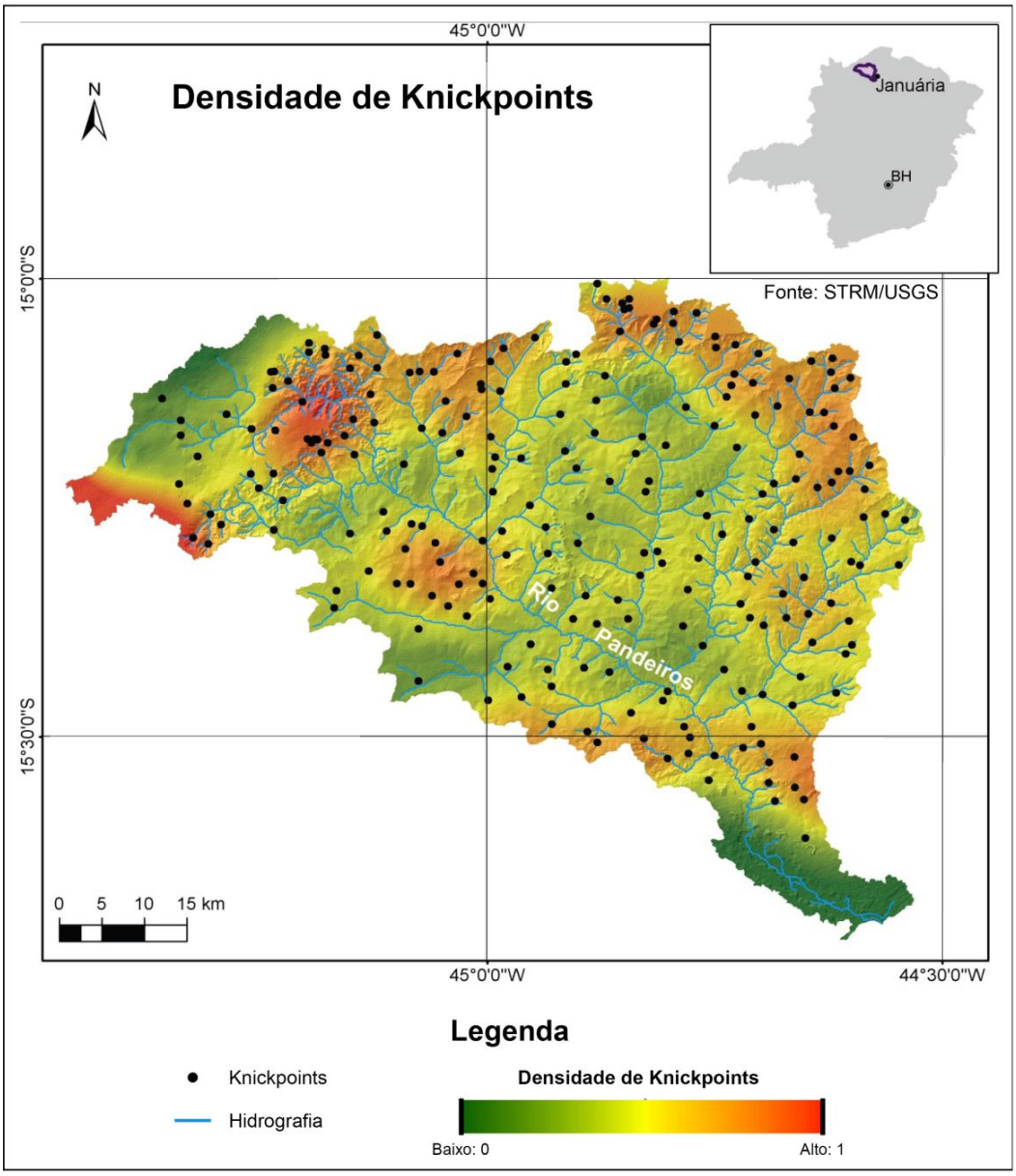


Figura 18: Mapa de Knickpoints, que mostra a ocorrência de pontos de ruptura acentuadas do relevo.

A segunda zona de grandes rupturas de declive ocorre nos interflúvios do córrego Pindaibal (Fig. 18), mostrando que, apesar do canal em si não exibir rupturas longitudinais representativas, seus afluentes apresentam zonas susceptíveis à erosão (LOPES et al., 2015; LIMA et al., 2019).

Figura 19: Erosão concentrada em área de ruptura declive na zona das cabeceiras do rio Pandeiros. Observa-se que a ruptura de declive, que naturalmente favorece a ação da água de escoamento superficial, é afetada pela retirada da cobertura vegetal natural.

Uma terceira zona identificada é formada por interflúvios que ocorrem desde o riacho Mandim, na margem direita do rio Pandeiros, até as bordas superiores do Pantanal do rio Pandeiros (Figs. 6 e 18). Nos interflúvios do riacho Mandim foram encontrados remanescentes de rochas laterizadas, da Fm Serra das Araras, bem como amostras de sílex, sugerindo uma geologia mais complexa para a área do que a já produzida pela literatura (AUGUSTIN et al. 2020a). Esta terceira ruptura de declive atinge diretamente o canal do rio Pandeiros, formando trechos encachoeirados e com a presença de rápidos, onde foi construída a PCH do rio Pandeiros. Ela é uma área importante devido ao grande número de nascentes localizadas no contato dos arenitos do Grupo Urucuia com os calcários da Fm Sete Lagoas, do Grupo Bambuí.

Uma quarta zona pode ser identificada nos interflúvios entre os riachos Borrachudo e Macaúbas (Fig. 18). Esta é também uma área de contato litológico entre as rochas do Grupo Urucuia (Fm Posse) e as carbonáticas do Grupo Bambuí (Fm Sete Lagoas).

Todas essas quatro zonas estão associadas à presença de declividades acentuadas (Fig. 20), com alto IH (Fig. 22), aparecendo no Mapa de *Knickpoints* (Fig. 18) como áreas de aceleração erosiva pela presença de rupturas acentuadas do declive, devendo receber atenção especial em qualquer

planejamento territorial da bacia, como, por exemplo, a Escarpa norte (Figs. 18, 19 e 20).

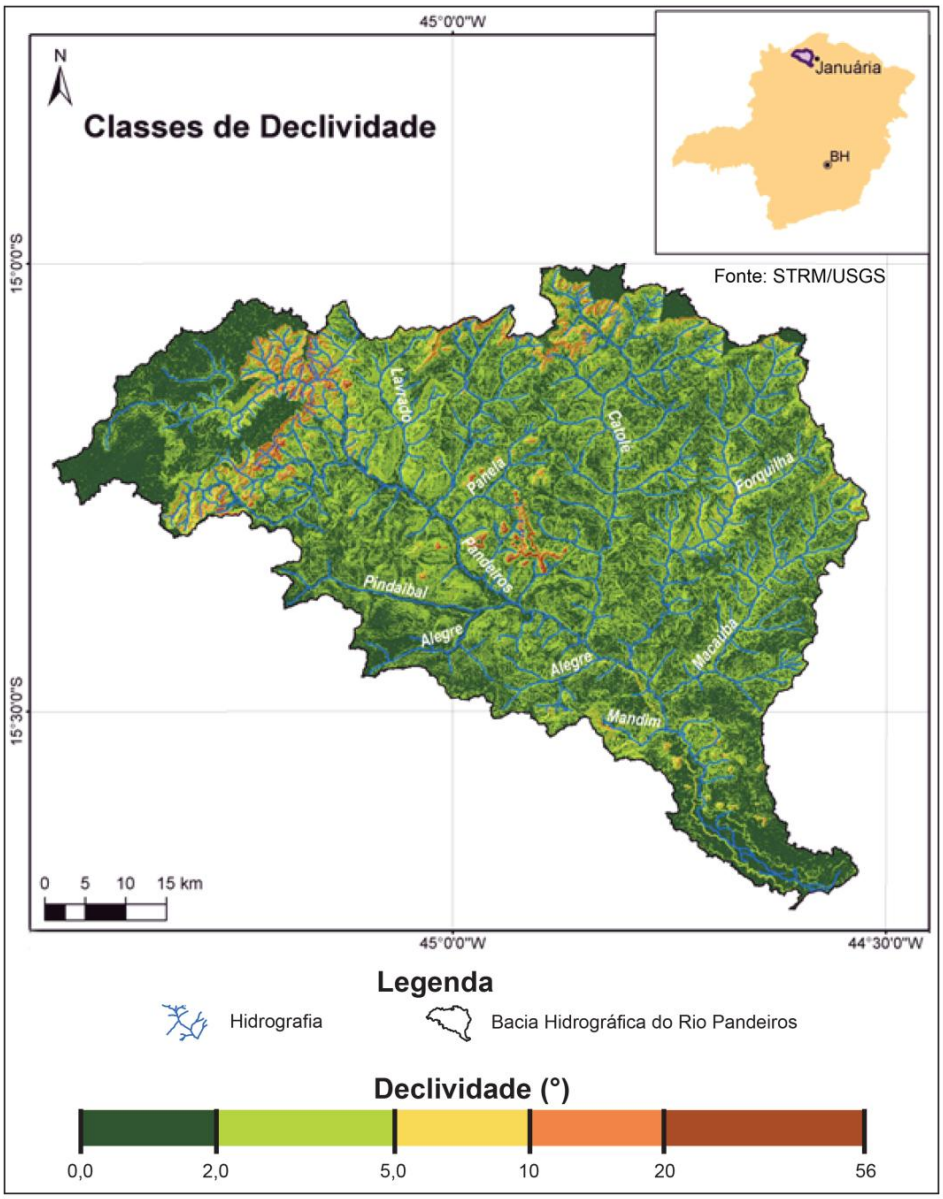


Figura 20: Mapa de declividade da bacia do rio Pandeiros, no qual se observa um relevo predominantemente pouco inclinado, com valores maiores no contato das bordas da Chapada das Gerais, correspondendo à área de recuo das cabeceiras.

Mesmo que de uma maneira geral, as declividades médias de um lado e outro da bacia sejam relativamente baixas, isto não impede que, localmente, ocorram áreas de maior declividade. Este é o caso, no lado esquerdo da bacia, no domínio das Escarpas norte e nordeste (20 a 56º), onde o avanço da drenagem provoca até hoje, o recuo das mesmas (Figs. 6, 8a, 8b e 19). Também é mais acentuada na área ocupada pelo complexo da Serra da Mescla, com mesetas e morros

residuais formados no domínio das rochas areníticas sedimentares do Grupo Urucuia (AUGUSTIN et al., 2020a, 2020b), com declividades entre 10-59º, e, ainda, em alguns interflúvios do ribeirão Pandeiros, dos córregos Genipapo, Lavrado, Catolé (sobre rochas do complexo granito-gnáissico) e Maracujá (rochas pelíticas e carbonáticas do Grupo Bambuí).

A assimetria entre os dois lados do rio Pandeiros pode, assim, ser explicada, inicialmente, pela presença do alto estrutural de Januária ao norte da porção à esquerda do canal do rio Pandeiros, e, posteriormente, pela evolução natural da bacia. Esta dinâmica influenciou as taxas erosivas e o recuo das cabeceiras dos tributários do lado mais alto, aumentando o comprimento dos mesmos (Figs. 6, 9 e 21).

A existência da assimetria também influencia a hierarquização, segundo a classificação de Strahler (1964), da drenagem dos tributários nas duas margens do rio Pandeiros. Enquanto na margem direita, os afluentes não passam da 3ª ordem, os da margem esquerda atingem a 4ª ordem (Figs. 9 e 11) indicando efeitos diretos da evolução da drenagem e dos processos da dinâmica das encostas, com influência especial nos índices de erosão, que tendem a ser mais intensos em rios mais curtos (Figs. 6, 9 e 21). Essa assimetria tem efeitos diretos sobre a evolução da drenagem e os processos da dinâmica das encostas, com influência especial nos índices de erosão que têm, entre seus fatores associados, a extensão dos cursos de drenagem e suas áreas de influência. A extensão dos canais, por sua vez, influencia na quantidade e o tempo da vazão, além de afetar a capacidade de transporte e a competência dos rios.

Mapa do Índice de Hack- IH (ou Relação Declividade X Extensão do Canal)

Uma das ferramentas dessas análises das bacias de drenagem é a da Relação Declividade-Extensão do canal de um rio, ou *Stream-Gradient Index*, também conhecido como Índice de Hack (IH), cujos valores variam de 0 a 1, que expressam a relação entre declividade e extensão do canal fluvial, sendo interpretado como indicador da energia das bacias de drenagem (FONSECA e AUGUSTIN, 2011). A energia do fluxo resulta em sua maior ou menor competência, ou seja, em sua maior ou menor capacidade de transportar sedimentos de grande diâmetro. Dessa maneira, constitui um importante atributo da análise geomorfológica, pois a energia das bacias é um dos componentes

morfométricos mais amplamente utilizado para a compreensão da dinâmica da superfície continental da Terra.

A análise do Mapa do Índice de Hack (IH) da bacia do rio Pandeiros (Fig. 22) evidencia a concentração de valores mais elevados (próximos a 1) nas regiões de contato da Chapada das Gerais, a primeira Unidade Geomorfológica, com as Escarpas, o segundo Domínio da bacia. Estas são áreas de rupturas abruptas de declive, com alto potencial erosivo (OLIVEIRA et al., 2017; AUGUSTIN et al., 2020 a; 2020b), que formam um “semiarco” do noroeste ao nordeste da bacia, próximas aos limites com as bacias dos rios Carinhanha (Escarpa NW), Cochá (Escarpa N) e Peruaçu (Escarpa NE).

Valores elevados de IH são ainda encontrados em outras áreas (Fig. 22), indicando que há fatores locais associados à geologia (presença de lineamentos; mudanças litológicas; falhas; fraturas), ou à geomorfologia (rupturas de declive; características e evolução da drenagem) que influenciam na dinâmica dos rios.

Este é o caso de vários afluentes do rio Pandeiros, especialmente no seu alto/médio curso, como por exemplo, os tributários da margem direita (ribeirão São Pedro, Várzea Alegre, Pindaibal), e do córrego São Domingos, da Panela e Borrachudo e Catolé, na margem esquerda (Figs. 6,18 e 20 e 22).

Também chama a atenção, o fato de que tributários do baixo curso do rio Pandeiros, em especial o córrego Macaúbas, na margem esquerda, e o Madim, na margem direita, apresentarem um IH alto (Fig. 22). Isto pode estar associado à presença de rupturas de declive decorrentes do contato entre as rochas areníticas da Formação Posse (Grupo Urucuia), com as rochas carbonáticas do Grupo Bambuí, aflorantes no baixo curso (Fig. 4).

Essa influência pode ser observada também no campo, pela presença de corredeiras em trechos desses cursos de água nesta área, bem como no próprio rio Pandeiros, o que resulta em aumento de velocidade do fluxo dos canais e, portanto, da energia nesses trechos.

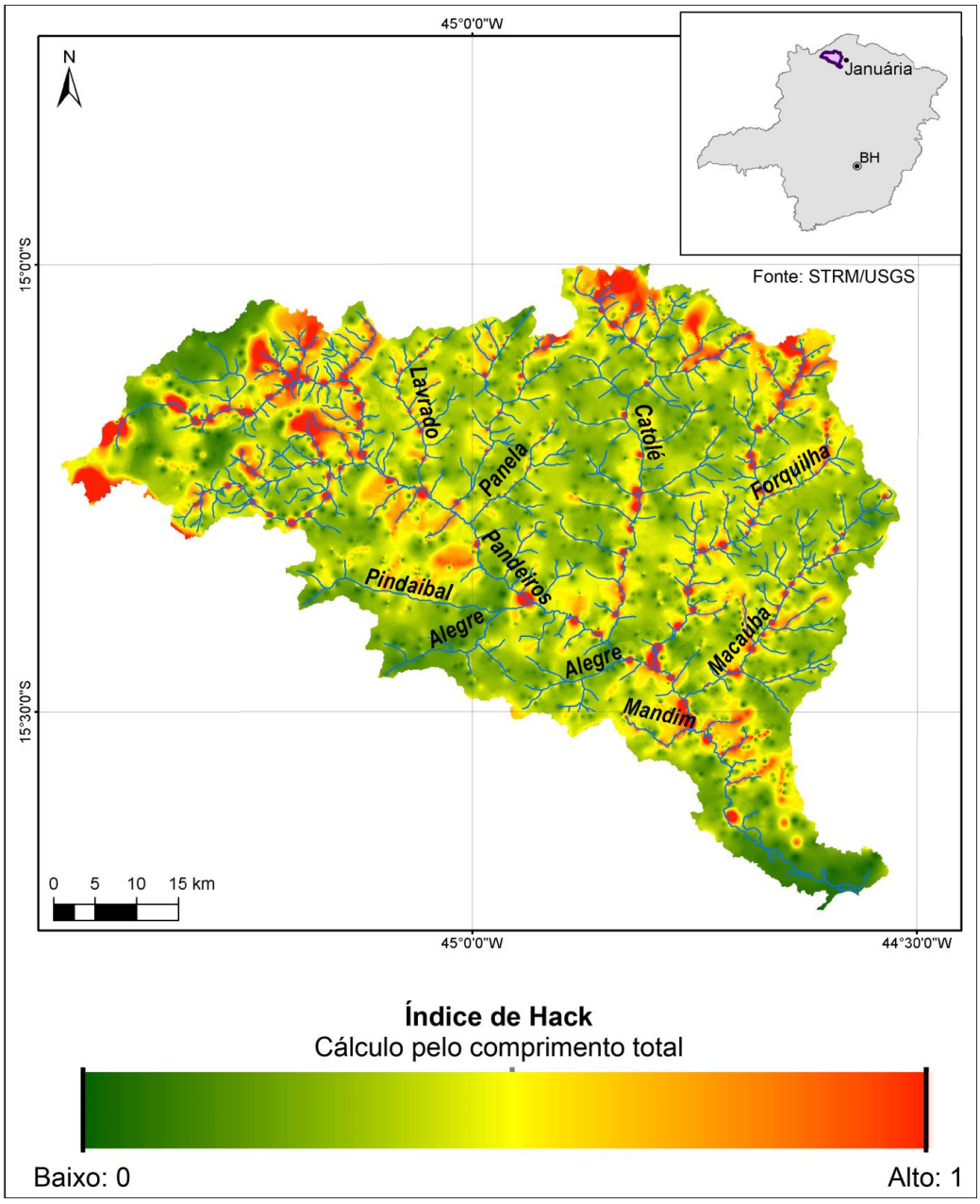


Figura 22: Mapa da Relação Declividade-Extensão do canal, ou Índice de Hack, que pode ser utilizado como indicador da energia das bacias de drenagem do rio Pandeiros.

Os menores valores ocorrem na área do Pantanal, topograficamente a porção mais baixa da bacia. Mesmo lá, no entanto, há a presença de valores de alto a médio, do IH indicando condicionamentos locais ou como a presença de afloramentos (paredões) de rochas calcárias, que tendem a aumentar a velocidade dos fluxos (Fig. 22).

Mapa do Índice de Concentração de Rugosidade (ICR)

A variabilidade espacial da declividade, denominada de rugosidade, fornece importante informação sobre o comportamento do relevo em resposta à incisão da

drenagem. Essa variabilidade pode ser identificada, medida e mapeada através do Índice de Concentração de Rugosidade (ICR), segundo metodologia proposta por Sampaio e Augustin (2014, p. 52), na qual o ICR é realizado através da "compartimentação e quantificação do relevo a partir da análise dos padrões de distribuição espacial da declividade (medidas indiretas da inclinação e do tamanho das vertentes), considerando seus valores no espaço tridimensional e não no bidimensional como no caso das análises via perfis".

Os resultados do Mapa de ICR (Fig. 23) mostram que na bacia do rio Pandeiros predominam índices de muito baixos a baixos, ou seja, que a incisão da drenagem embora intensa, é espaçada, não provocando ondulações muito intensas do relevo.

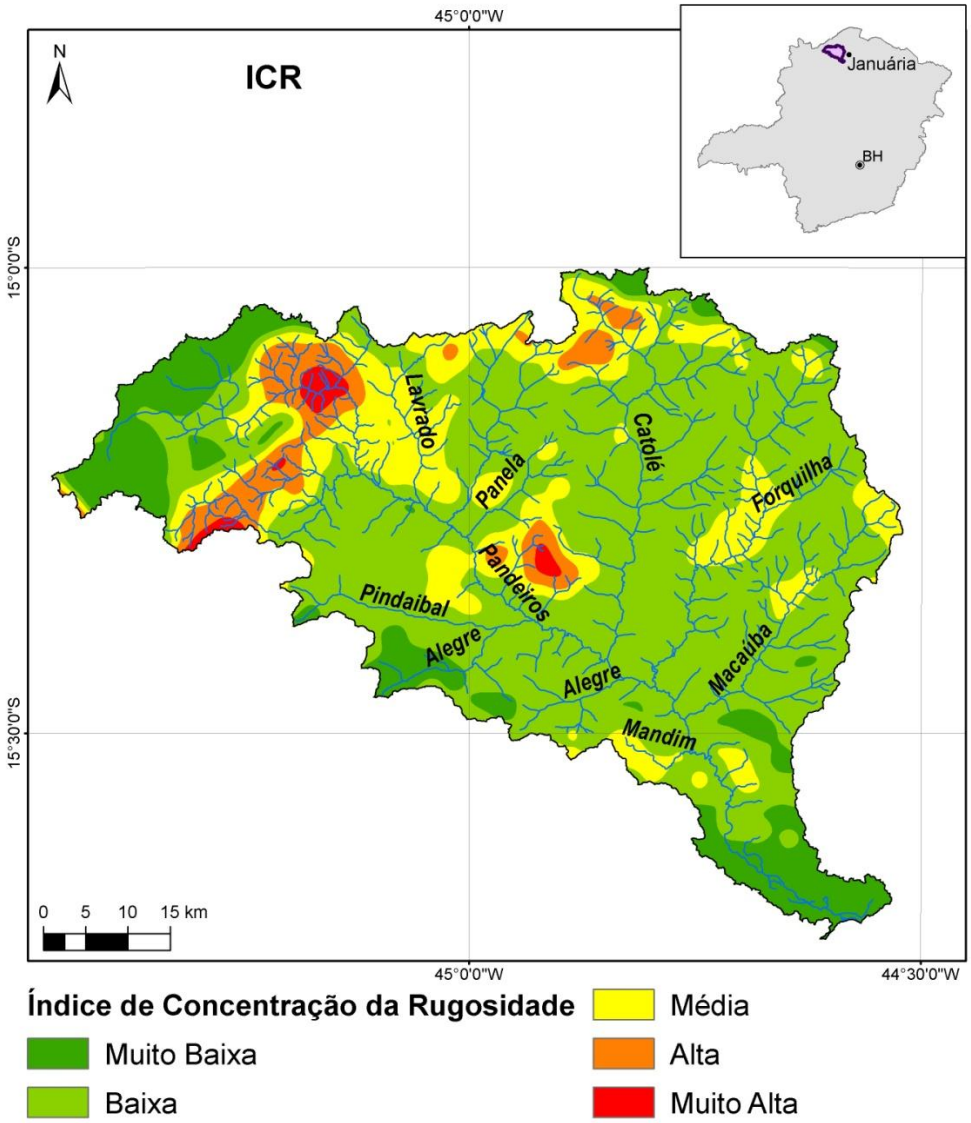


Figura 23: Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) da bacia do Pandeiros.

Somente duas áreas têm valores de alto ICR (Fig. 23), correspondendo às identificadas nos mapas prévios (Figs. 18, 20 e 22) como tendo mais energia potencial, que pode, eventualmente, ser transformada em cinética, causando erosão do material rochoso (eluvial, coluvial e mesmo aluvial), pela água de escoamento superficial (*runoff*) tanto nas vertentes, como nos canais fluviais. Uma das áreas corresponde à Escarpa das nascentes do rio Pandeiros, na borda noroeste da Chapada das Gerais (Figs. 15, 18, 19 e 22).

A segunda está localizada na área do complexo da Serra da Mescla (Figs. 23 e 24), remanescentes (relevo testemunho) da antiga superfície formada pelas rochas da Formação Serra das Araras, que cobria toda esta área antes de ter suas escarpas erodidas e recuadas para as posições nas quais se encontram hoje (AUGUSTIN et al., 2020b).

Figura 24: Feições do relevo da área 2, Índice de Concentração de Rugosidade com destaque para a Serra da Mescla, uma meseta de topo plano e vertentes íngremes (figura maior), os morros isolados de topo arredondados (primeira foto à direita) e de outras formas tabulares remanescentes da superfície sustentada por rochas da Formação Serra das Araras.

O conjunto da Serra da Mescla (Fig. 24) inclui, além de mesetas, de topos planos e bordas íngremes, como a própria Serra, a presença de vários morros isolados, como o da Tábua e Capivara, com vertentes também mais inclinadas (Fig. 20).

Os morros se distribuem no entorno da Serra da Mescla e também constituem remanescentes da superfície plana que os conectava aos topos das mesetas, mas que, em função da presença de clima mais úmido, foram reafeiçoadas, apresentando topos arredondados (AUGUSTIN et al., 2020b). São feições cuja base já se encontra modelada em rochas da Formação Posse.

De um modo geral, os baixos valores do ICR da bacia (Fig. 23) são explicados pelo comportamento hídrico das rochas, tanto as areníticas do Grupo Urucuia, como as carbonáticas do Grupo Bambuí, que compõem a maior parte do substrato rochoso da bacia (Fig. 4).

Considerações Finais

Este artigo tratou de aspectos relativos aos processos de desenvolvimento e organização da rede de drenagem do rio Pandeiros e dos seus afluentes, bem como de características da bacia. Entre esses aspectos mostrou o contexto regional no qual a bacia está inserida, quais são as drenagens vizinhas e como estas se conectam com a do Pandeiros.

Foi mostrado que, de acordo com elementos de análise da articulação geomorfológica da drenagem, as nascentes do ribeirão Pandeiros encontram-se na margem esquerda, no grande arco denominado de Escarpa Norte, zona de rupturas abruptas de declive, que abriga também a bacia do córrego Genipapo, que adquire a denominação de rio Pandeiros ao receber também as águas do córrego Suçuarana, localizado na margem direita.

Outro aspecto explorado neste artigo é a hierarquização dos tributários do Pandeiros, seguindo classificação de Strahler (1964), que mostrou a influência dos lineamentos NE-SW / SW-NE e NW-SE / SE-NW, predominantes na área e no entorno da bacia. Enquanto parte considerável da drenagem acompanha a direção SW-NE, em especial a paralela, dominante na região da Chapada formada pelo substrato arenítico da Formação Serra das Araras do Grupo Urucuia, do Cretáceo Superior e da sua cobertura detrítica quaternária, outra parte, já na bacia do rio Pandeiros, apresenta direção NE-SW. No entanto, o próprio rio Pandeiros tem direção SE-NW, acompanhando os lineamentos dominantes das rochas pelíticas e carbonáticas do Grupo Bambuí, do Proterozóico (600-650 Ma de anos), aflorantes em seu baixo curso. O início da

abertura da bacia do rio Pandeiros ocorreu a partir do encaixamento do seu canal na falha normal, extensional, localizada onde se encontra, hoje, seu baixo curso, antes do início da área do Pantanal (CODEMIG, UFMG, Folha ao Francisco, 2015). No processo de incisão do vale, em direção a remontante, ele foi capturando outras drenagens, de ordens hierárquica inferiores (1ª., 2ª, 3ª e 4ª ordens), tornando-se um rio de quinta ordem e o principal da bacia.

O Mapa de Assimetria da bacia revela que o lado esquerdo do rio Pandeiros é, geomorfologicamente, diferente do lado direito. O primeiro é formado por interflúvios topograficamente mais elevados, longos, cortados por um maior número de tributários com canais mais longos. O lado direito constitui uma área topograficamente mais baixa, com um número menor de tributários com canais mais curtos. Este fato tem efeito sobre a declividade da bacia, pois na medida em que o lado esquerdo ganhou área com o recuo das cabeceiras, sua declividade média diminuiu. Na falta de evidências de basculamentos das rochas, ou de índices diferenciados de incidência de irradiação solar em função da baixa latitude da área, o que poderia causar o efeito de sombreamento em qualquer um dos lados, é possível inferir que esta diferença resulta da influência do “alto estrutural de Januária” e do sistema de lineamentos, em especial a falha extensional do baixo Pandeiros, ao longo da estruturação da rede de drenagem na bacia.

Os Mapas de Declividade, Índice de Hack, de Knickpoints, bem como o do Índice de Concentração de Rugosidade, indicam as áreas mais susceptíveis à erosão tanto fluvial como de encostas, tendo como base a identificação de elementos diretos (declividade, variação de níveis de relevo, pontos e zonas de ruptura de declive), como indiretos (rugosidade do relevo) associados à ocorrência de alta energia potencial, que pode ser transformada em cinética nos períodos de chuva, acelerando a produção e transporte de sedimentos. Embora possam ser causadas por processos naturais da evolução do relevo da bacia associados à mudanças litológicas e aos de processos geomorfológicos fluviais e dos atuantes nas vertentes, as ações antrópicas decorrentes do uso e ocupação muitas vezes inadequados da terra, potencializam esses processos, acelerando-os em várias áreas da bacia. Essas áreas foram identificadas através da análise geomorfológica desses mapas, permitindo uma espacialização do problema,

facilitando as ações do poder público e da iniciativa privada para agir no sentido de corrigir e minimizar os impactos gerados por estes processos.

4.1.4 PROCESSOS DE VOÇOROCAMENTO NA BACIA

Bibliografia base:

LIMA, A.C.P. DE; AUGUSTIN, C.H.R.R.; OLIVEIRA D.A. de. Distribuição espacial de voçorocas e sua relação com o relevo em escala de bacia para fins de amostragem: rio Pandeiros-MG. In**: O livro Geografia Física e as Mudanças Globais**. PINHEIRO, L.S.; GORAYEB, A. (Org.). Fortaleza: Editora UFC, p.1-12, **2019**. ISBN: 978-85-7282-778-2.

LIMA, A.C.P. DE; AUGUSTIN, C.H.R.R.; OLIVEIRA D.A.; NOVO T.A. Estatística aplicada às análises das geocoberturas de vertentes com voçorocamento: bacia do rio Pandeiros-MG. Artigo submetido à revista "**Pesquisas em Geociências**".

Introdução

Grande atenção no Edital da FAPEMIG/ **APQ-03773/14** foi dada aos processos erosivos acelerados de voçorocamento ativos na bacia que são, em parte, responsáveis pela geração de sedimentos que são transportados para os fundos de vale e para o Pantanal do rio Pandeiros, causando impactos negativos em toda a bacia. Abaixo, são apresentadas de maneira sintética, as etapas e técnicas utilizadas para a análise dos processos de voçorocamento. Maiores detalhes podem ser obtidos nos Artigos Base, indicados no início de cada tema abordado neste Relatório do Subprojeto 1ª.

Métodos e técnicas

Pré-Campo*:* Foi realizada a identificação e verificação da distribuição das voçorocas presentes na bacia do rio Pandeiros com utilização de ortofotos 1:60.000 da Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG de 1969 e imagens do Google Earth. Com posterior agrupamento destas utilizando dados indiretos, baseado nas imagens: i) Mapa geológico elaborado utilizando dados do projeto Fronteiras de Minas da CODEMIG: folhas Catolé, Januária, São Francisco e São Joaquim, na escala de 1:100.000; ii) Mapas dos índices de Hack e índice de concentração de rugosidade (ICR) e Domínios geomorfológicos foram aproveitados do trabalho de Oliveira *et al*. (2017) com base em metodologia de Sampaio e Augustin (2014), conduzida em ambiente SIG a partir de imagens

Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Topodata do INPE (imagens 15s45, 15s465, 14s45 e 14s465). iii) Mapa hipsométrico gerado pelo autor da região da bacia do rio Pandeiros, elaborado pelos autores; iv) Mapa de Domínios Geomorfológicos da bacia do rio Pandeiros (Oliveira *et al*., 2017). A interpretação dos dados descritos acima, e sobreposição destes com as 215 voçorocas presentes na bacia do rio Pandeiros geraram um agrupamento das voçorocas em 5 áreas representativas em termos do contexto geomorfológico de onde correm Cabeceirinhas, Campos, Igrejinha, Mandim e Várzea (Figuras 1, 2, 3, 4 e 5).

Etapa de Campo*:* no Campo, procedeu-se a identificação das 5 regiões (Figs.1 a 5), definidas durante a etapa de pré-campo, Cabeceirinhas, Campos, Igrejinha, Mandim e Várzea, Com a seleção das vertentes para coleta de amostra de geocobertura (detalhes ver o Anexo I), sendo selecionadas de maneira que a voçoroca estivesse dentro do tamanho médio de 400-600 m de desenvolvimento, o qual corresponde à média de tamanhos das 215 voçorocas presentes na bacia.

Vertentes/Voçorocas Amostradas

Em cada uma dessas vertentes com voçorocamento, uma em cada agrupamento reconhecidos por Oliveira *et al*., (2017) e Lima *et al*., (2019), seguindo procedimentos propostos por Christian e Stewart, (1968) e Wright (1973), adaptados por Augustin (1979), foi traçado um transecto do topo até a base da cada uma das cinco vertentes/voçorocas, ao longo do qual foram medidos o azimute e a declividade, com o auxílio de três balizas de 2 m alinhadas à distâncias regulares de 20 m, um GPS e um clinômetro de leitura direta Suunto. As medidas de declividade possibilitaram a identificação dos Sítios Geomorfológicos (SG), definidos por Augustin (1995) como “unidades da vertente que morfologicamente apresentam uniformidade interna, e são externamente delimitadas por descontinuidades de gradientes”, possibilitando, com isto, a compartimentação das vertentes. Na porção central, de cada sítio geomorfológico foi aberta uma trincheira com até 2 metros de profundidade para descrições morfológicas e coleta de amostras do regolito para as seguintes análises no Laboratório de Geomorfologia, do Instituto de Geociências, da Universidade Federal de Minas Gerais: granulometria, pH, CE, cálcio, magnésio, potássio, sódio, ferro, alumínio e MO. A descrição dos perfis e a coleta das amostras para análises laboratoriais seguiu metodologia proposta por Lemos *et al*. (2013).

Os perfis realizados e amostras coletadas foram os seguintes:

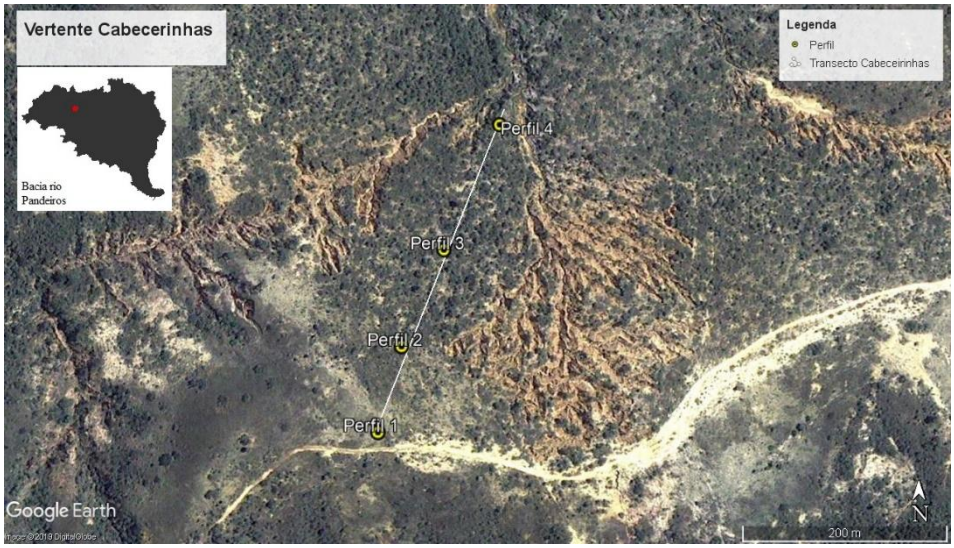


Figura 1: Vertente/voçoroca denominada de Cabeceirinhas, amostrada em perfil do topo para a base de uma das voçorocas presentes na meia/baixa vertente, onde foram abertos 4 perfis e coletadas 16 amostras.

Coordenadas dos perfis abertos.

Perfil 1	15°10'43.94"S	45° 6'50.11"O
Perfil 2	15°10'41.38"S	45° 6'49.39"O
Perfil 3	15°10'38.42"S	45° 6'48.06"O
Perfil 4	15°10'34.43"S	45° 6'46.22"O

Figura 2: Campos, onde foram abertos 6 perfis e coletadas 22 amostras. Sequência dos perfis ao longo do transecto na vertente/voçoroca ao longo de uma das três voçorocas que ocorrem na meia/baixa vertente, unidas por um tronco comum.

Coordenadas dos perfis abertos

Perfil 1	15°34'7.36"S	44°41'40.45"O
Perfil 2	15°34'6.23"S	44°41'41.76"O
Perfil 3	15°34'6.40"S	44°41'44.70"O
Perfil 4	15°34'5.17"S	44°41'46.69"O
Perfil 5	15°34'2.14"S	44°41'49.77"O
Perfil 6	15°34'0.12"S	44°41'52.02"O

Figura 3: Igrejinhas, onde foram amostrados 4 perfis com 16 amostras coletadas. Sequência dos perfis ao longo do transecto na vertente/voçoroca Igrejinha, voçoroca profunda e muito ativa.

Coordenadas dos perfis abertos.

Perfil 1	15° 5'1.17"S	45°13'41.08"O
Perfil 2	15° 5'1.54"S	45°13'40.49"O
Perfil 3	15° 5'3.10"S	45°13'38.92"O
Perfil 4	15° 5'4.05"S	45°13'38.29"O

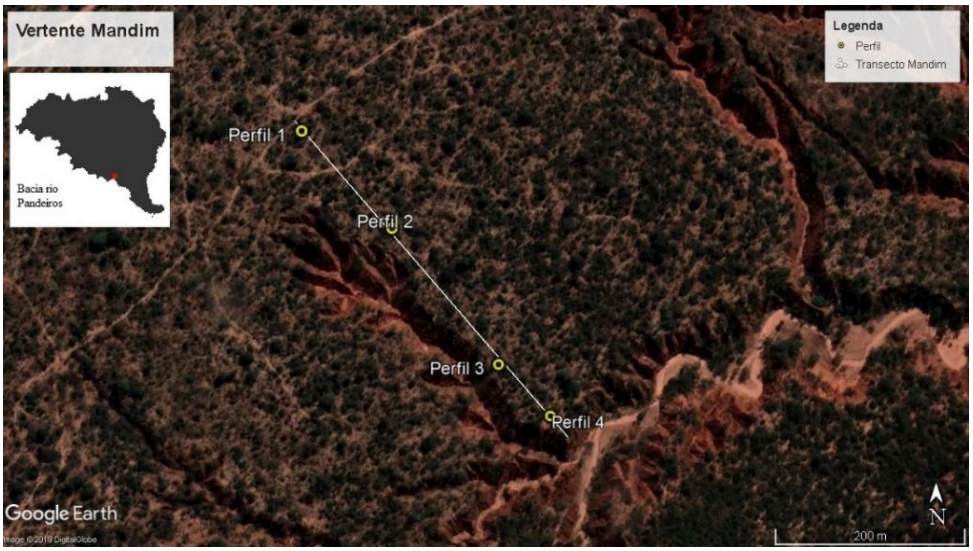


Figura 4: Mandim, onde foram abertos 4 perfis com 12 amostras coletadas. Sequência dos perfis ao longo do transecto na vertente/voçoroca Mandim, na baixa vertente com voçorocas em estágios diferenciados de incisão ao rio Mandim.

Coordenadas dos perfis abertos.

Perfil 1	15°29'38.54"S	44°50'30.64"O
Perfil 2	15°29'41.48"S	44°50'27.87"O
Perfil 3	15°29'45.89"S	44°50'24.37"O
Perfil 4	15°29'47.68"S	44°50'22.56"O

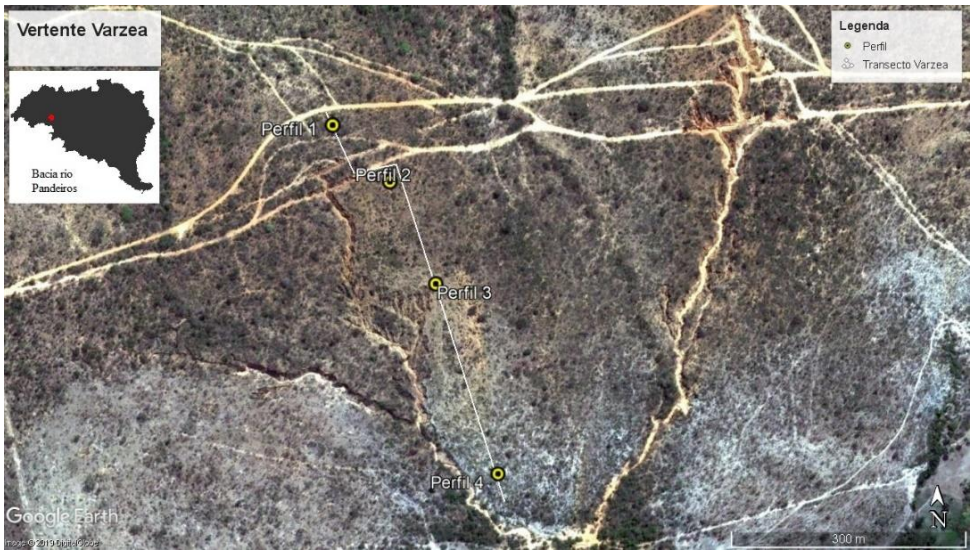


Figura 5: Várzea, onde foram abertos 4 perfis com 15 amostras coletadas. Sequência dos perfis ao longo do transecto na vertente/voçoroca Várzea, localizada na baixa vertente, conecta-se diretamente com um canal fluvial. O perfil foi como no caso das demais, realizado do topo até a base da forma erosiva.

Coordenadas dos perfis abertos.

Perfil 1	15°14'37.21"S	45°11'39.62"O
Perfil 2	15°14'39.29"S	45°11'37.43"O
Perfil 3	15°14'43.21"S	45°11'35.64"O
Perfil 4	15°14'50.83"S	45°11'33.10"O

Foram coletadas, no total, 81 amostras das geocoberturas de 5 vertentes com a presença de voçorocas, que foram encaminhadas para análise dos parâmetros granulométricos e químicos no Laboratório de Geomorfologia, Instituto de Geociências - Universidade Federal de Minas Gerais.

Análises laboratoriais

Foram realizadas análises laboratoriais de parâmetros granulométricos de vertentes, incluindo 5 delas representando os maiores conjuntos de voçorocas preliminarmente mapeadas: Cabeceirinhas (4 perfis com 16 amostras), Campos (6 perfis com 22 amostras), Igrejinha (4 perfis com 16 amostras), Mandim (4 perfis com 12 amostras) e Várzea (4 perfis com 15 amostras), totalizando 81 amostras de geocoberturas.

As amostras de geocoberturas tiveram suas análises laboratoriais realizadas no Laboratório de Geomorfologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, seguindo metodologias descritas por Donagema, *et. al.* (2017). Foram medidos os parâmetros granulométricos e químicos: textura (areia grossa, areia fina, silte e argila) pelo método da pipeta com dispersante NaOH 01 $mol.L^{-1}$, pH (em água, em Kcl e Δ pH) determinados por potenciometria na suspensão geocobertura-água 1:2,5 em água, KCL $1mol.L^{-1}$, condutividade elétrica (C.E) com condutivímetro, matéria orgânica (M.O) e carbono orgânico (C.O) pela metodologia de oxidação com dicromato de potássio, macronutrientes (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} e Na^{+}), onde cálcio e magnésio são extraídos por meio da solução 1ml de KCL titulados com EDTA e sódio e potássio por fotômetro de chama, e os óxidos (Fe_2O_3, TiO_2 e Al_2O_3) pela extração sulfúrica.

Os resultados das análises em detalhe estão contidos no ANEXO I

Resultados da Distribuição espacial de voçorocas e sua relação com o relevo

Os resultados aqui apresentados estão calcados nos dois artigos acima assinalados e em sobrevoos realizados em parte das áreas onde ocorrem as voçorocas, formas erosivas geradas pelo processo.

O Edital FAPEMIG solicitava a análise das áreas como indicadas abaixo na figura 6.

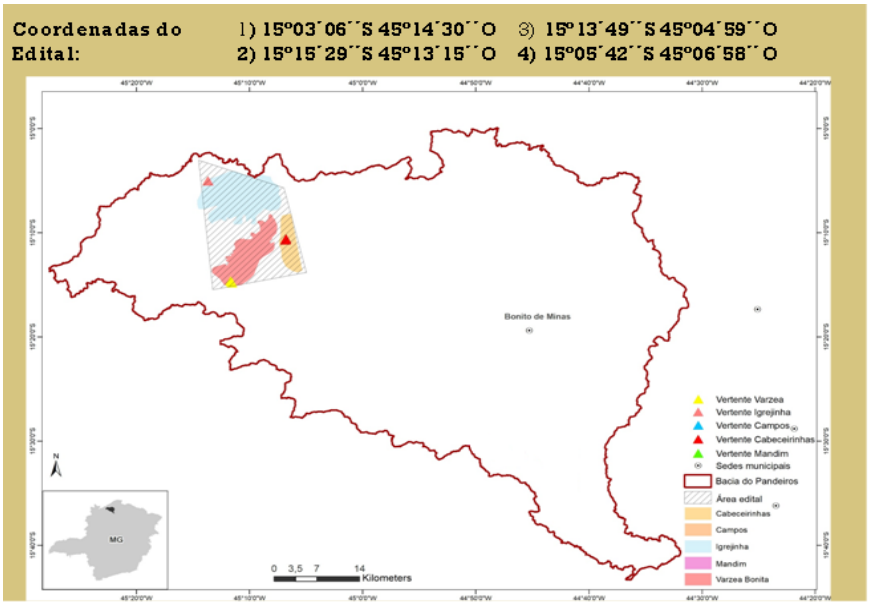


Figura 6: Áreas constantes do edital FAPEMIG, como objeto de análise.

No mapeamento conduzido pelo grupo 1a, foram identificadas mais duas áreas de ocorrência de voçorocas (Fig. 7), totalizando 215 voçorocas, que se concentram em cinco áreas específicas: três no Alto Pandeiros, e as outras duas, no baixo Pandeiros, na área do entorno da PCH.

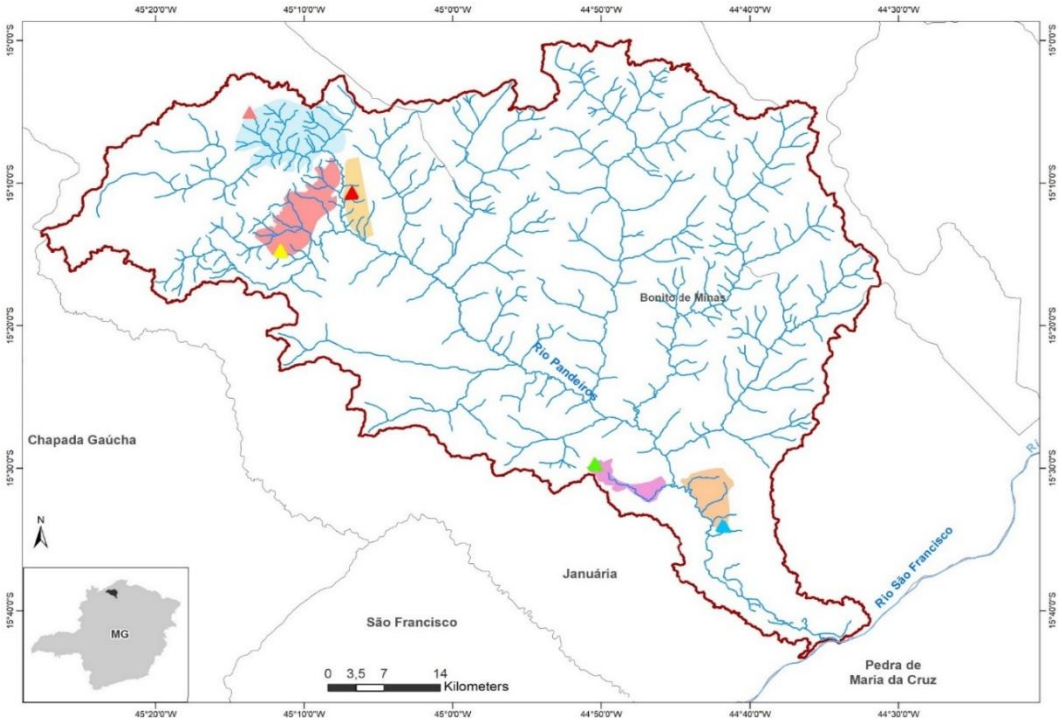


Figura 7: Áreas de ocorrência de voçorocas, após o mapeamento das mesmas, mostrando mais duas áreas de concentração das mesmas.

Também foi identificado, como é mostrado abaixo, as principais causas associadas ao voçorocamento:

- 40% devido a estradas de terra, caminhos, trilhas;
- 60% devido a declividade, forma e topografia das vertentes, o que aumenta o volume e a velocidade da água de escoamento superficial, induzido pelos desmatamentos.

O mapeamento da distribuição espacial das voçorocas identificadas apontou que as mesmas encontram-se:

a) localizadas em áreas específicas da bacia;

b) concentradas, o que poderia indicar fatores associados à geologia, ou à dinâmica geomorfológica da bacia.

O fato de que a localização/concentração se dar em áreas em susbstratos geológicos semelhantes indica que, possivelmente, a presença das voçorocas, mesmo que associadas às atividades antrópicas, tenha um elemento “potencializador”, ligado à dinâmica das vertentes. Este elemento que induz estas áreas a responderem de maneira diferenciada das demais ao impacto antrópico, deve ter um caráter regional, pois mesmo apresentando características

geológicas, pedológicas e de cobertura vegetal, semelhantes, o voçorocamento ocorre de maneira concentrada em apenas algumas áreas da bacia.

Em uma análise preliminar, com base em mapeamentos (Fig. 8), foi observada a presença de três grandes rupturas de declive marcando mudanças de elementos do relevo (topografia, declividade e padrão das formas), coincidentes com a localização dos grupos das voçorocas mapeadas (Fig. 8B). Em uma delas, na Ruptura III, há a diferenciação de duas subunidades, correspondentes à margem esquerda do rio Pandeiros (III-a) da direita (III-b). A ocorrência das rupturas de relevo possibilitou assumir que estas têm influência em alguns parâmetros naturais, incluindo a aceleração do escoamento superficial da água de chuva.

Os Grupos de concentração das voçorocas foram denominados de acordo com a proximidade das localidades onde ocorrem. O primeiro grupo de voçorocas (Grupo Igrejinha-I) ocorre nas cabeceiras do ribeirão Pandeiros e córrego Genipapo, que avançam sobre o relevo plano da Chapada das Gerais. A área fica no domínio das rochas da Formação Serra das Araras, com cobertura coluvial e afloramentos de arenito, ambos laterizados. Possivelmente esta laterização impõe maior resistência dos materiais que respondem aumentando a erosão linear (Fig. 8). O maior número de voçorocas ocorre na segunda grande ruptura de relevo, entre 700 e 600 m de elevação (Figuras 8A e 8B), sendo caracterizada como o domínio de maior energia (Figuras 8 e 9).

Esta região apresenta duas áreas de morfologia distintas: uma, com vertentes mais longas e maiores declividades, na margem esquerda do rio Pandeiros, e outra, na margem direita do rio com vertentes menos inclinadas e mais curtasDevido a essa assimetria, optou-se por sua separação em dois grupos de voçorocas, embora estas ocorram na região do mesmo patamar de ruptura de declive (Fig. 8B) e substrato geológico semelhante (Urucuia). Às da margem esquerda do rio, foram denominadas de Grupo Cabeceirinhas (Zona II), e as da margem direita de Várzea Bonita (Zona III), ambos os nomes devido a distritos próximos.

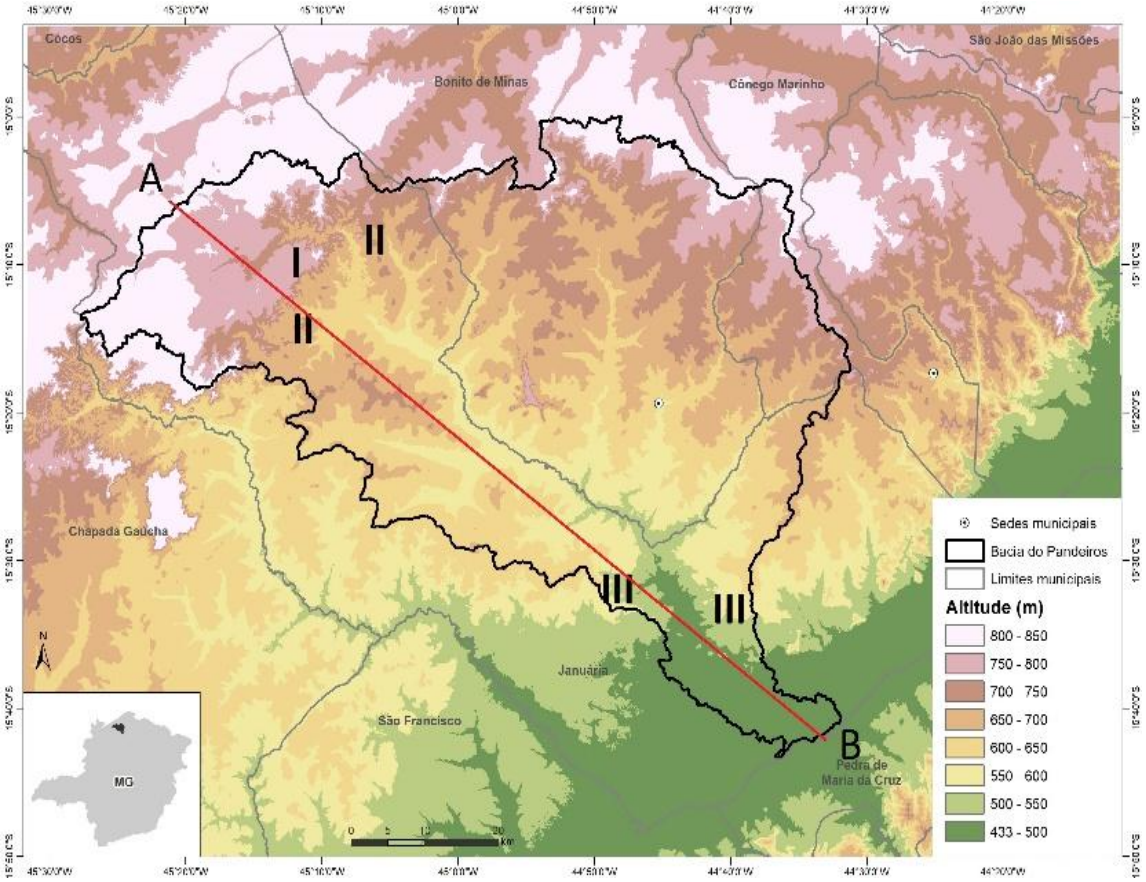


Figura 8A: Mapa hipsométrico com a localização dos grupos de voçorocas mapeadas na bacia. No perfil topográfico, a identificação de desníveis altimétricos que atingem toda a bacia do Rio Pandeiros. A ocorrência das voçorocas nas áreas de grandes rupturas de declive no relevo (I, II, III), indica relação de causa e efeito entre elas. A-B marcam o eixo longitudinal do canal do rio Pandeiros.

Figura 8B: Perfil longitudinal da bacia do rio Pandeiros.

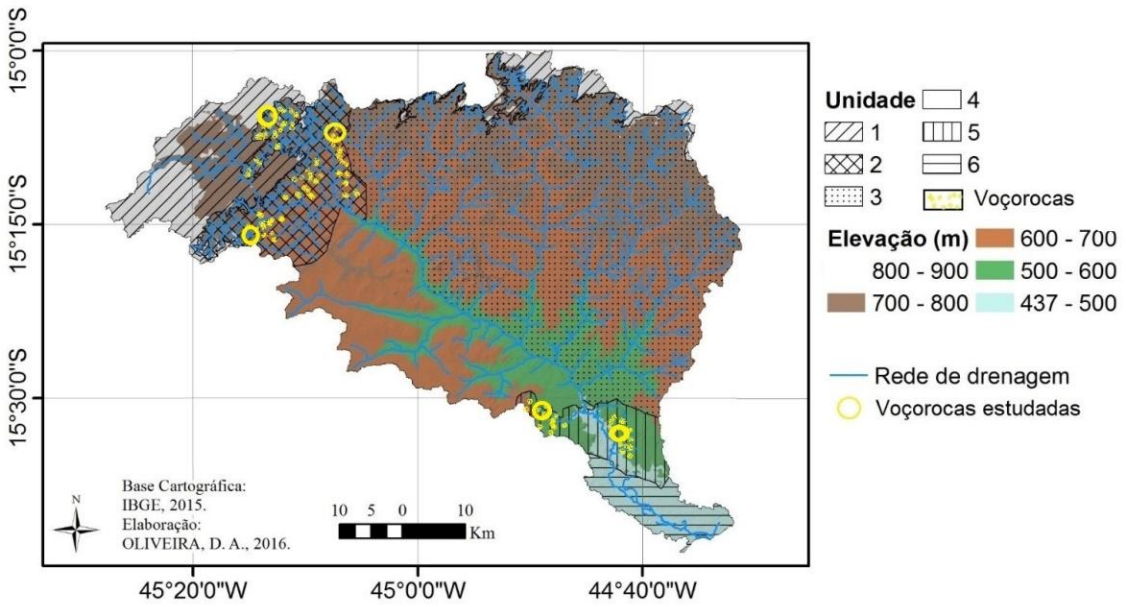


Figura 9 - Mapa dos Domínios Geomorfológicos da bacia do rio Pandeiros – MG. Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2017) e Augustin et al. (2020a; 2020b).

Na terceira, e última grande ruptura de relevo da bacia (Fig. 8B), as voçorocas voltam a aparecer. Assim como na segunda ruptura há uma assimetria da bacia, na qual a margem direita do rio possui vertentes com maior inclinação e maior rugosidade. Devido a esta assimetria, optou-se pelo o agrupamento das voçorocas em duas. Na cabeceira do rio Mandim (Zona IV), afluente da margem direita do rio Pandeiros, e próximo ao povoado de Campos (Zona V).

Resultados das análises estatísticas

Tratamento estatístico

Para entender como se comportam as vertentes estudadas com relação aos dados físicos e químicos das geocoberturas, e investigando possíveis semelhanças entre estas, foram empregadas as seguintes análises estatísticas multivariadas, que são de grande ajuda na correlação e interpretação destes elementos (Moore, 1993): Correlação Pearson e Análise das Componentes Principais (ACP).

Os dados laboratoriais de propriedades físicas e químicas das geocoberturas são dados quantitativos, com menos de 1% de *outliers* e de distribuição Gausiana. Os 17 parâmetros analisados, textura (areia grossa, areia fina, silte e argila), pH (em água, em KCl e Δ pH), condutividade elétrica (C.E), matéria orgânica (M.O) e carbono orgânico (C.O), macronutrientes (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} e Na^{+}), e os óxidos

(Fe_2O_3, TiO_2 e Al_2O_3), que tiveram seus valores convertidos para a mesma escala através da função matemática logaritmo na base 10, possibilitando a comparação entre estes diferentes testes.

Teste de Correlação de Pearson

Os testes de correlação de Pearson e o P-teste foram realizados com as amostras de cada uma das 5 vertentes analisadas, Cabeceirinhas com 16 amostras, Campos com 22 amostras, Igrejinha com 16 amostras, Mandim com 12 amostras e Várzea com 15 amostras. Através do programa estatístico Prism 8, com os resultados apresentados no apêndice D

Os valores obtidos pelo teste de correlação de Pearson que obtiveram correlação maior ou igual a 30% em cada vertente analisada, que possuíssem nível de significância pelo P-Valor menor ou igual a 5% serão discutidos neste artigo.

Análise de Componentes Principais

A ACP foi utilizada para averiguar possíveis semelhanças com relação as análises físicas e químicas das geocoberturas, textura (areia grossa, areia fina, silte e argila), pH (em água, em Kcl e Δ pH), condutividade elétrica (CE), matéria orgânica (MO) e carbono orgânico (CO), macronutrientes (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+ e Na^+), e os óxidos (Fe_2O_3, TiO_2 e Al_2O_3), entre as 5 vertentes Cabeceirinhas, Campos, Igrejinha, Mandim e Várzea estudas.

A ACP foi realizada no programa Rstudio, através das bibliotecas, “GGally”, “pca3d” e “factoextra” geraram os gráficos Biplot e Triplot.

Síntese das Análises Estatísticas e Mapeamentos das Voçorocas

Valores da Correlação de Pearson

CABECEIRINHAS	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila <0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)	C.E	C.O	Fe2O3	TiO2
Silte 0,05-0,002(mm)		-0.830								
Argila<0,002(mm			-0.704							
pH (KCL)	-0.719									
Δ pH					-0.959					
C.E		0.505	-0.644							
M.O								1.000		
Ca2+				0.548						
Fe2O3	-0.762	-0.534	0.608		0.529	0.572				
TiO2		-0.715	0.719	-0.558						
Al2O3		-0.959	0.826				-0.517		0.686	0.572

Tabela 1: Valores do teste de correlação de Pearson (r), validados pelo P-Valor da vertente de Cabeceirinhas.

CAMPOS	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)	Δ pH	Ca2+
Silte 0,05-0,002(mm)	-0.721						
Argila<0,002(mm	-0.440	-0.432	0.812				
Δ pH				-0.745	0.404		
M.O					-0.688	-0.315	
Ca2+	0.502						
Mg2+							-0.580

Tabela 2: Valores do teste de correlação de Pearson (r), validados pelo P-Valor da vertente de Campos.

IGREJINHA	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Argila <0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)	Δ pH	C.E	C.O
Argila<0,002(mm		-0.593						
pH (KCL)				0.583				
Δ pH				-0.611	-			
C.E	0.522			-0.616	-0.781			
C.O	0.638				-0.519		0.692	
M.O	0.638				-0.521		0.693	1.000
Fe2O3		-0.754	0.521	0.729		-0.526	-0.562	
TiO2				-0.586		0.622		
Al2O3			0.501		0.617			

Tabela *3* : Valores do teste de correlação de Pearson (r), validados pelo P-Valor da vertente de Igrejinha.

MANDIM	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila <0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)	Δ pH	C.E	C.O
Areia Fina 0,20-0,05(mm)	-0.793							
pH (H2O)			-0.649					
pH (KCL)		-0.755	0.811					
Δ pH		-0.758	0.852	-0.634	0.982			
C.O		-0.722						
M.O		-0.655						0.906
Ca2+							-0.691	
TiO2		0.854			-0.710	-0.692		-0.605

Tabela 4 - Valores do teste de correlação de Pearson (r), validados pelo P-Valor da vertente de Mandim

VÁRZEA	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm])	Silte 0,05-0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)	Δ pH	C.O	Ca2+	Fe2O3
Areia Grossa 2-0,2(mm)									
Silte 0,05-0,002(mm)	-0.685								
Argila<0,002(mm	-0.518	-0.790	0.616						
pH (KCL)			-0.531						
Δ pH				-0.644	0.629				
C.E									
C.O					-0.576	-0.526			
M.O					-0.576	-0.526	1.000		
Ca2+	-0.524	0.589							
Mg2+				0.539				-0.612	
K+				-					
Fe2O3				0.574					
TiO2									0.720

Tabela 5 - Valores do teste de correlação de Pearson (r), validados pelo P-Valor da vertente de Várzea.

Análise dos Componentes Principais dos dados das geocoberturas das cinco voçorocas

Análise dos Componentes Principais (ACP)

Os resultados da Análise dos Componentes Principais indicam que os dois primeiros Componentes Principais (*Principal Components* PC), são responsáveis por 48% da variância total no conjunto de dados, com PC1 responsável por 24,9% e o segundo, PC2, por 23,1% desta variação. Os dois PCs foram retidos, com o auxílio do screeplot (Fig. 10), tendo em vista que respondem por 48% da variância total do conjunto de dados, com autovalores >1 (λi > 1) (Kaiser, 1958, FRAGA, *et al.*, 2015). A variabilidade desses fatores encontra-se identificada na tabela 7 e os valores de cada PC utilizado, são apresentados nas equações I, II e III.

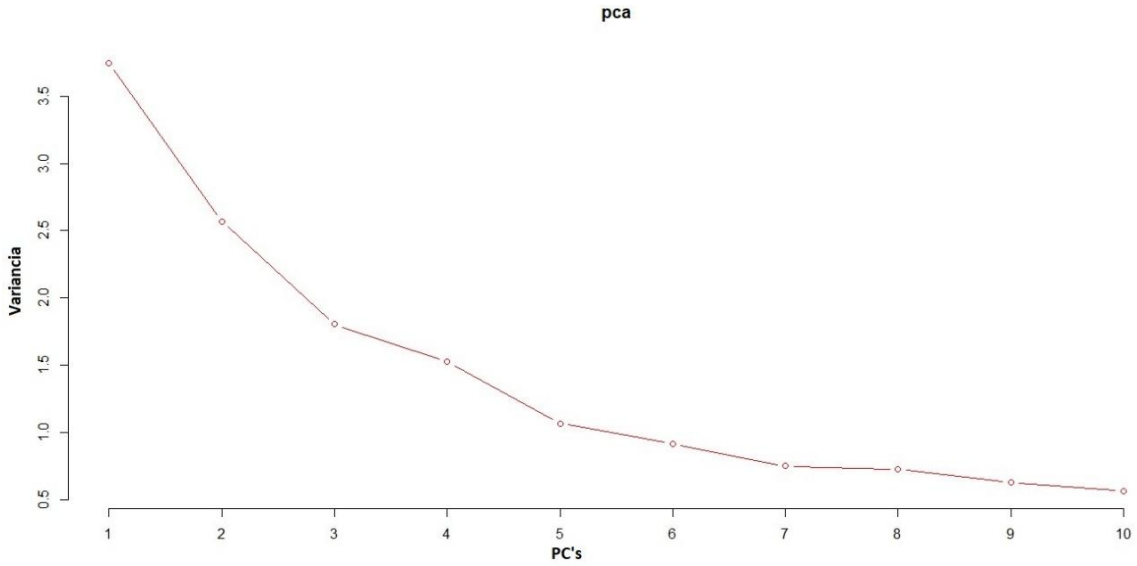


Figura 10: O screeplot dos autovalores dos componentes principais

PCA	PC 1	PC 2	PC 3
Areia Grossa 2-0,2(mm)	0.008	-0.528	-0.344
Areia Fina 0,20-0,05(mm)	-0.359	0.441	0.120
Silte 0,05-0,002(mm)	0.324	0.127	0.071
Argila<0,002(mm	0.297	0.261	0.135
pH (H2O)	0.259	0.224	-0.213
pH (KCL)	0.224	0.221	-0.260
ΔpH	-0.425	-0.182	-0.252
C.E	0.105	-0.319	0.348
C.O	0.369	-0.121	0.260
M.O	0.357	-0.110	0.261
Ca2+	0.027	0.258	0.161
Mg2+	0.254	-0.083	0.230
K+	0.006	-0.009	0.007
Na+	0.002	0.004	0.007
Fe2O3	-0.075	-0.090	-0.438
TiO2	-0.074	0.085	-0.356
Al2O3	-0.012	0.058	-0.011

Tabela 6: Coeficientes de correlações dos parâmetros de geocobertura, com os 3 primeiros autovalores da análise de componentes principais.

Foram construídos dois gráficos, Biplot e Triplot, usando os valores das PCs, obtidos pela ACP, sendo o gráfico Biplot (Fig. 11) elaborado com as duas principais componentes, e o gráfico Triplot (Fig. 12), feito a partir das três PCs, sendo que o PC 3 responde por 19,8% da variação dos dados, estão dispostos a seguir:

Nas figuras 11 e 12 estão plotadas todas as 81 amostras de geocoberturas estudadas, diferenciadas por cor, que reflete a região na qual cada amostra foi retirada, indicando a homogeneidade ou heterogeneidade dos dados resultantes das análises físicas e químicas das geocoberturas das vertentes com a presença de voçorocas na bacia do rio Pandeiros.

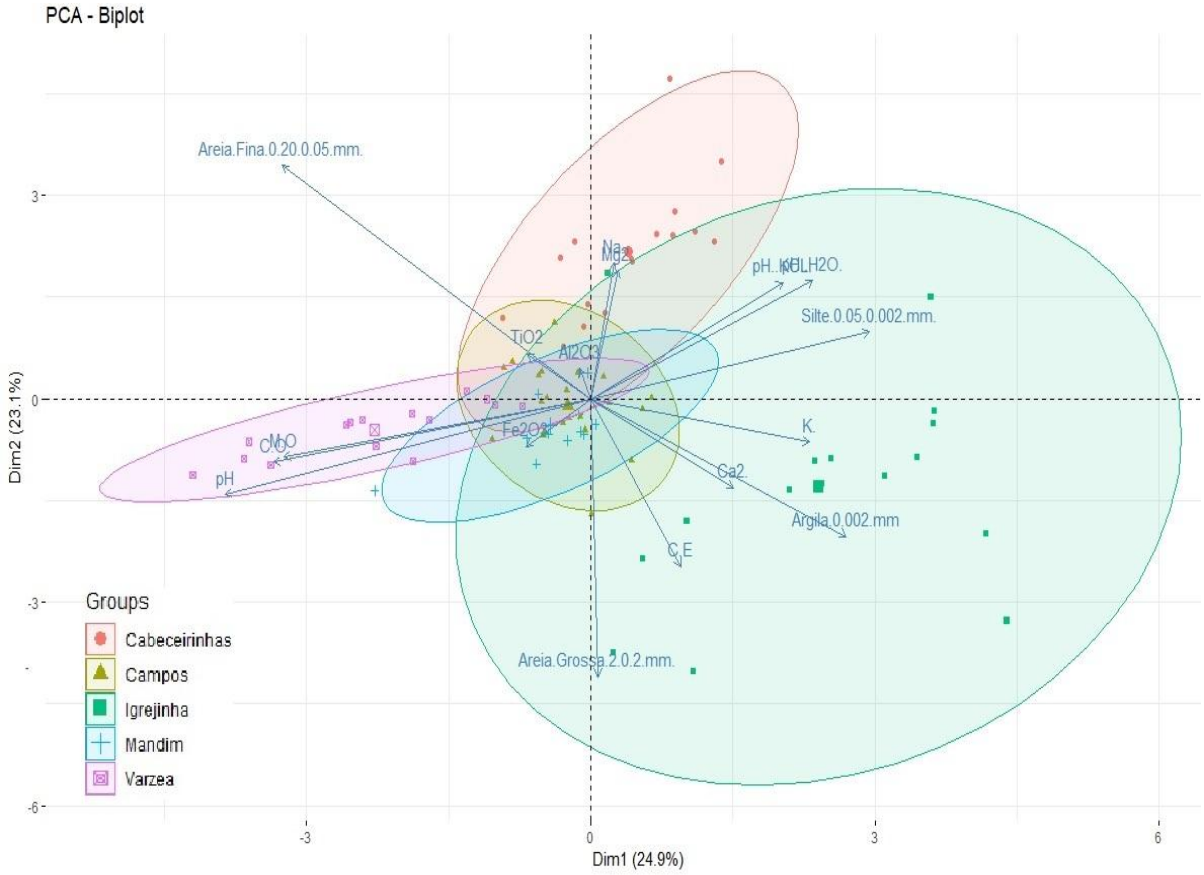


Figura 11: Biplot CP1 × CP2 sobre as variáveis físicas e químicas das geocoberturas estudas.

É possível visualizar que existe uma diferenciação entre as áreas estudadas com relação aos valores das análises laboratoriais realizadas nas geocoberturas, textura (areia grossa, areia fina, silte e argila), pH (em água, em KCl e Δ pH), condutividade elétrica (CE), matéria orgânica (MO) e carbono orgânico (CO), macronutrientes (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} e Na^{+}), e óxidos (Fe_2O_3, TiO_2 e Al_2O_3).

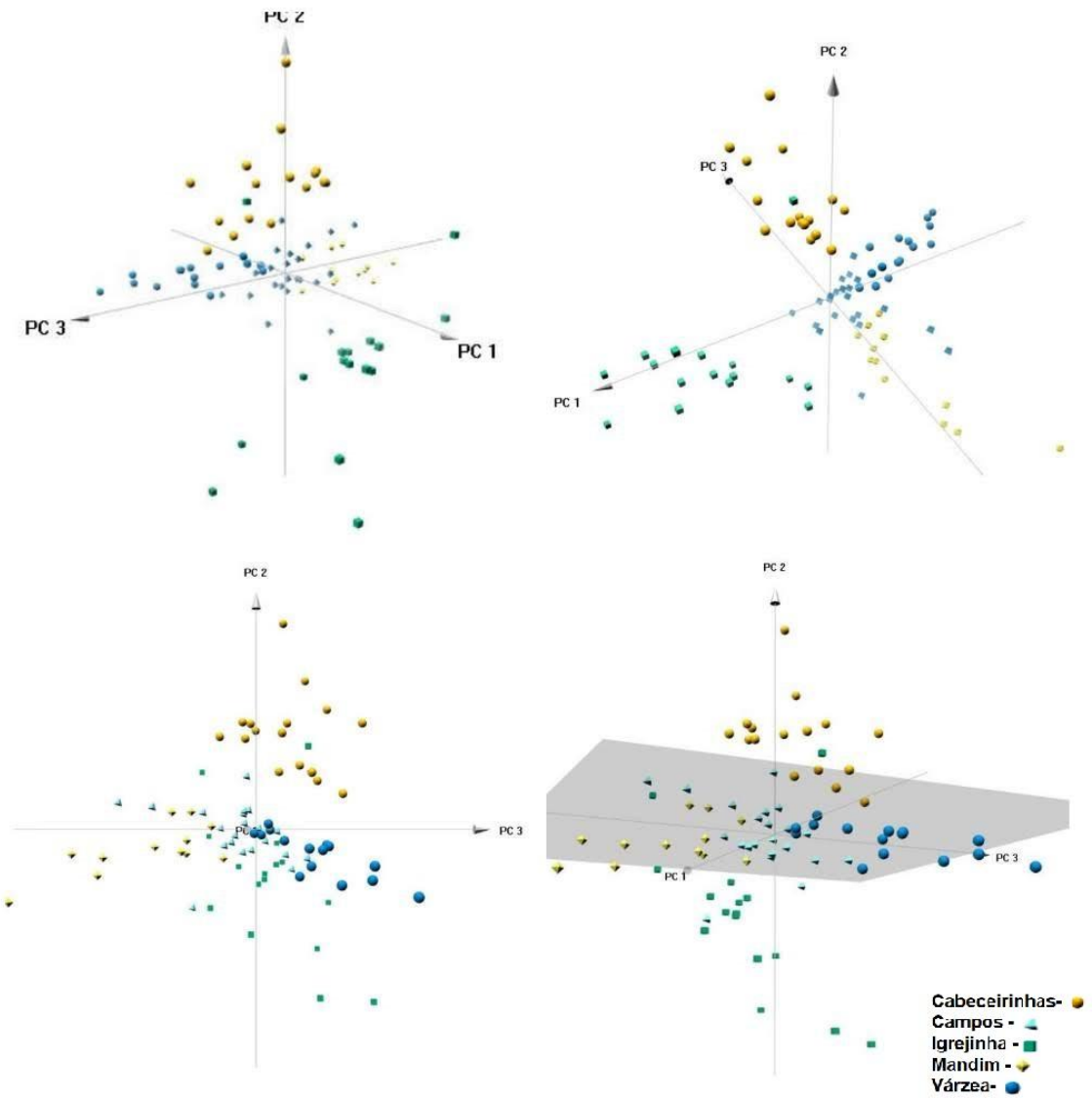


Figura 12: Triplot CP1 × CP2 x CP3 sobre as variáveis físicas e químicas das geocoberturas estudas. As cores são: Cabeceirinhas- amarelo escuro, Campos - azul claro, Igrejinha - Verde escuro, Mandim - Amarelo claro, Várzea- Azul escuro.

Conclusão

As análises estatísticas obtidas pela correlação de Pearson (r) e Análise dos Componentes Principais (PCA) indicaram que há relação entre os dados estatísticos (números e vetores), como o esperado em uma análise de geocoberturas, demonstrando que as análises estatísticas são de grande valia para um grande conjunto de amostras de geocoberturas, facilitando a correlação das amostras.

Os testes de correlação de Pearson (r), validados pelo P-Valor, realizados em 81 geocoberturas retiradas de 22 trincheiras abertas nas 5 vertentes com voçorocamento: Cabeceirinhas, Campos, Igrejinha, Mandim e Várzea, todas na bacia do rio Pandeiros-MG, demonstraram que há correlações significativas entre os atributos físicos e químicos das geocoberturas em cada uma das vertentes e diferentes correlações entre os mesmos nas distintas vertentes, indicando que elas não são semelhantes em termos de características dos seus regolitos. A análise teve como base correlação estatística dos atributos das análises laboratoriais dos parâmetros físico e químicos das geocoberturas, *i.e.* textura (areia grossa, areia fina, silte e argila), pH (em água, em Kcl e Δ pH), condutividade elétrica (C.E), matéria orgânica (M.O) e carbono orgânico (C.O), macronutrientes (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} e Na^{+}), e óxidos (Fe_2O_3, TiO_2 e Al_2O_3).

O gráfico biplot (Fig. 11) demonstra que há um agrupamento em cada região amostrada, e os vetores referentes a cada uma das variáveis e quais seriam as variáveis características das geocoberturas que têm maior peso em cada região. Na vertente/voçoroca Igrejinha são: a areia grossa, areia fina, silte, argila, C.E, K^{+}, Ca^{2+} e pH (água e KCl), em Cabeceirinhas: a areia fina, Fe_2O_3, Al_2O_3, Na^{+}, Mg^{2+} e TiO_2, em Várzea: pH (em água, em Kcl e Δ pH), M.O e C.O, Mandim: Fe_2O_3, TiO_2 e Al_2O_3, e em menor interação com areia grossa, areia fina, silte, argila, pH (em água, em KCl e Δ pH), C.E, C.O, M.O e Ca^{2+}, evidenciado por sua elipse de agrupamento dos pontos, e Campos: Fe_2O_3, TiO_2, Al_2O_3, Na^{+} e Mg^{2+}.

A heterogeneidade apresentada entre as vertentes estudadas foi mais claramente demonstrada pela análise de Componentes Principais no gráfico Triplot (Fig. 21), que mostra o agrupamento das 81 amostras analisadas em 5 regiões correspondentes às 5 vertentes com processos de voçorocamento. A análise de Componentes Principais mostrou-se bastante eficaz na diferenciação dos grupos de amostras de geocobertura, tendo sido importante para a verificação de possíveis semelhanças entre diferentes amostras. O gráfico Triplot demonstrou melhor dispersão dos dados, o que facilita a caracterização de homogeneidade ou heterogeneidade entre as diferentes amostras de geocoberturas. A ACP se mostra bastante útil para a análise de um grande volume de amostras de geocoberturas com vários parâmetros de análise, conseguindo realizar um

agrupamento dos dados, ressaltando a diferenciação ou agrupamento das amostras com relação aos seus parâmetros analisados.

SÍNTESE DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE DETALHE DAS VOÇOROCAS

VOÇOROCAS ATIVAS MAPEADAS: 215

45% associadas à presença de estradas vicinais, caminhos e trilhas;

60% associadas ao desmatamento, e ao uso e ocupação da terra.

Apresentam localização, características morfológicas, de composição físico e químicas das geocoberturas (regolitos), dinâmicas hidrogeomorfológicas diferenciadas , o que leva a crer que necessitem de técnicas de contenção específicas e de monitoramento durante e após a implantação destas técnicas, uma vez que todas as voçorocas têm alto potencial de carrear sedimentos e estão interligadas aos cursos de água dos sistema de drenagem da bacia do rio Pandeiros.

4.1.5 Resultados do cálculo de perda de sedimentos das voçorocas, etapas 1 e 2, com o uso de drone.

Essas etapas foram realizadas pelo ***GeotecLab, CPMTC/IGC/UFMG*** *com auxílio do drone adquirido pelo Projeto.*

Etapa 1

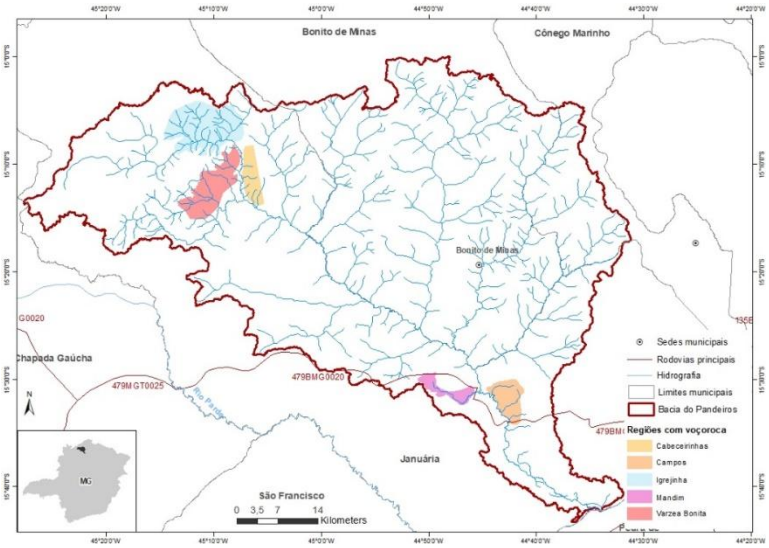


Figura 1: Localização das 5 voçorocas mapeadas e analisadas da Etapa 1.

A etapa dos mapeamentos e cálculos de perdas volumétricas envolveu um número maior (9) de voçorocas, incluindo as 5 inicialmente mapeadas e estudadas em detalhe.

As voçorocas para o cálculo de perda volumétrica

Voçoroca 1

Voçoroca 2

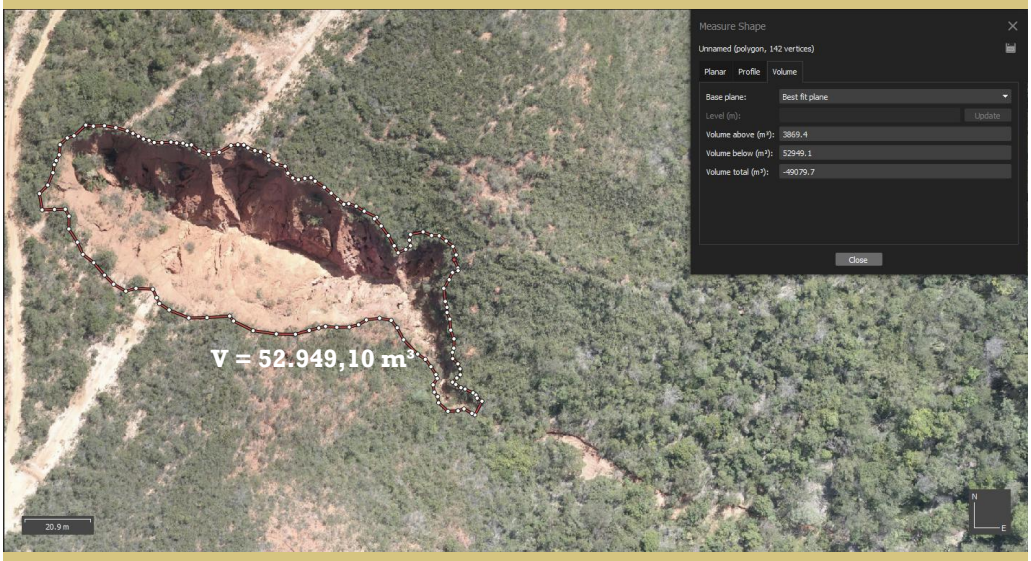
Voçoroca 3

Voçoroca 4

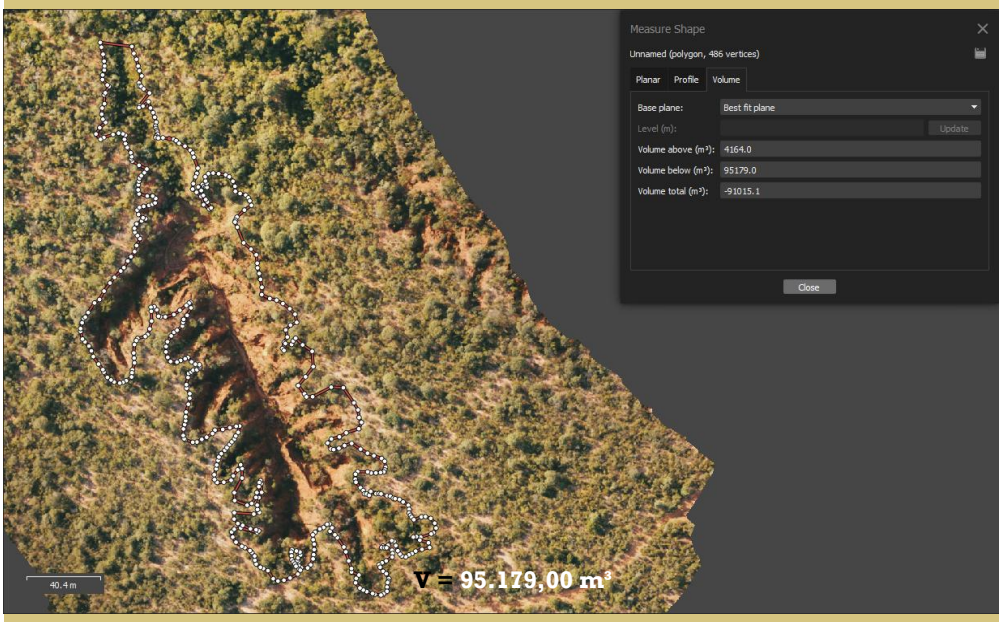
Voçoroca 5

Voçoroca 6

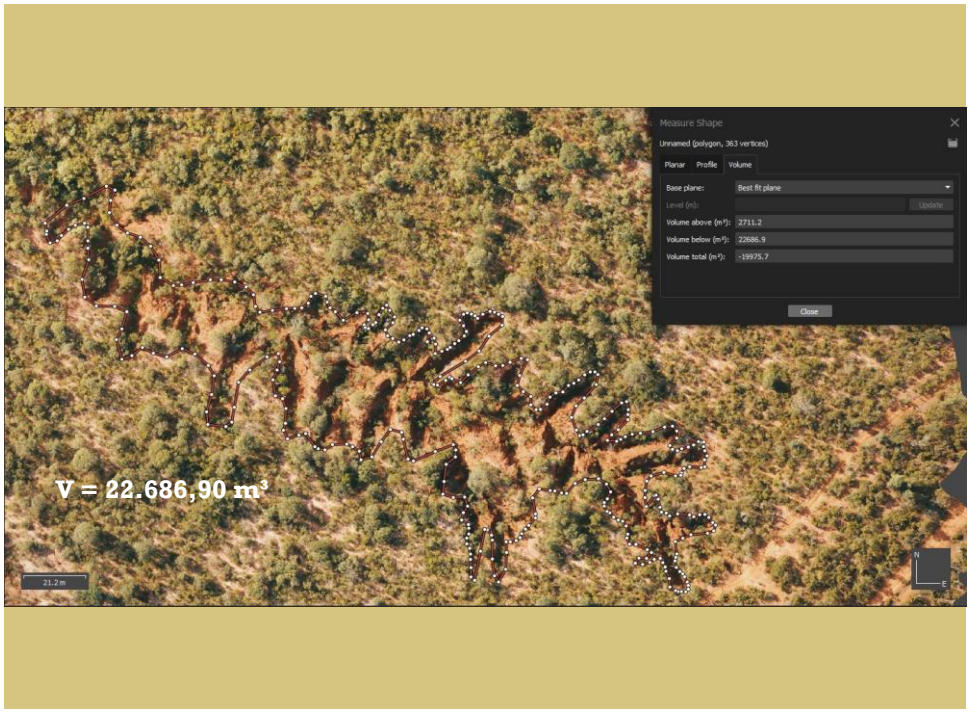
Voçoroca 7



Voçoroca 8



Voçoroca 9



Cálculo de Perda de Sedimentos das Voçorocas, Etapa 1:

Voçoroca 1 = 95.595,90 m³

Voçoroca 2 = 175.340,30 m³

Voçoroca 3 = 33.105,80 m³

Voçoroca 4 = 279.090,40 m³

Voçoroca 5 = 225.047,60 m³

Voçoroca 6 = 14.756,80 m³

Voçoroca 7 = 52.949,10 m³

Voçoroca 8 = 95.179,00 m³

Voçoroca 9 = 22.686,90 m³

Total de volume retirado das nove voçorocas= 992.751,80 m^3

Etapa 2

As áreas amostradas na Etapa 2 estão identificadas no mapa da abaixo (Fig. 8):

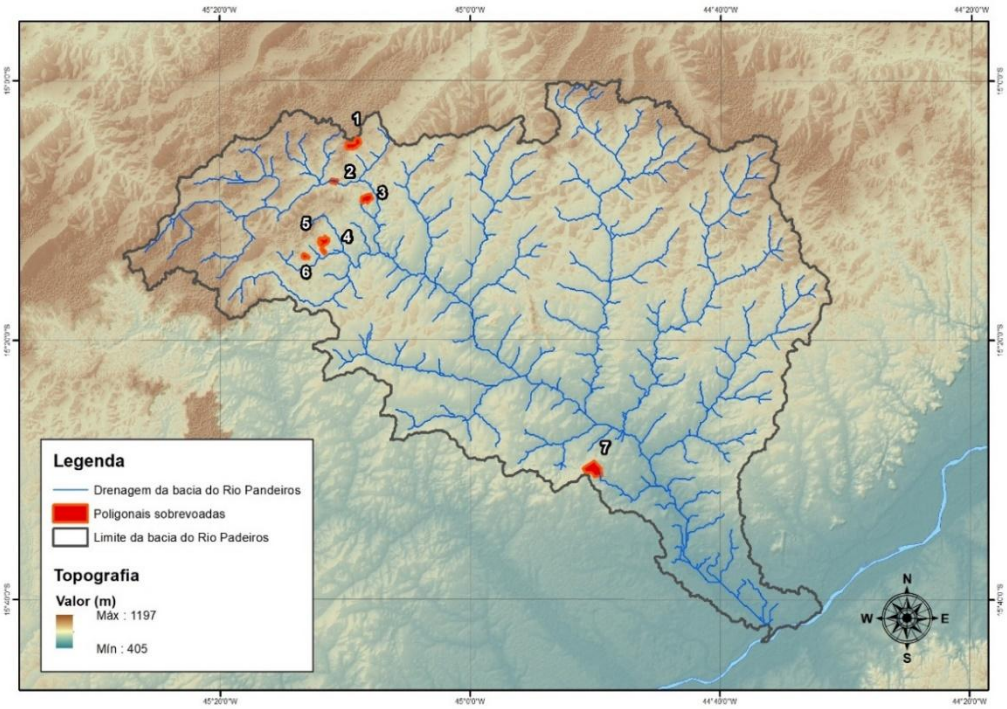
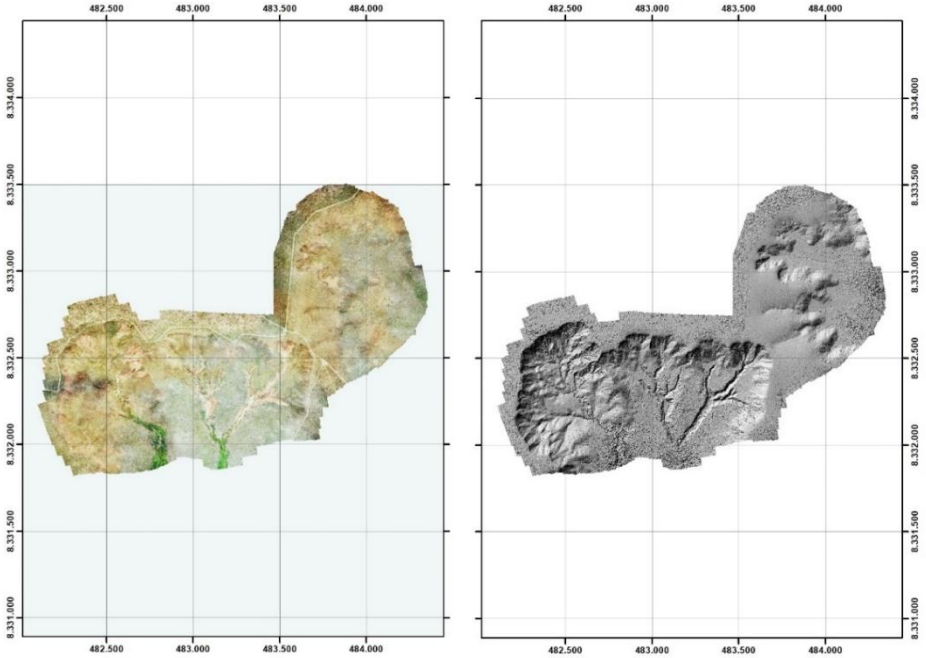


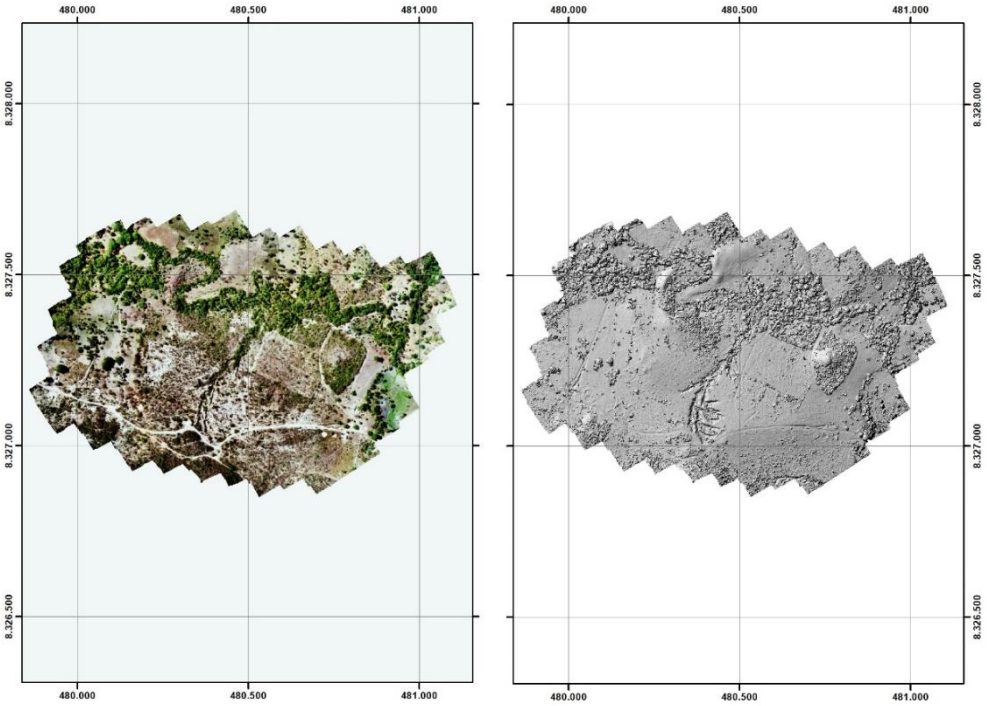
Figura 8: Mapa de localização das poligonais de voo na bacia do rio Pandeiros-MG

As missões de voo geraram um total de 4.659 fotos, o que totalizou 34,3 gigabytes de volume em disco. As informações foram processadas no *software* Agisoft Metashape Pro, versão 1.6, e neste foram geradas as ortofotos com resolução espacial de 4 centímetros/pixel e modelo digital de elevação com 18 centímetros/pixel.

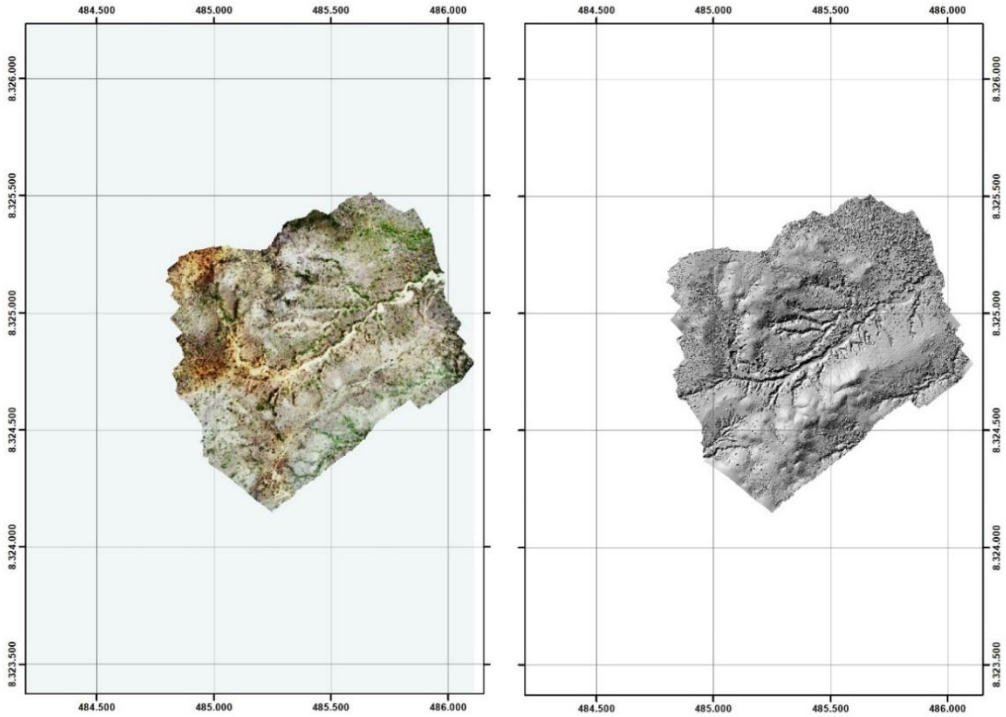
Área 1: 197,98 hectares sobrevoados e 13,06 hectares de erosão.



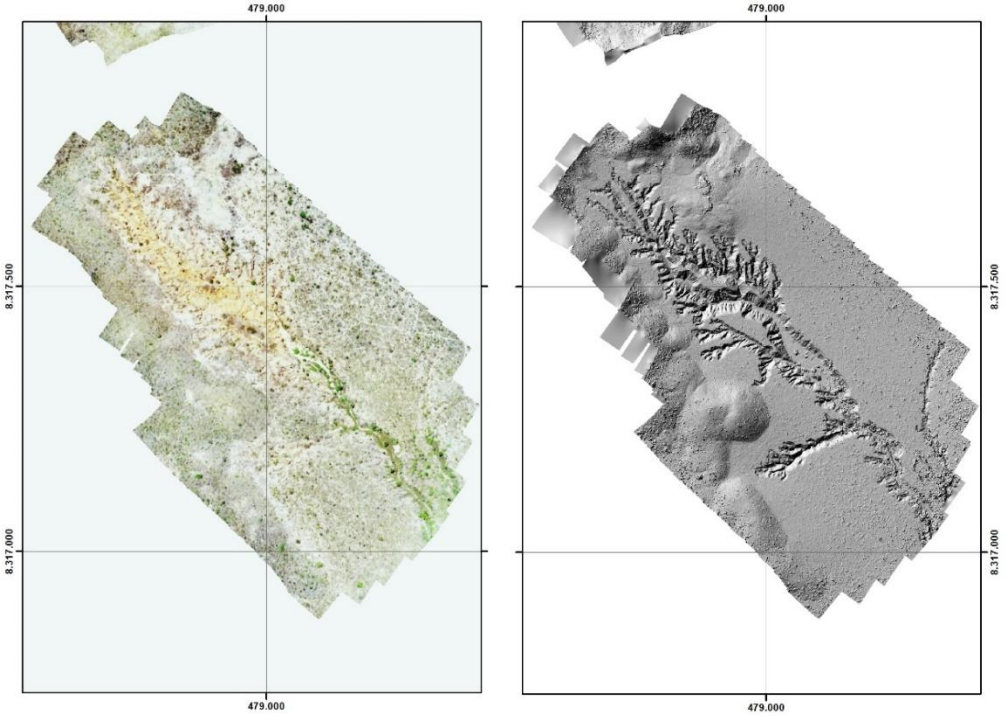
Área 2 : 58,5hectares sobrevoados e 1,5 hectares de erosão



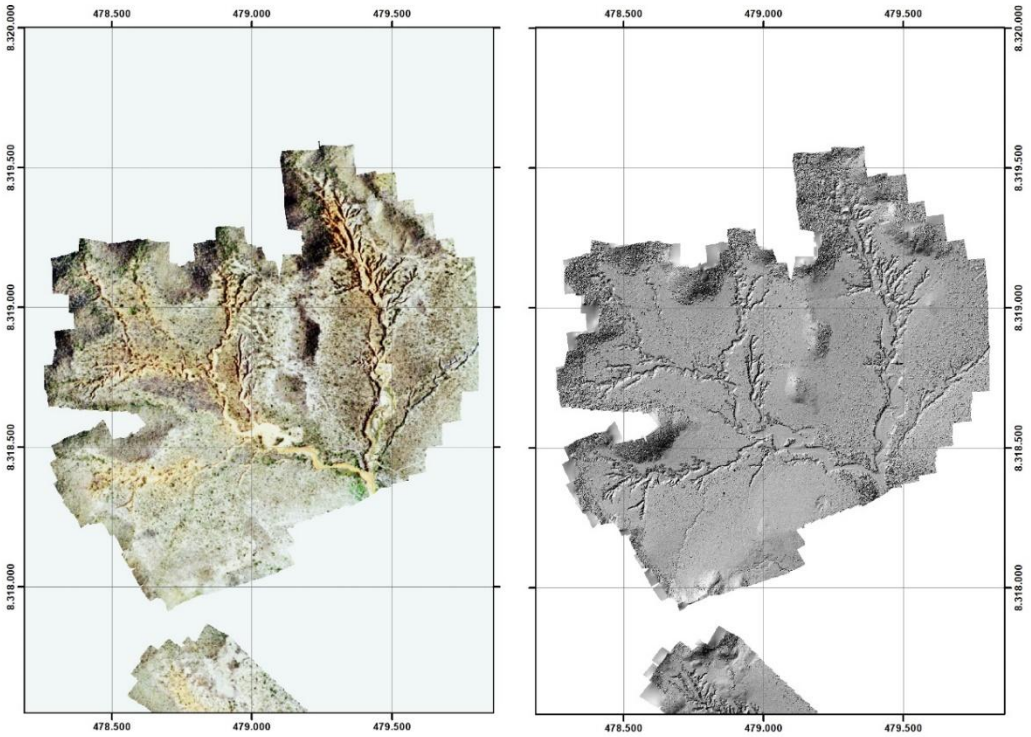
Área 3: 93,56 hectares sobrevoados e 21,98 hectares de erosão



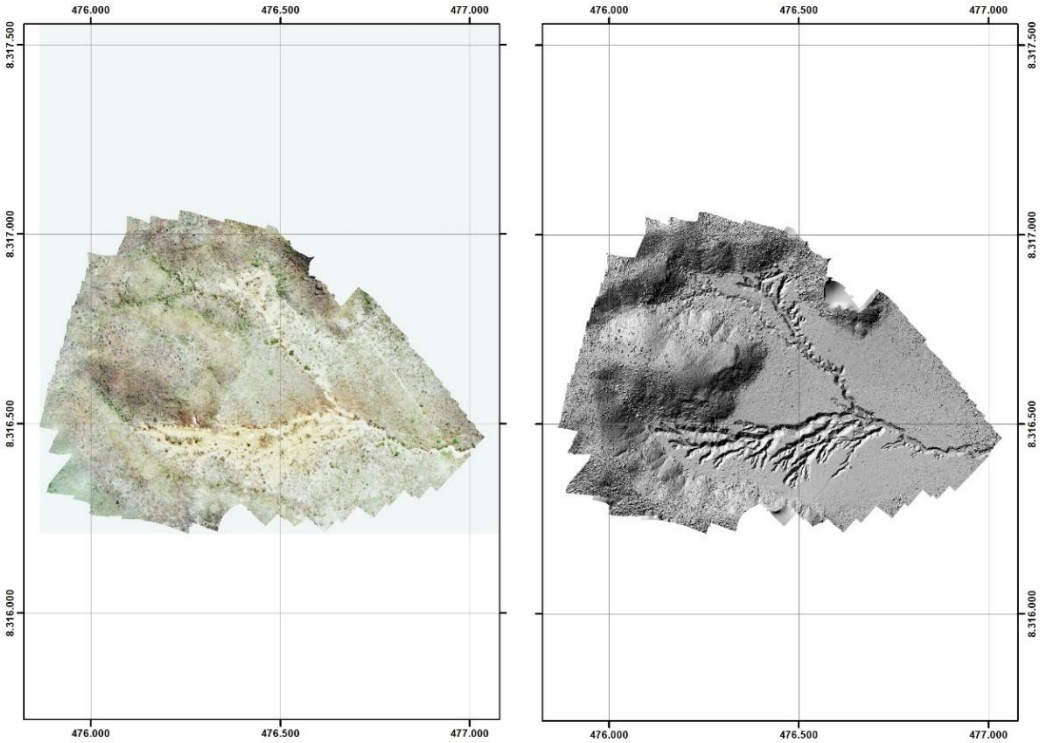
Área 4: 36,38 hectares sobrevoados e 6,9 hectares de erosão.



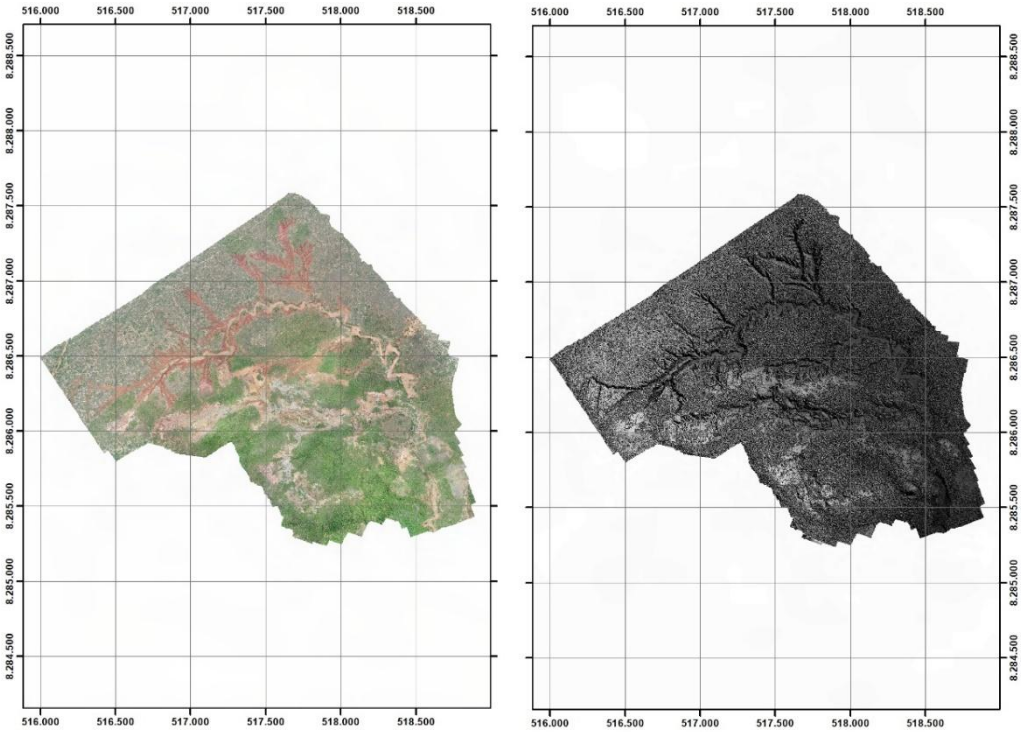
Área 5: 197,98 hectares sobrevoados e 13,06 hectares de erosão



Área 6: 58,18 hectares sobrevoados e 8,22 hectares de erosões



Área 7: 365,08 hectares sobrevoados e 72,98 hectares de erosão



Na Etapa 2, do total de 949,4858118 hectares mapeados, 114,742198 hectares estão ocupados por voçorocas, como mostram os dados consolidados abaixo:

Área 1 = 13,06 hectares de erosão

Área 2 = 21,98 hectares de erosão

Área 4 = 6,9 hectares de erosão

Área 5 = 13,06 hectares de erosão

Área 6 = 8,22 hectares de erosões

Área 7 = 72,98 hectares de erosão

Total erodido da área ocupada por voçorocas = 114.75 ha (ou 147.000 m^2), o que corresponde à aproximadamente 12% da área mapeada (12,08%).

Elas não são, contudo, atingidas de maneira homogênea por este tipo de erosão. Há áreas com uma superfície proporcionalmente menor do que outras.

A área menos atingida é a 2, com apenas 2,5% da sua área em hectares, com voçorocas. A mais atingida é a área 3 (Fig. 8), com quase 23,49% da sua área ocupada por voçorocas.

4.1.6 4.1.6 RELATÓRIO DE ANÁLISES GEOFÍSICAS

Introdução

Para o desenvolvimento das atividades de geofísica foram realizadas reuniões com a equipe de geomorfologia com a finalidade de se determinar os alvos específicos para a aquisição de dados. Esses alvos foram baseados nas informações que se deseja obter para o entendimento da dinâmica do rio na área da bacia. Assim, projetou-se a aquisição de dados de Eletrorresistividade e de GPR ao longo de transectos do rio, em pontos escolhidos. Os perfis foram importantes, principalmente, na tese do discente Diego Alves de Oliveira, do Programa de Pós-Graduação em Geografia, IGC-UFMG.

As configurações das aquisições dos dados geofísicos foram baseadas no tipo de informação pretendida, no nível de detalhamento e na profundidade de investigação desejada. Entretanto salienta-se que devido às condições locais e de logística (a dificuldade de disponibilidade de veículo adequado para os trabalhos de campo) muito do trabalho de aquisição dos dados foram prejudicados ou tiveram que ser reduzidos. Mais além, a dificuldade de se construir um fonte sísmica adequada impediu a utilização plena da técnica de sísmica de refração.

Descrição das Metodologias Utilizadas

Eletrorresistividade

Na obtenção dos perfis de caminhamento elétrico, ou pseudo-profundidade, foi utilizado o arranjo dipolo-dipolo, em função de suas características operacionais e dos resultados que proporciona (minimizar o tempo de aquisição de dados e, consequentemente o custo), é um arranjo que utiliza quatro eletrodos, sendo dois de corrente e dois de potencial, que permite desenvolver a aquisição dos dados geoelétricos de forma contínua. Obtém-se desse modo informações de vários níveis de profundidade, para diversas posições em superfície.

No arranjo Dipolo-Dipolo os eletrodos são dispostos no solo sendo que inicialmente os eletrodos foram colocados numa distância igual “a” entre si que variou de 5 a 7,5m, de perfil para perfil, assim o primeiro eletrodo de corrente A e o segundo B estão espaçados de “a” metros. Logo após está o eletrodo de potencial M a 5 metros do eletrodo B, e em seguida o eletrodo de potencial N, a “a” metros do eletrodo M. Eles são posicionados em linha. A medida é realizada

tendo como de observação o ponto médio entre os eletrodos A e N, sendo que a profundidade teórica atingida é a metade da distância AN. Para a realização do caminhamento os eletrodos são deslocados de uma posição ao longo do perfil, desse modo o ponto de observação terá também o deslocamento lateral de “a” metros. Após as leituras do primeiro nível para se realizar as medidas do nível inferior aumenta-se a distância entre os pares de eletrodos AB e MN duas vezes a distância inicial entre eles. Se antes a distância antes foi de “a” metros, para o segundo nível passa a ser de “2a” metros, e para o 3º nível de “3a” metros e assim por diante, até o nível desejado. Porém as distâncias entre os eletrodos de corrente A e B, e entre os eletrodos de potencial MN, continuam a mesma, isto é, “a” metros. Assim os pares são deslocados ao longo do perfil, sendo mudado de uma posição lateralmente. Os resultados de campo obtidos foram processados numa planilha eletrônica, utilizando a equação apropriada, para se calcular a resistividade aparente. Após esta etapa foi aplicada a inversão dos dados, o que significa encontrar um modelo da subsuperfície (em termos de resistividade) que apresentasse a mesma resposta, ou seja, a mesma seção obtida no campo. Esses modelos de inversão a serem utilizados em programa adequado (Res2Dinv) foram plotados em forma de seções. As seções geradas são do tipo “*pseudo-depth section*”, sendo então interpretados em função das variações das resistividades apresentadas, correlacionando-as com características geomorfo-geológicas da área.

Os dados foram obtidos com o resistivímetro da ABEM modelo SAS 1000, com multicabo, utilizando-se eletrodos de aço inoxidável e conectores com garra jacaré. Os eletrodos após serem fixados no terreno e conectados ao cabo foram regados com uma solução salina envolvendo água e sal de cozinha, para diminuir a resistência de acoplamento elétrico entre o terreno e o eletrodo.

Método GPR

O método GPR é fundamentado na propagação de ondas eletromagnéticas de altas frequências, na faixa de 10 MHz a 2,5 GHz. Quando um pulso eletromagnético (PEM) é emitido e atinge uma interface geológica que separa propriedades eletromagnéticas diferentes, uma parcela da onda eletromagnética sofre reflexão e difração e a outra parcela continua propagando-se até ser completamente absorvida pelo meio. Parte da onda que foi refletida e difratada,

em direção à superfície, é captada por antena receptora. A antena receptora detecta os sinais e os envia para uma unidade de controle, onde são amplificados e armazenados em uma unidade, gerando uma sequência de traços ou “scans” mostrados em registro como função do tempo de propagação. Em síntese o GPR é formado por uma caixa de controle ou gerador de pulso eletromagnético, uma antena de emissão (Tx), uma antena de recepção (Rx) e uma unidade de controle para armazenamento de dados da sondagem (datalogger).

Utilizou-se este método nas zonas de “interesse” geomorfológico. Os perfis foram obtidos ao longo da superfície do terreno. Para a correção topográfica foi obtida a topografia de cada perfil. Os perfis foram obtidos no modo *commom-offset*, com aquisição a cada 0,05m. A maior parte dos perfis foi realizada com a ajuda do equipamento do *Ground Penetrating Radar* (GPR). As antenas utilizadas foram de 50 e 100 MHz, não blindadas. O *Hip Chain* que controla a coleta dos dados de acordo com intervalos pré-definidos de distância no caso da aquisição no rio, assim a posição de cada traço ao longo do perfil é conhecida, facilitando o processamento dos dados e o posicionamento de alvos. O processamento dos dados envolveu as manipulações usuais para propiciar melhor interpretação dos radargramas:

1. *Decliping*
2. Filtragem DC (Dewow)
3. Marcação do “tempo zero”
4. Remoção de ruído (30% dos traços)
5. Filtragem - remoção de background.
6. Ganho (nos que foram necessários)
7. Conversão de tempo para profundidade
8. Inserção da Topografia

Os dados foram interpretados tendo como parâmetro a forma e as características das reflexões, suas continuidades laterais, e suas formas.

Resultados e Localização dos Perfis Obtidos

Na área do Pantanal foram realizados vários perfis de GPR. O transecto 1, figura 1, possui aproximadamente 2.600m. O perfil foi obtido com antena de 100MHz, e espaçamento de entre pontos de amostragem de 0,10.

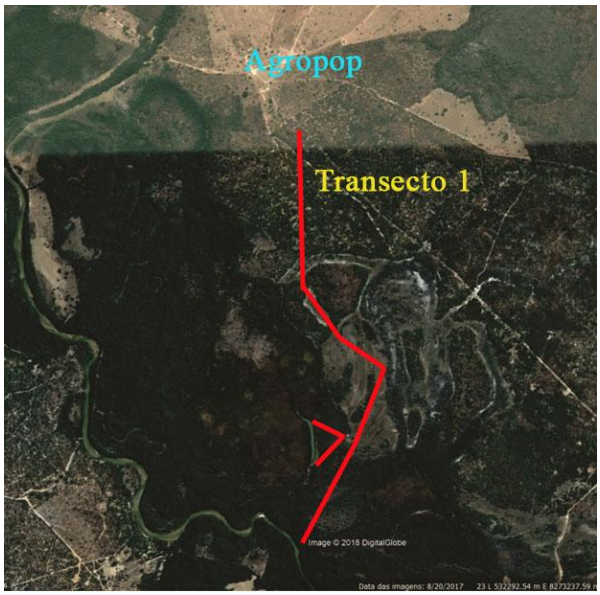


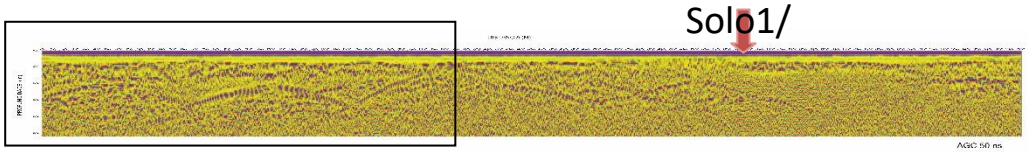
Figura 1 - Localização do perfis de GPR na área da Agropop – Transecto 1 e perfis nas margens da lagoa seca. Foto da aquisição de dados com o GPR.

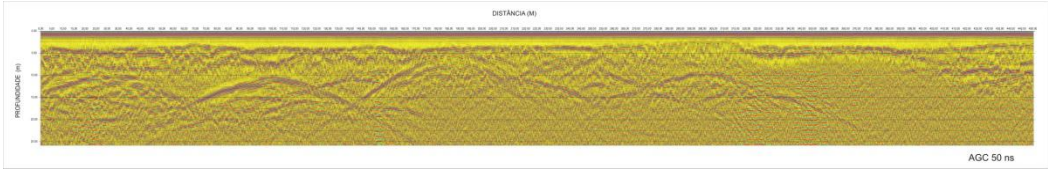
Os perfis desta área mostraram refletores que indicaram o contato entre fases deposicionais do rio na área, o que pode ser observado nas figuras dos perfis abaixo.

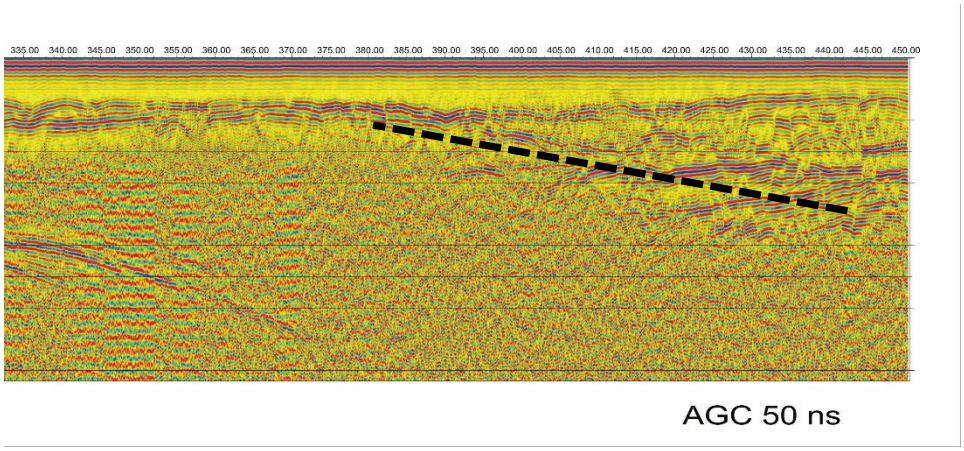
Oberva-se também a presença de paleo-canais devido à mudança de direção do rio – meandramento. Outro aspecto observado é o contato entre a deposição recente de sedimentos na lagoa seca e a deposição anterior do rio.

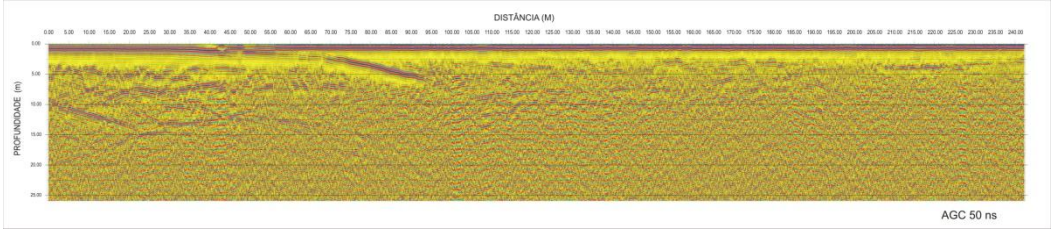
Refeito

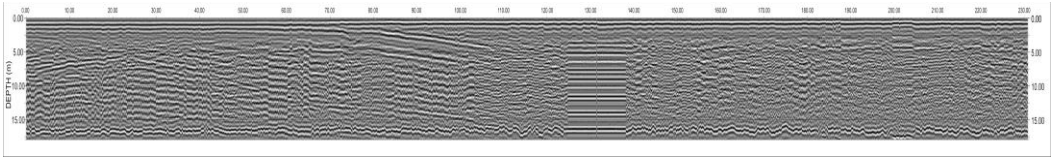
Solo1/











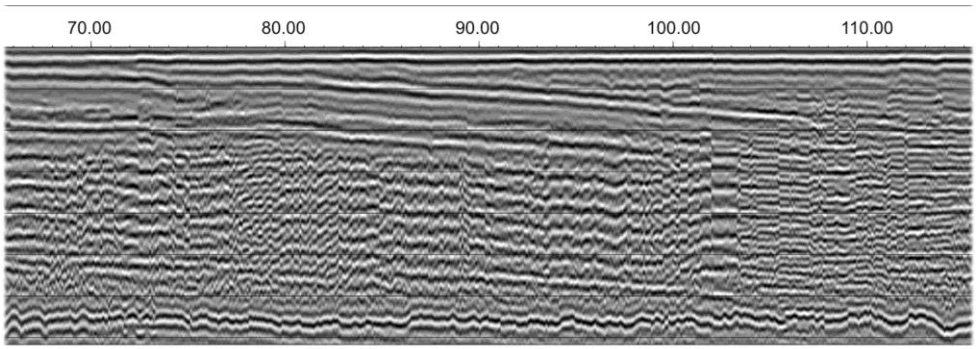


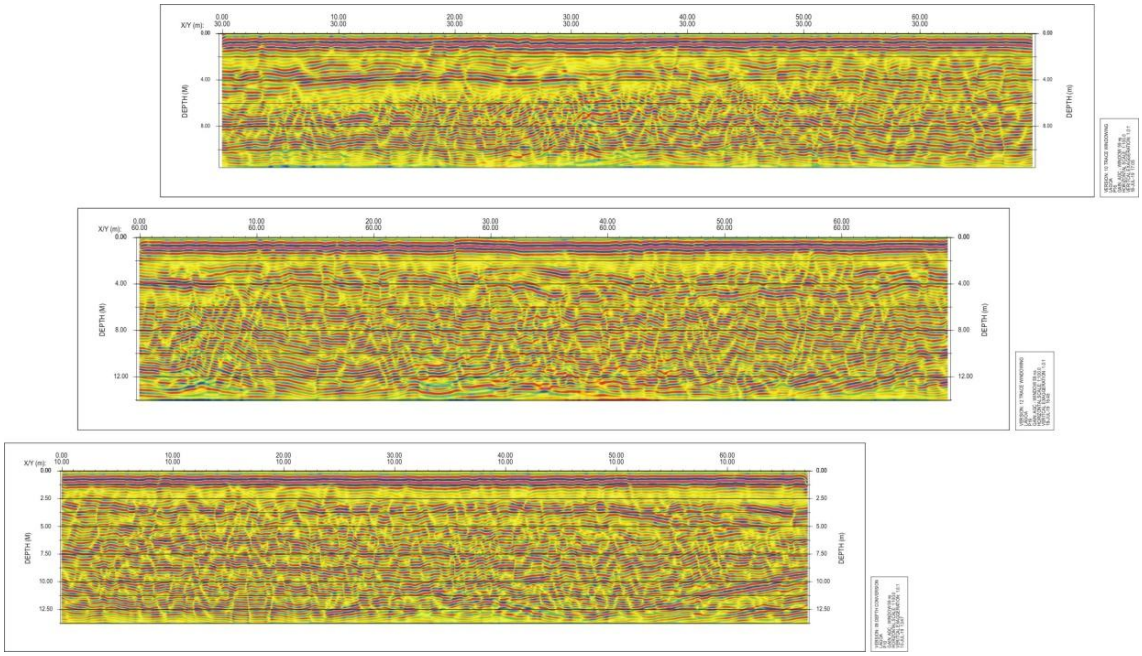
Figura 2: Sequência parcial de perfis obtidos ao longo do transecto 1. Perfis nas proximidades da lagoa.

Devido aos resultados anteriores, observando variações de deposição, procurou-se reconstituir nas proximidades da lagoa uma imagem em 3D de porção da área. Figura 3.

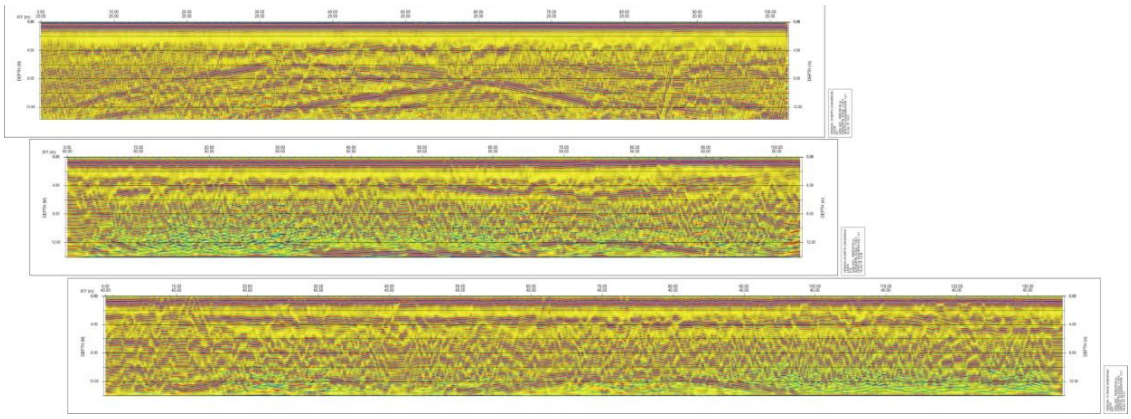
Figura 3: Localização dos perfis 3D perto da lagoa. Transecto 1

Os perfis obtidos mostram nitidamente a presença de descontinuidades na subsuperfície indicando a mudança de orientação na deposição do material proveniente do rio, mostrando o processo de meandramento. Com o resultado da tradagem foram observadas as características físicas do material e a forma de sua deposição lateral com base nas reflexões presentes nos radargramas foi interpretada.

Perfis 1, 6 e 3



Perfis 4, 5 e 2



No transecto 2, localizado na fazenda de Sr. Pedro (Figura 4), também foram observadas diversas fases de sedimentação do material, com presença de paleo-canais. O perfil de GPR têm aproximadamente 600m de extensão.

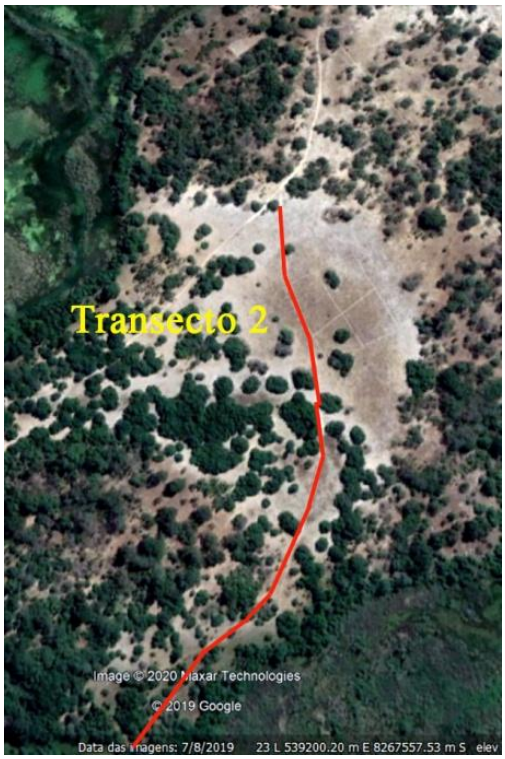


Figura 4: Localização dos perfis no transecto 2. E do levantamento 3D.

Os radargramas obtidos ao longo do transecto 2 (Figura 5) mostram refletores que são interpretados, com os dados de furo de trado, como contato entre materiais com características diferentes. Eles evidenciam a variação do processo de deposição do rio ao longo do tempo e do espaço.

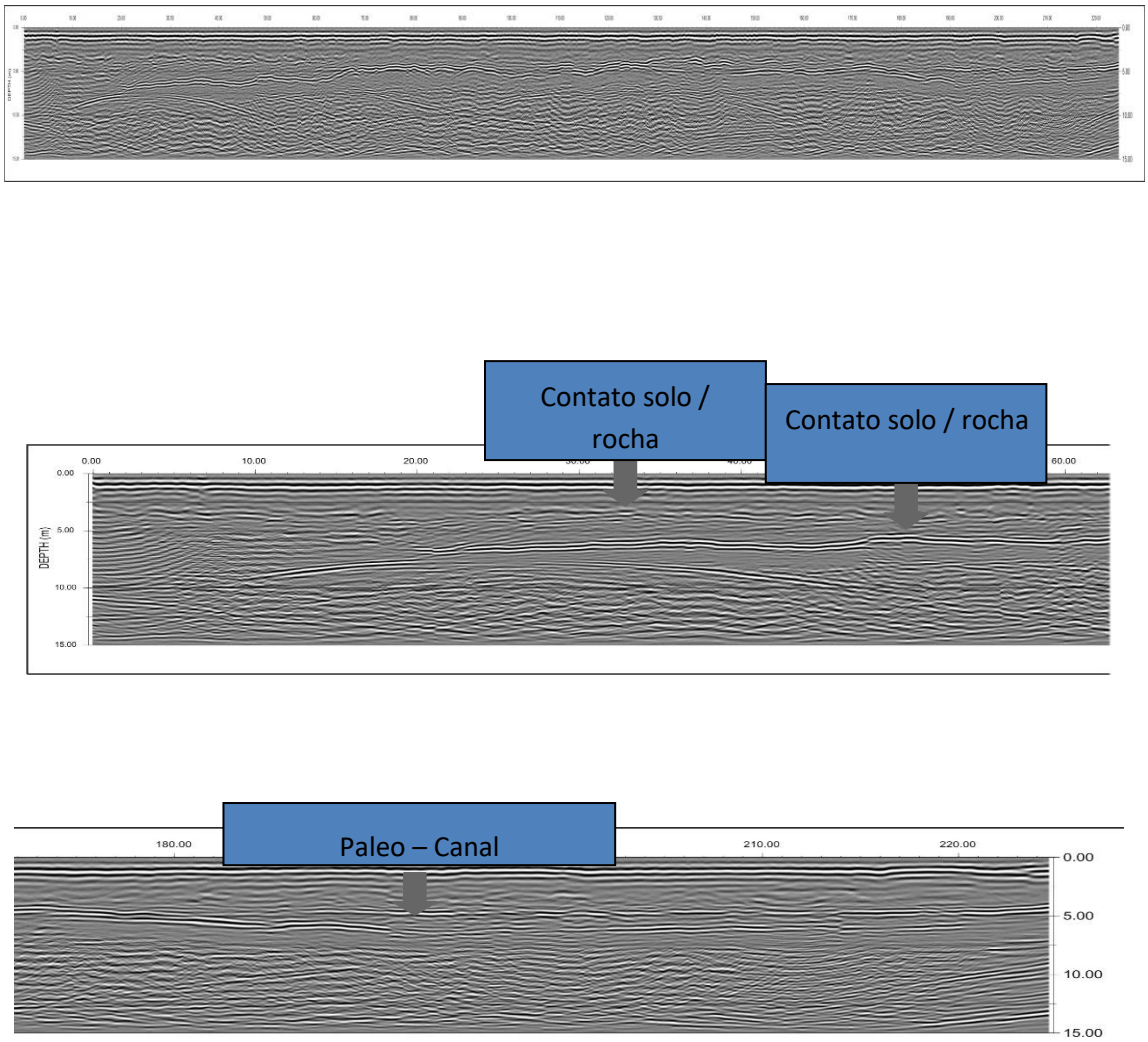


Figura 5: Radargramas obtidos ao longo do transecto 2.

Os perfis obtidos na área menor para o modelo 3D (figura 6) mostram nitidamente o processo de sedimentação ao longo da passagem do rio no local. Observam-se a presença de refletores bem marcados, A, B e C que marcam as fases de mudança no material depositado. Além de observar nitidamente paleo-canais mostrando o processo de corte e sedimentação no curso do rio. Com essas informações foi possível entender a dinâmica do rio no local.

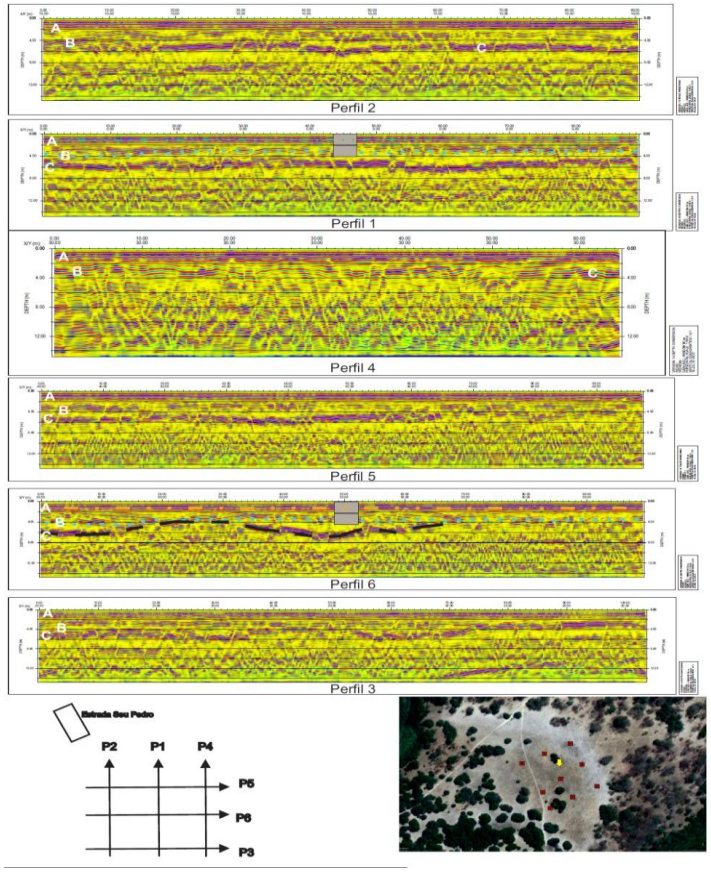


Figura 6: Radargramas obtidos para o modelo 3D de área no transecto 2.

Os perfis do transecto 3 foram obtidos com as antenas de 100 MHz, sua localização está mostrada na figura 7, como também a localização do perfil de eletrorresistitividade. O perfil de GPR foi adquirido ao longo de 1.600m.

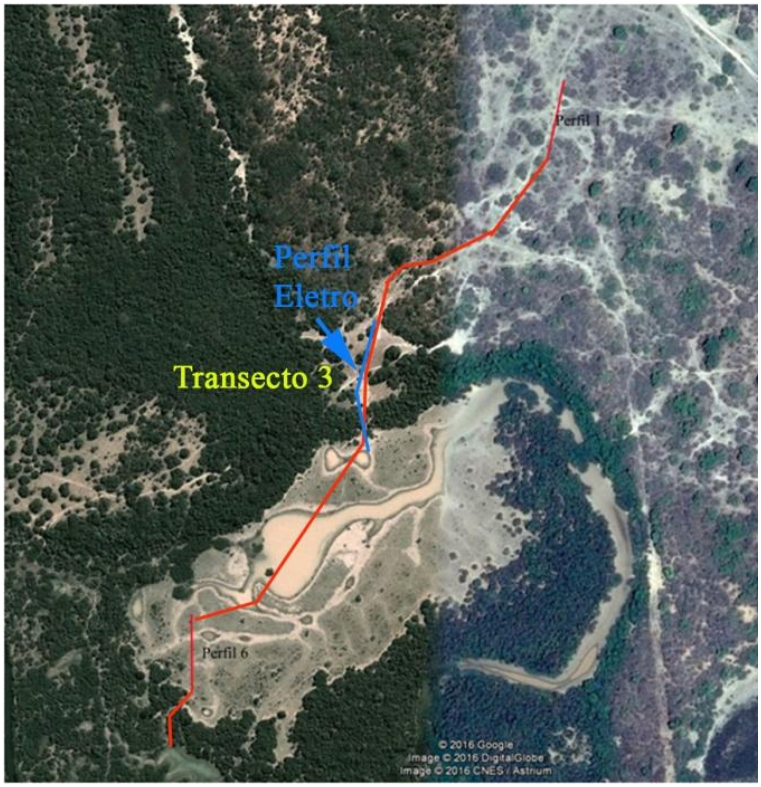


Figura 7: Localização do transecto 3. Perfis de GPR e eletro foram obtidos na área.

Nos radargramas mostrados na figura 8 podem-se observar refletores bem marcados e contínuos, os quais foram associados com mudança na constituição do material depositado na área. Também é visível a presença de paleo-canal ao longo do perfil. Os refletores mais superficiais estão relacionados com variação de material arenoso depositado na área. Algumas pequenas descontinuidades nos refletores indicando possível presença de fraturas sub-verticais a verticais.

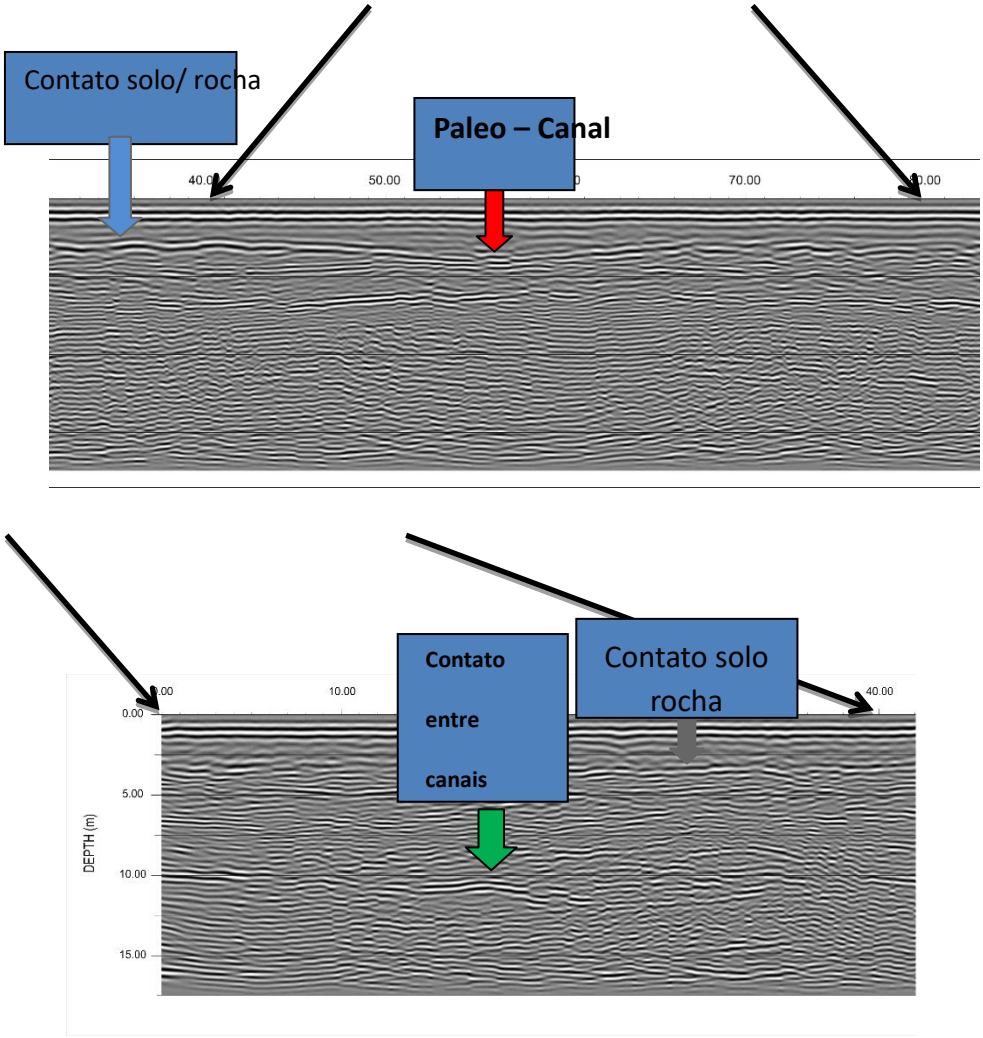


Figura 8: Radargamas mostrando o contato entre solo/rocha e rocha/rocha

Nesta área também foi realizado um perfil elétrico, caminhamento elétrico (Figura 9) foi obtido na parte superior dos terraços chegando até o lago na parte inundada. Nele é possível se observar variações na resistividade das rochas, e também a presença de descontinuidades verticalizadas,–as quais são também visíveis nos radargramas em alguns pontos.

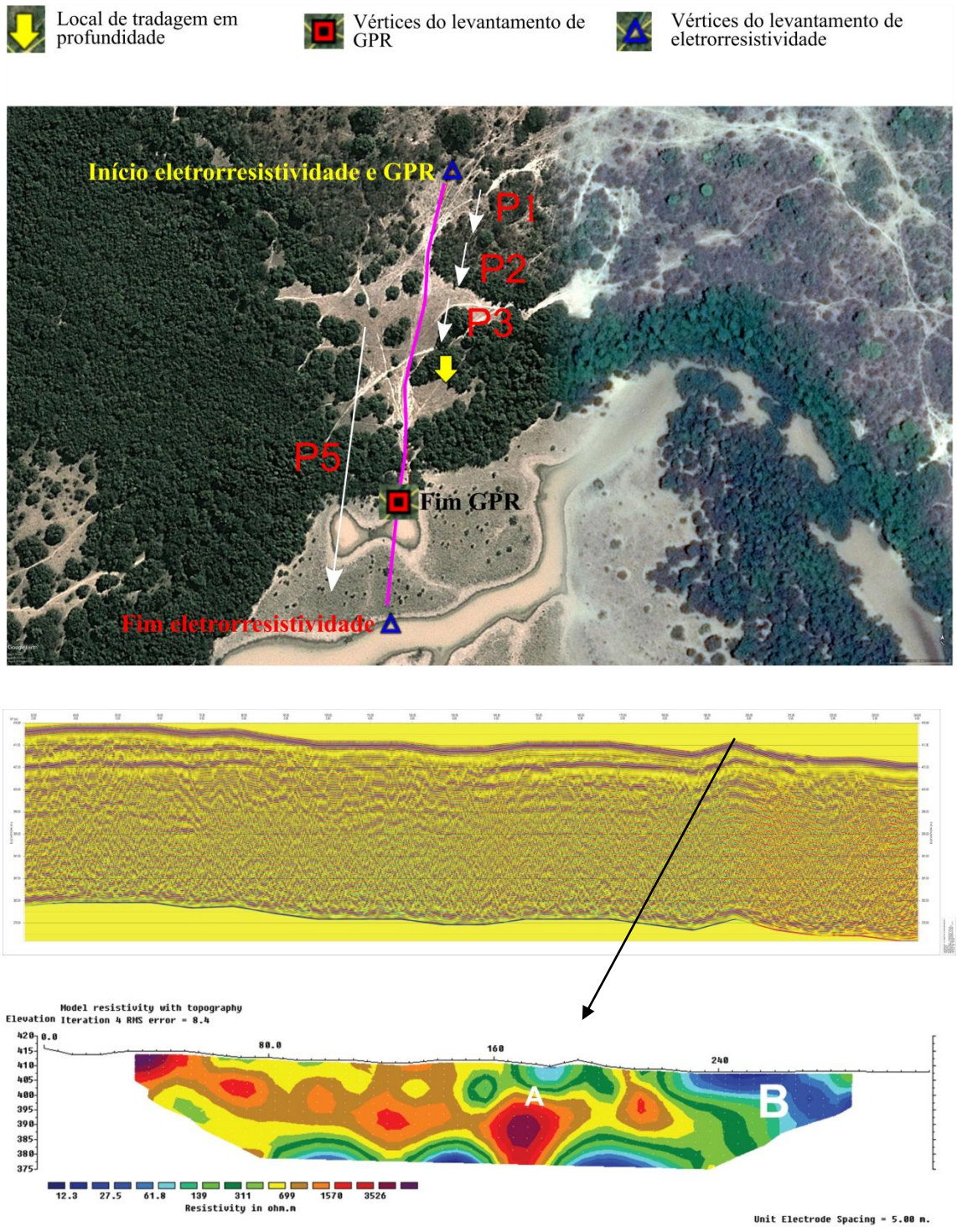


Figura 9: localização dos perfis elétrico e de GPR

Na parte à montante do pântano, quase no seu final, foi obtido um perfil de eletrorresistividade com 1.800 m de comprimento para se observar o comportamento das estruturas em subsuperfície. Isto é, a presença de descontinuidades que pudessem marcar a presença de área deprimida o que permitiu o desenvolvimento do sistema de pântano na área. A figura 10 mostra a localização do perfil.

Figura 10: Localização do caminhamento elétrico

Este perfil de eletrorresistividade atingiu uma profundidade aproximada de 70m, e revelou alguns aspectos peculiares da área do pântano. Aspectos esses, descontinuidades sub-verticais indicadas pelas setas (figura 11). Na parte superior à direita do perfil observa-se bem a presença de material arenoso com pouquíssima umidade. Logo abaixo a presença do nível freático. Na profundidade aproximada de 45 m (perto das cotas de 430 e 420 m) observa-se o aumento da resistividade num plano quase horizontal, indicando a presença do embasamento rochoso, segundo dados de furos de sondagem para água subterrânea realizados na área. As descontinuidades perto das distâncias de 860 m e 1.120m marcam o contato da parte baixa do pântano, indicando uma paleo-depressão, a qual originou a presença do Pantanal.

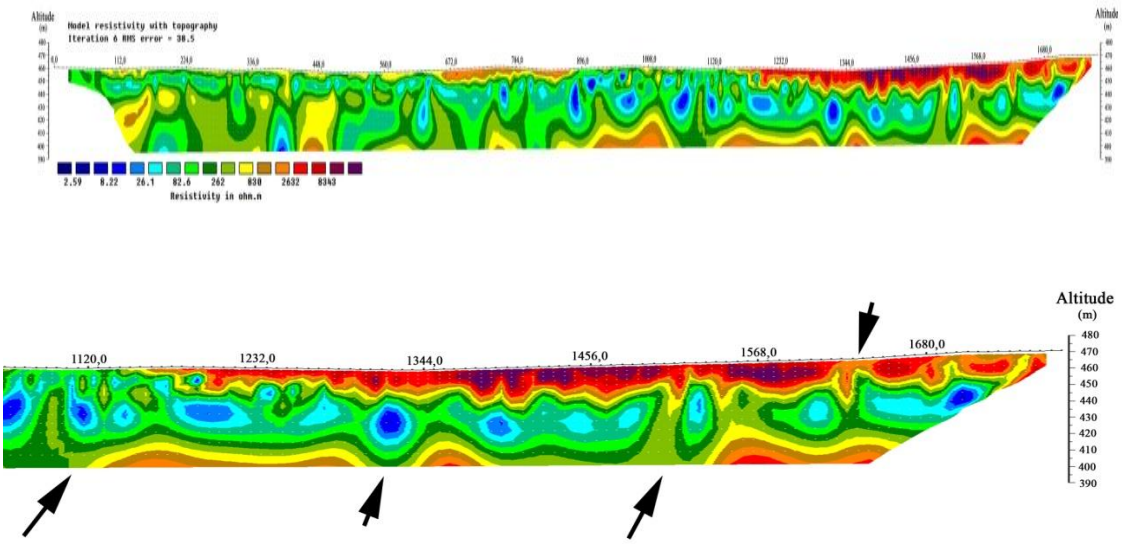


Figura 11: Caminhamento elétrico adquirido perpendicular ao pântano, as setas indicam as descontinuidades verticais a sub-verticais.

4.1.7 RESULTADOS DO MAPEAMENTO DE VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PANDEIROS – MG

Bibliografia Base

FONSECA, B.M.; COUTO, T.F.; AUGUSTIN, C.H.R.R.; FRANCO, G.G. Variação espaço-temporal do uso da terra e cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Pandeiros – MG. **Natureza e Sociedade**. 2020. (Submetida).

Introdução

A cobertura vegetal exerce um papel fundamental na manutenção dos ecossistemas e no controle dos impactos ambientais de origem antrópica. Sua variação geográfica e temporal tem, assim, significado nos estudos que lidam com temas relativos à proteção dos ambientes naturais e seus recursos naturais, pois indica mudanças que têm efeito negativo sobre os mesmos, em especial na aceleração dos processos erosivos que levam ao assoreamento dos canais fluviais, à perda da capacidade produtiva dos solos e, em casos extremos, à desertificação.

Para avaliar as transformações da cobertura vegetal da bacia do rio Pandeiros, onde está localizado o pantanal mineiro, área úmida (wetland) *de grande*

importância para a ictiofauna do médio rio São Francisco, foi realizada uma análise espaço-temporal do uso da terra, incluindo a cobertura vegetal natural. Situada no norte de Minas Gerais, a bacia é uma Unidade de Conservação (UC) de Uso Sustentável que sofre constantes pressões ambientais em função dos usos antrópicos, destacando-se as atividades agropecuárias. Considerando esse contexto socioambiental da área, o objetivo desta pesquisa é a identificação e interpretação temporal dos principais vetores de mudança do uso e cobertura da terra da bacia.

Esboço Metodológico

Os procedimentos metodológicos foram realizados em três etapas: a elaboração do banco de dados, o mapeamento do uso e cobertura da terra e o processamento dos dados obtidos no Land Change Modeler – LCM no software IDRISI Selva (EASTMAN, 2011), além da checagem de campo (Figura 1).

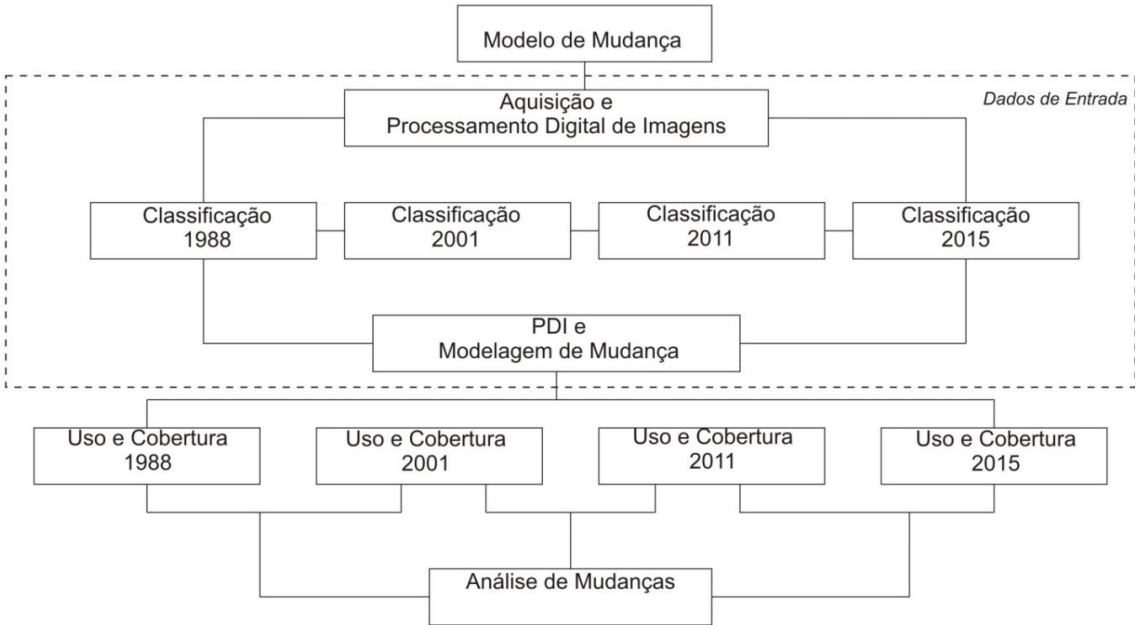


Figura 1: Fluxograma dos procedimentos metodológicos realizados durante a pesquisa.

Foi realizada uma quarta etapa, relativa à checagem de campo (Fig. 2)

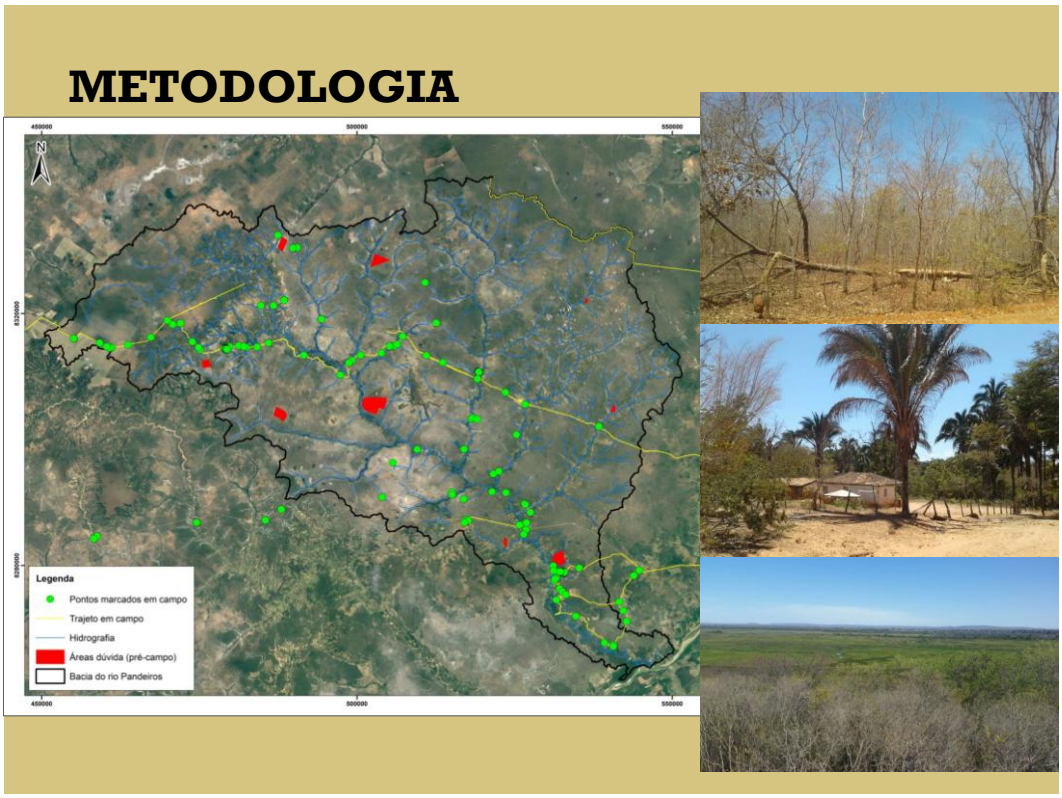


Figura 2: Imagem Google Earth mostrando a checagem de campo.

Resultados

Uso e cobertura da terra

A classificação das imagens no software Spring possibilitou a obtenção de resultados quantitativos e qualitativos referentes ao uso e cobertura da terra da bacia do rio Pandeiros. Dentre os produtos, o software gerou uma matriz de confusão, que apontou o Desempenho Geral e o Índice Kappa (ou estatística KHAT) das amostras selecionadas para cada ano avaliado, apresentados na Tabela 1.

Ano	Desempenho Geral (%)	Índice Kappa (%)
1988	98.84	98.53
2001	98.58	98.19
2011	98.21	97.72
2015	97.23	96.57

Tabela 1: Desempenho Geral e Índice Kappa das amostras.

Como resultado se observou valores acima de 95% para o desempenho geral das amostras em todos os quatro anos analisados. O mesmo desempenho ocorreu em relação ao Índice Kappa, com valores acima de 95% para todos os anos classificados.

Além dos dados de desempenho e de índices gerados, a classificação quantificou os diferentes usos e coberturas presentes na bacia do rio Pandeiros, apresentados na Tabela 2.

Os quantitativos de Uso e Cobertura da Terra apontaram as tipologias que ganharam ou perderam área nas datas analisadas. De um modo geral, as classes temáticas trabalhadas na pesquisa variaram quanto ao tamanho de sua área ao longo das quatro décadas observadas.

A análise da tabela 2 indica que a Água apresentou uma redução significativa de área, para apenas 0,01% em 2015, quando atingia 1,83% em 2011. Já a Área Urbanizada cresceu ao longo dos anos, representando 0,04% de Uso e Cobertura da bacia em 2015. A classe Solo Exposto, que ocupava 8,41% da área em 1988, apresentou aumento nos anos subsequentes, passando de 14,54% em 2001, para 17,42% em 2011, voltando a cair, no entanto, para 7,32% em 2015.

A tipologia Agricultura e Pastagem, que nas duas primeiras décadas analisadas possuía boa representatividade na bacia (20,45% em 1998; e 21,57% em 2001) também perdeu área nos últimos anos analisados: 14,07% em 2011 e 4,94% em 2015.

Uso e Cobertura da Terra 1988		
Tipologias	Área	
	ha	%
Água	6.403,96	1,62
Área Urbanizada	33,09	0,01
Solo Exposto	33.331,69	8,42
Agricultura e Pastagem	80.995,46	20,45
Vegetação Nativa Densa	71.558,65	18,07
Vegetação Nativa Espaçada	203.692,25	51,44
Total Geral	**396.015,11**	**100,00**

Uso e Cobertura da Terra 2001		
Tipologias	Área	
	ha	%
Água	1.730,48	0,44
Área Urbanizada	58,95	0,01
Solo Exposto	57.602,34	14,55
Agricultura e Pastagem	85.452,58	21,58
Vegetação Nativa Densa	55.410,44	13,99
Vegetação Nativa Espaçada	195.760,31	49,43
Total Geral	**396.015,11**	**100,00**

Uso e Cobertura da Terra 2011		
Tipologias	Área	
	ha	%
Água	7.272,51	1,84
Área Urbanizada	72,46	0,02
Solo Exposto	69.018,06	17,43
Agricultura e Pastagem	55.721,16	14,07
Vegetação Nativa Densa	50.500,75	12,75
Vegetação Nativa Espaçada	213.430,17	53,89
Total Geral	**396.015,11**	**100,00**

Uso e Cobertura da Terra 2015		
Tipologias	Área	
	ha	%
Água	39,30	0,01
Área Urbanizada	139,69	0,04
Solo Exposto	28.984,51	7,32
Agricultura e Pastagem	19.578,13	4,94
Vegetação Nativa Densa	192.529,43	48,62
Vegetação Nativa Espaçada	154.744,05	39,08
Total Geral	**396.015,11**	**100,00**

Tabela 2: Quantitativo das tipologias de uso e cobertura da terra na bacia do rio Pandeiros para os anos de 1988, 2001, 2011 e 2015.

Já a Vegetação Nativa Densa apresentou diminuição percentual da área ocupada nos anos de 1988 (18,06%), 2001 (13,99%) e 2011 (12,75%), mas voltou a subir significativamente, em 2015, quando atinge 48,62% da área da bacia do rio Pandeiros. A Vegetação Nativa Espaçada, por sua vez, que ocupava mais da metade da área (51,43%, em 1988) apresentou decréscimo gradativo de ocupação, passando a corresponder, em 2015, por 39,08% da área da bacia.

O mapeamento do Uso e Cobertura da Terra na bacia do rio Pandeiros (Figura 3) mostra a evolução espacial das tipologias de Uso da Terra, indicando as mudanças na dinâmica dos usos da bacia ao longo dos anos de 1988, 2001, 2011 e 2015.

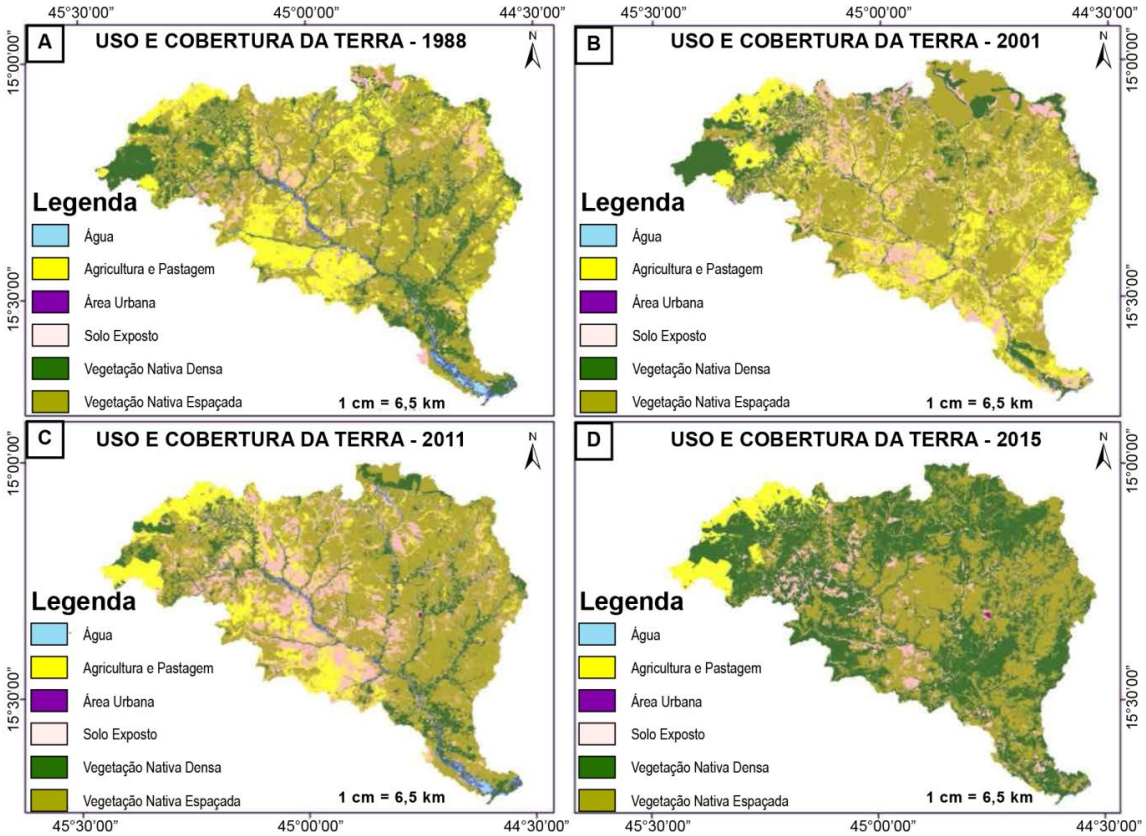


Figura 3: Mapas compilados do Uso e cobertura da Terra na bacia do rio Pandeiros, para os anos de 1988, 2001, 2011 e 2015.

Modelagem da mudança do uso e cobertura da terra

O primeiro intervalo (1988-2001) analisado condiz com o período no qual a área de estudo tornou-se uma APA pelo decreto nº 11.901, de 01 setembro de 1995 (Figura 4). O gráfico de Ganhos e Perdas do Uso da Terra desse período mostra que as classes com maior ganho de área foram: Solo Exposto e Agricultura e Pastagem.

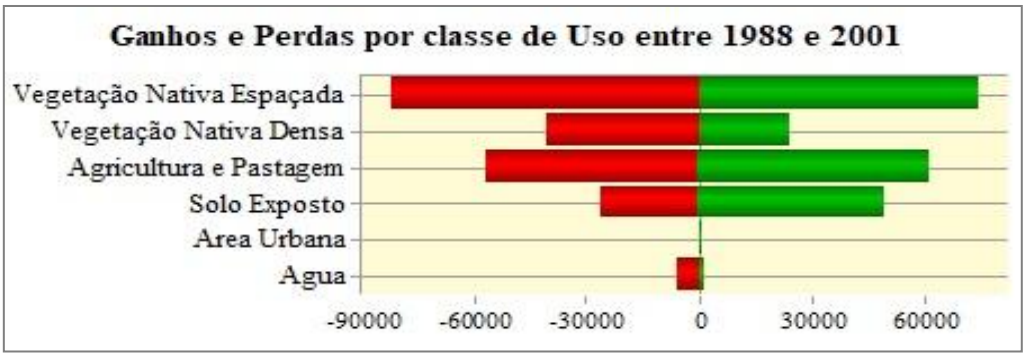


Figura 4: Gráfico 1 de perdas e ganhos das classes de uso entre 1988 e 2001, em hectares, bacia do rio Pandeiros.

Como é possível observar no Gráfico da figura 4, as classes que apresentam perda de área foram Água, Vegetação Nativa Espaçada e Vegetação Nativa Densa. Essa situação é confirmada pelo gráfico de Mudança Líquida por classe de Uso, que aponta as classes de Vegetação como aquelas que mais perderam área, com valores ultrapassando 7.000 ha (Figura 5).

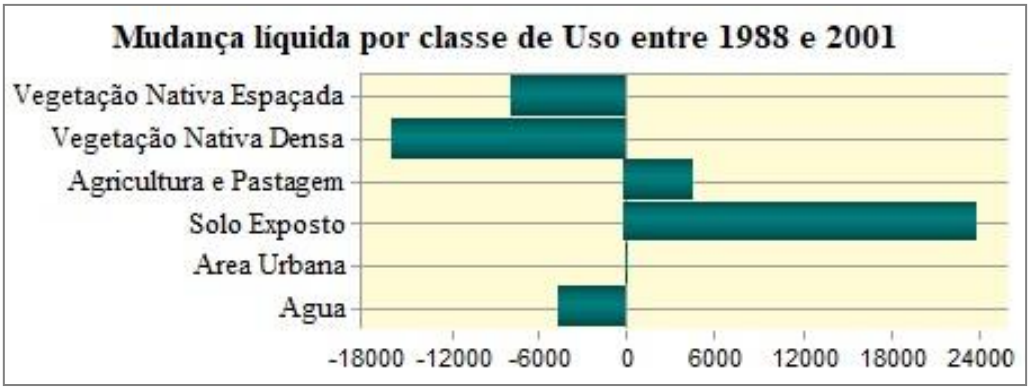


Figura 5: Gráfico de mudança líquida de cada classe, entre 1988 e 2011, em hectares, bacia rio Pandeiros.

Além das classes de Vegetação, outra que perdeu área foi a da Água, que teve redução de cerca de 4.000 ha no período analisado (Figura 5). Por outro lado, o Solo Exposto foi a classe que mais ganhou área entre 1988 e 2001, passando a ocupar mais de 20.000 ha da bacia, enquanto a classe Agricultura e Pastagem aumentou 4.712 ha. A redução de área ocupada pela classe Água pode ser explicada pela grave crise hídrica dos anos de 2000 e 2001, que afetou todo o país (FARIAS, 2001; SROUR, 2005; ARAUJO, 2005). A distribuição geográfica das mudanças das classes de Uso da Terra no período analisado pode ser observada na Figura 6.

O segundo intervalo analisado (2001 e 2011) corresponde a um período pós-implantação da APA Pandeiros. O gráfico de Ganhos e Perdas do Uso da Terra desse período demonstra que as classes que apresentaram maior ganho de área foram Vegetação Nativa Espaçada, Solo Exposto e Água (Figura 6).

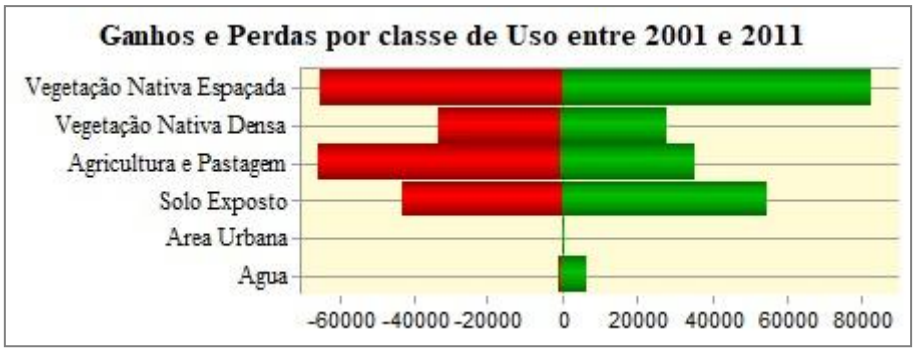


Figura 6: Gráfico de perdas e ganhos das classes de uso entre 2001 e 2011, em hectares, bacia do rio Pandeiros.

As classes que mais perderam área, por sua vez, foram Vegetação Nativa Densa e Agricultura e Pastagem. A mudança líquida por classe de uso no período analisado pode ser observada na Figura 7.

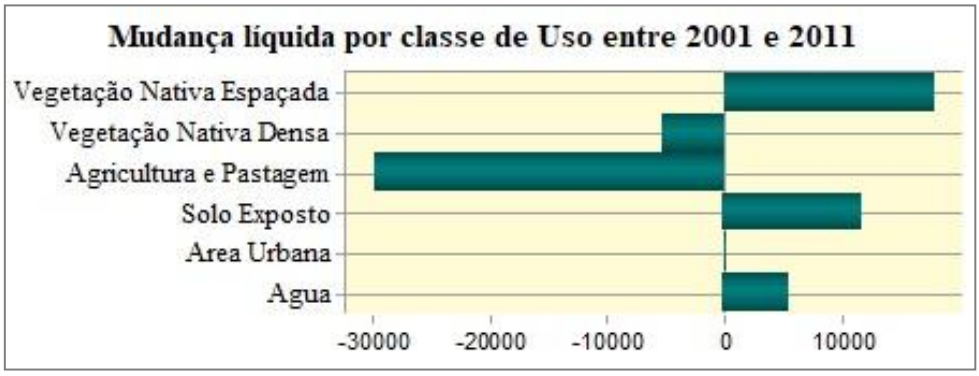


Figura 7: Gráfico de mudança líquida de cada classe, entre 2001 e 2011, em hectares, bacia do rio Pandeiros.

O gráfico da figura 7 mostra que a classe Agricultura e Pastagem perdeu cerca de 30.000 ha de área, enquanto a classe Vegetação Nativa Densa perdeu pouco mais de 5.000 ha no mesmo período. Em conta partida, as classes Vegetação Nativa Espaçada, Solo Exposto e Água aumentaram de tamanho entre 2001 e 2011.

O último intervalo de análise corresponde a 2011 e 2015, quando a APA do rio Pandeiros completou 20 anos. O gráfico de Ganhos e Perdas do Uso da Terra desse período mostra que a classe que apresentou maior ganho de área foi à Vegetação Nativa Densa (Figura 10).

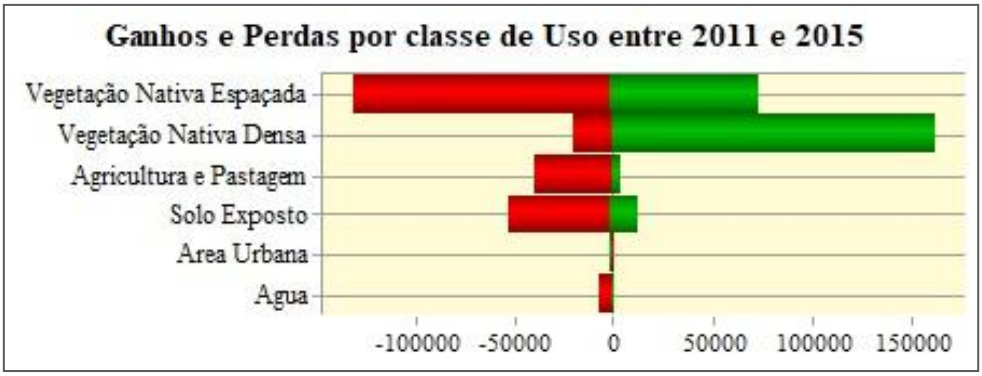


Figura 10: Gráfico de perdas e ganhos das classes de uso entre 2011 e 2015, em hectares, bacia do rio Pandeiros.

As classes que mais perderam área no período entre 2011 e 2015 foram Vegetação Nativa Espaçada, Agricultura e Pastagem, Solo exposto e Água. A Figura 11 apresenta a mudança líquida das classes de uso nesse intervalo de análise.

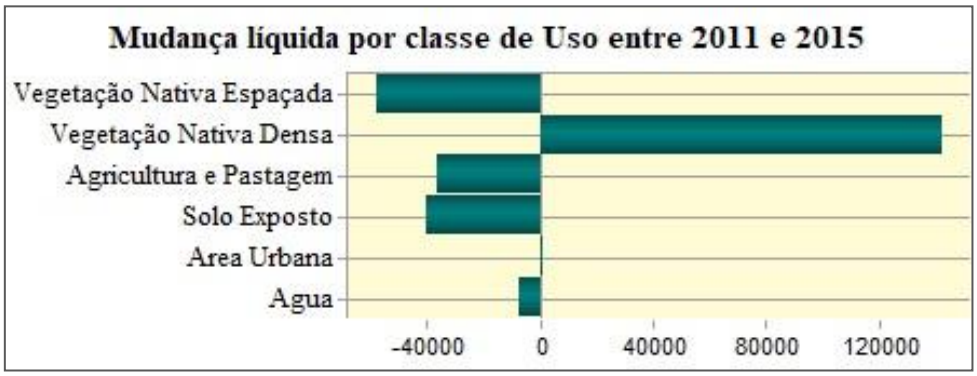


Figura 11: Gráfico de mudança líquida de cada classe, entre 2011 e 2015, em hectares, bacia do rio Pandeiros.

Ela indica que a Vegetação Nativa Densa ganhou mais de 120.000 ha de área na bacia, enquanto a Vegetação Nativa Espaçada, Agricultura e Pastagem e Solo Exposto perderam mais de 30.000 ha no período analisado. A Água também reduziu sua área, porém em menor proporção em comparação com as demais classes.

Como pode ser observado no mapa dos períodos analisados, a Vegetação Nativa Espaçada, persistiu e continuou a ocupar a margem esquerda do rio Pandeiros, além de alguns fragmentos a jusante da bacia. A Vegetação Nativa Densa também manteve sua ocorrência próxima aos canais fluviais, a montante da bacia, próximo às áreas da classe Agricultura e Pastagem, que teve diminuição de ocorrência nessa região.

Conclusão

O mapeamento do Uso e Cobertura da Terra da bacia do rio Pandeiros para os anos de 1988, 2001, 2011 e 2015, demonstrou que a bacia possui alguns vetores de mudança: a montante, na porção noroeste, a Vegetação Nativa Densa foi substituída pela Agricultura e Pastagem, praticada por grandes produtores rurais. Além disso, observou-se que, ao longo dos anos, os fundos de vale dos afluentes da margem esquerda do rio Pandeiros foram sendo ocupados por pequenos núcleos urbanos em meio rural, responsáveis pela abertura de áreas de pastagem e cultivos próximos às veredas. Cabe ressaltar também que outro vetor de mudança na bacia foi observado no pantanal do rio Pandeiros, através da projeção da lâmina de água de 2011, quando ainda era possível observar sua presença, e 2015, quando ela não mais aparece.

A modelagem das Mudanças do Uso e Cobertura da Terra na bacia nos intervalos de 1988/2001, 2001/2011 e 2011/2015, confirmou a dinâmica que se desenhava nos mapeamentos realizados. O primeiro intervalo de análise evidenciou a Agricultura e Pastagem como o uso que ganhou mais área, ocupando grande parte da bacia. A análise dos intervalos temporais subsequentes demonstrou que esse uso, ao longo do tempo, foi se restringindo a montante da bacia, região que historicamente tem sua ocupação associada às grandes propriedades rurais destinadas à pecuária de corte. O Solo Exposto, que nos dois primeiros intervalos de análise tinham distribuição variada, passou a se concentrar nos fundos de vale do rio Pandeiros, assim como de seus afluentes.

Tanto o mapeamento do Uso e Cobertura, quanto a análise de Mudanças evidenciaram que a retirada da cobertura vegetal nativa e sua substituição ao longo do tempo por uso e ocupação antrópicos, a exemplo de cultivos e pastagens, pode estar associada ao aumento da erosão das encostas e ao transporte de sedimentos pelos canais de drenagem que se conectam ao rio

Pandeiros, chegando até a região do pantanal, contribuindo para o seu assoreamento.

Os resultados desta pesquisa mostram que a abordagem utilizada pode contribuir de maneira substancial para um melhor entendimento e avaliação dos processos estudados no âmbito do projeto de pesquisa intitulado “Sustentabilidade do rio Pandeiros”.

4.1.8 O PANTANAL DO RIO PANDEIROS

Bibliografia Base:

OLIVEIRA, D.A.; AUGUSTIN, C.H.R.R.; FONSECA, B.M. **Proposta de mapeamento e delimitação dos domínios geomorfológicos da bacia hidrográfica do rio Pandeiros-MG**. *In*: Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. Campinas: INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - UNICAMP, 2017. p. 6253–6262. DOI - 10.20396/sbgfa.v1i2017.2520 - ISBN 978-85-85369-16-3.

OLIVEIRA, D.A. de; AUGUSTIN, C.H.R.R.; LIMA, A.C.P. de. **Proposta preliminar de unidades hidrogeomorfológicas para o Pantanal do rio Pandeiros – MG**. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Geografia Física e Mudanças Globais, UFC, Fortaleza, CE, de 11 a 15 de junho. 2019.

OLIVEIRA, D.A. de. ***Wetland* como unidade hidrogeomorfológica no contexto de transição entre o cerrado e o semiárido brasileiro: análise da dinâmica do Pantanal da bacia de drenagem do rio Pandeiros – MG.** Tese de doutorado. 2019. 341p. Programa de Pós-Graduação de Geografia. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG. (Defendida).

Introdução

O Pantanal Mineiro, na região Norte do estado é uma importante *wetland* na bacia do rio São Francisco. É parcialmente responsável pelo aprisionamento de carbono e contenção de sedimentos transportados e depositados no rio São Francisco, contribuindo para seu assoreamento e pela disponibilização do Carbono. Resultante da interação entre vários fatores como a geologia, geomorfologia e variações climáticas em região de transição de uma área tropical úmida para o semiárido sob efeitos dos pulsos de inundação dos rios São Francisco e Pandeiros, ele pode ser compreendido por meio da análise de sua dinâmica hidrogeomorfológica.

O objetivo principal da pesquisa é o de compreender a dinâmica desta *wetland* como unidade hidrogeomorfológica e não apenas ecossistêmica, como normalmente ocorre na literatura. Foram utilizados métodos e técnicas de estudo de vertentes, como a descrição, análise física e coletas de amostras de geocoberturas em perfis identificados em sítios geomorfológicos ao longo de transectos previamente selecionados.

As amostras foram analisadas no laboratório de Geomorfologia do IGC/UFMG e incluíram: granulometria, pH, CE, MO, sódio, potássio, alumínio, ferro, bem como cálcio e magnésio. Levantamentos subsuperficiais em profundidade foram realizados, por meio do uso do *Ground Penetration Radar* (GPR) em áreas representativas do Pantanal (Fig. 1), com acompanhamento de tradagem em profundidade (trado mecânico).

Figura 1: Instalação de piezômetros para controle da variação do nível freático

Para possibilitar a visão dessa evolução em passado recente, foram coletadas, com auxílio de trado russo, amostras em 3 locais do pantanal, para datação de ^{14}C. Também foi monitorada a flutuação do nível freático, medida em 5 piezômetros instalados em posições diferentes ao longo do Pantanal (Fig. 2).

Figura 2: Coleta de amostra de deposição orgânica em lagoa marginal do rio Pandeiros para análise de ^{14}C.

A análise da denudação mecânica média por bacia hidrográfica obtida por meio da concentração do ^{10}Be indicou uma dinâmica correspondente ao mapeamento geomorfológico da bacia (Fig. 4), com diferentes ambientes na bacia do rio Pandeiros. Em uma escala de 1 milhão de anos, nas áreas com intensa dissecação e dinâmica houve o registro de rebaixamento entre 54 e 65 metros de altitude, sendo registrados valores mais baixos nas margens direita e esquerda da bacia.

Contudo, o valor médio da bacia do rio Pandeiros registrou uma taxa de 46 a 42 metros de rebaixamento por 1 milhão de anos. Este dado indica que um grande volume de sedimentos é disponibilizado na bacia e em determinado momento, chegará à área do Pantanal (confirmando análises com base na evolução geológica e geomorfológica da bacia, Augustin et al., 2020a, b), demonstrando uma dinâmica natural de grande circulação de sedimentos neste ambiente, sem contudo, evidenciar uma contribuição antrópica muito recente.

Como o Pantanal está localizado na parte baixa da bacia hidrográfica (Fig. 3), sua dinâmica depende em grande parte do ambiente situado à montante. Os domínios geomorfológicos identificados para a bacia do rio Pandeiros demonstram a

existência de diversos ambientes, com diferentes condições de energia e circulação de materiais, partindo das Áreas com intensa dissecação e dinâmica, até o ambiente de baixa energia da Planície fluvial do rio Pandeiros – São Francisco. Esta última unidade é separada do restante da bacia do rio Pandeiros por outra unidade com mediana dissecação e dinâmica, onde ocorrem vários processos erosivos.

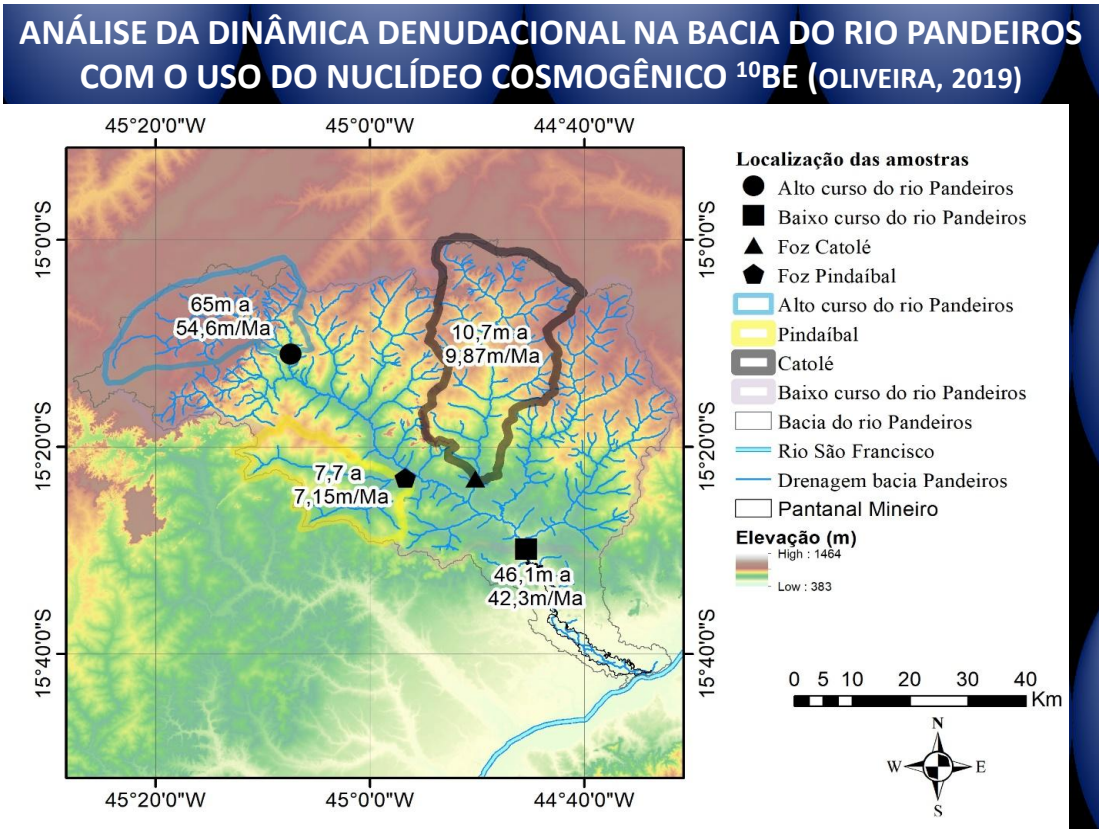


Figura: Mapa com a espacialização da dinâmica desnudacional da bacia em metros (m) por milhão de anos (Ma).

Com vistas a uma melhor identificação da influência do rio São Francisco no comportamento hidrossedimentológico do Pantanal, foi realizada a comparação da assinatura química das águas do rio Pandeiros e do rio São Francisco, para demonstrar como a *wetland* pode ser formada (em sua fase úmida) quando associada às condições atmosféricas propícias ao desenvolvimento de pulsos de inundação na região.

Foram também analisados dados de nível do rio São Francisco (a montante e a jusante do Pantanal) e de vazão no rio Pandeiros (a montante do Pantanal), por meio de 3 estações fluviométricas a fim de caracterizar o comportamento hídrico

ao longo do ano hidrológico para as séries históricas acima de 40 anos. Os resultados indicam uma complexa dinâmica hidrogeomorfológica, dependente de condições multiescalares, a existência de condição de equilíbrio muito sutil.

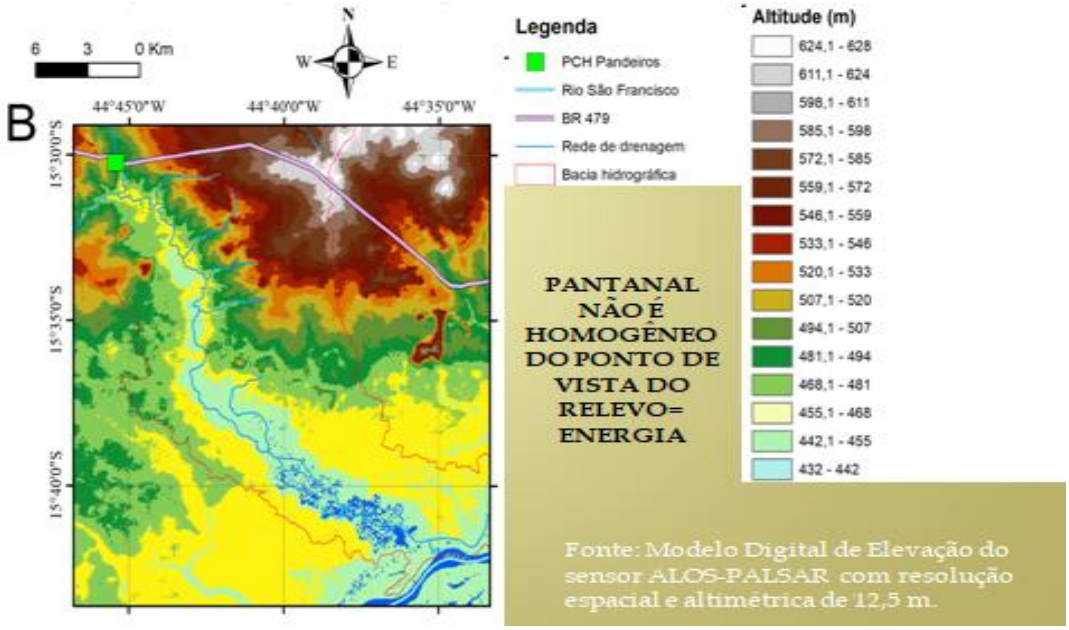


Figura 4: Variação topográfica do Pantanal mostrando que ele constitui uma área topograficamente heterogênea, com desníveis de relevo.

Os valores de vazão do rio Pandeiros à montante do Pantanal também foram analisados deste 1974, indicando uma vazão média de 15 até 35 m^3/s, sendo que em até 50% do tempo, esta vazão é menor do que $20m^3/s$. Há uma grande diferença de vazão entre a estão úmida e a estação seca, sendo que os maiores valores de vazão, em média, começam no dia 60 e vão até o dia 180 do ano hidrológico que se inicia no dia 1 de outubro. Em escala temporal, os valores de vazão diária apresentam sazonalidades em escalas de décadas, contudo registrando os valores mais baixos de vazão mínima desde o início da série histórica desde o ano de 2013.

No trabalho é mostrada a importância que o nível de base possui para a formação do período de inundação do pantanal. Neste caso, este nível de base local é formado pelo nível da água do rio São Francisco. Assim, se o nível do rio São Francisco está abaixo de 5 m na estação de São Francisco, o pantanal está drenado. Caso esteja acima deste valor, o pantanal está inundado total, ou parcialmente, a depender da altura do nível do rio São Francisco. Estes valores foram obtidos por meio de análises e observações de campo.

Desta forma, foi analisada também a série histórica do nível do rio São Francisco na estação fluviométrica da cidade de São Francisco, que possui dados desde 1926. Os valores de nível médio estão entre 250 a 600 cm, sendo que em apenas 20% do tempo de vazão o rio ficou acima de 500 cm.

Também há uma clara distinção entre a estação úmida e seca (Fig. 5), começando a estação úmida no dia 60 e reduzindo a vazão no dia 180 em média. Os valores diários desta série história mais longa, também registram variações periódicas, entre períodos mais úmidos e outros mais secos. Contudo, novamente, a década de 2010 representa os valores de máxima e mínima, e registraram os menores valores da série histórica.

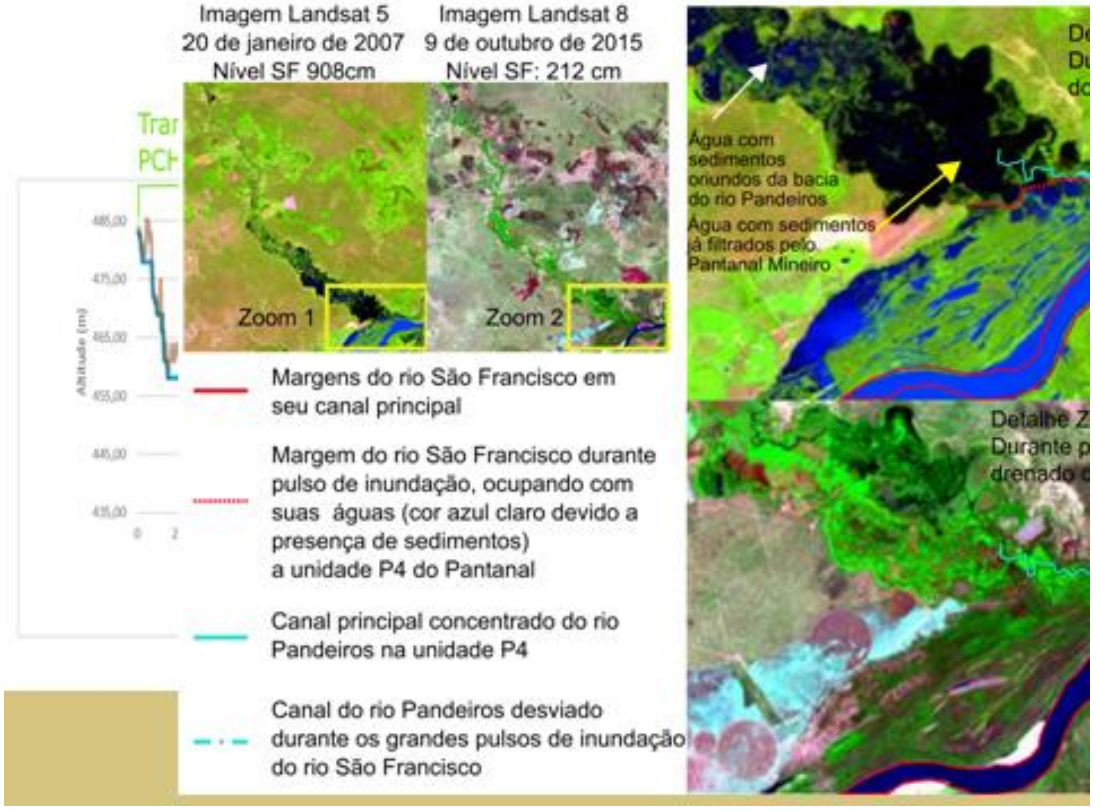
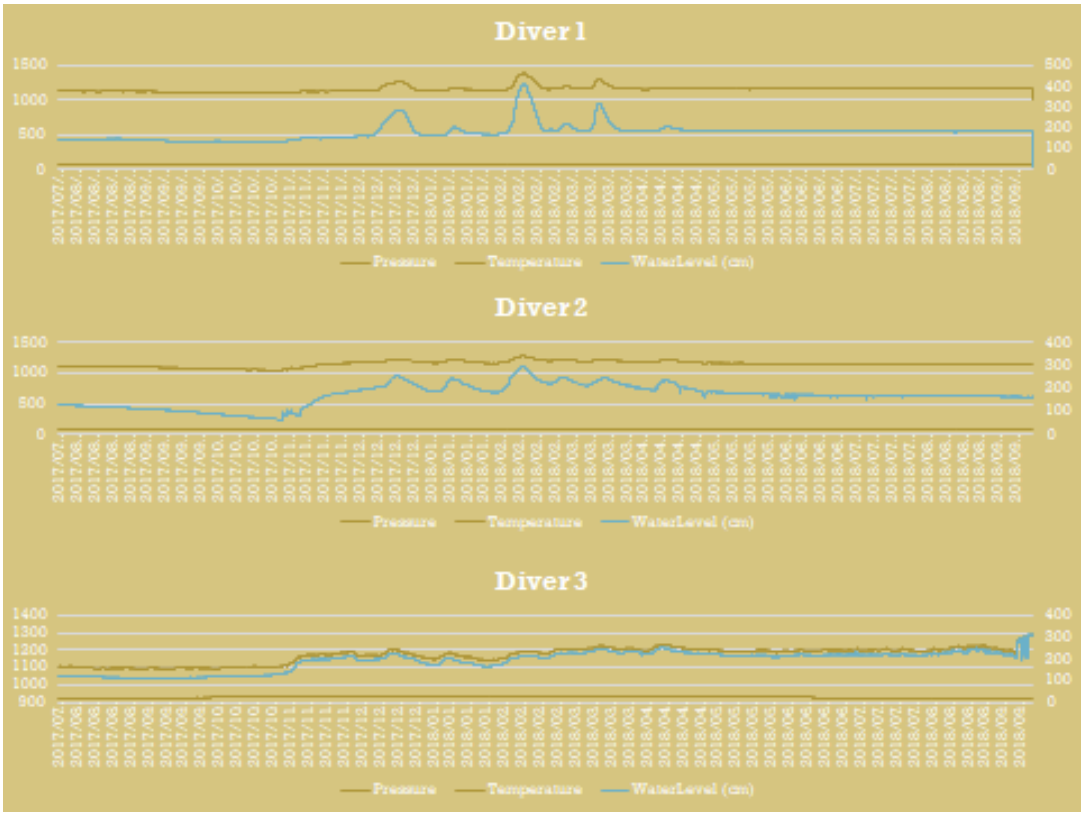


Figura 5: Imagens mostrando as variações no percurso do rio Pandeiros na área de confluência com o rio São Francisco, indicando influência nos episódios de variação do espelho de água no Pantanal Mineiro.

Utilizando o parâmetro de 500 cm como referência para a existência de inundação do pantanal, e distribuindo estes valores por dia em relação à série histórica, percebe-se que o número de dias durante o ano em que o pantanal está inundado está reduzindo, em tendência linear, ao longo deste período. Esta redução é visível a partir da década de 1990.

Foi feita uma correlação entre os dados de vazão do rio Pandeiros e nível da água do rio São Francisco a montante e a jusante do Pantanal, sendo verificada uma correspondência entre os períodos de inundação com maior ou menor magnitude, respectivamente (Fig. 6). Além disso, foram evidenciados novamente os períodos com maior ou menor umidade, sendo mostrado, novamente o período mais seco do histórico nos últimos anos.



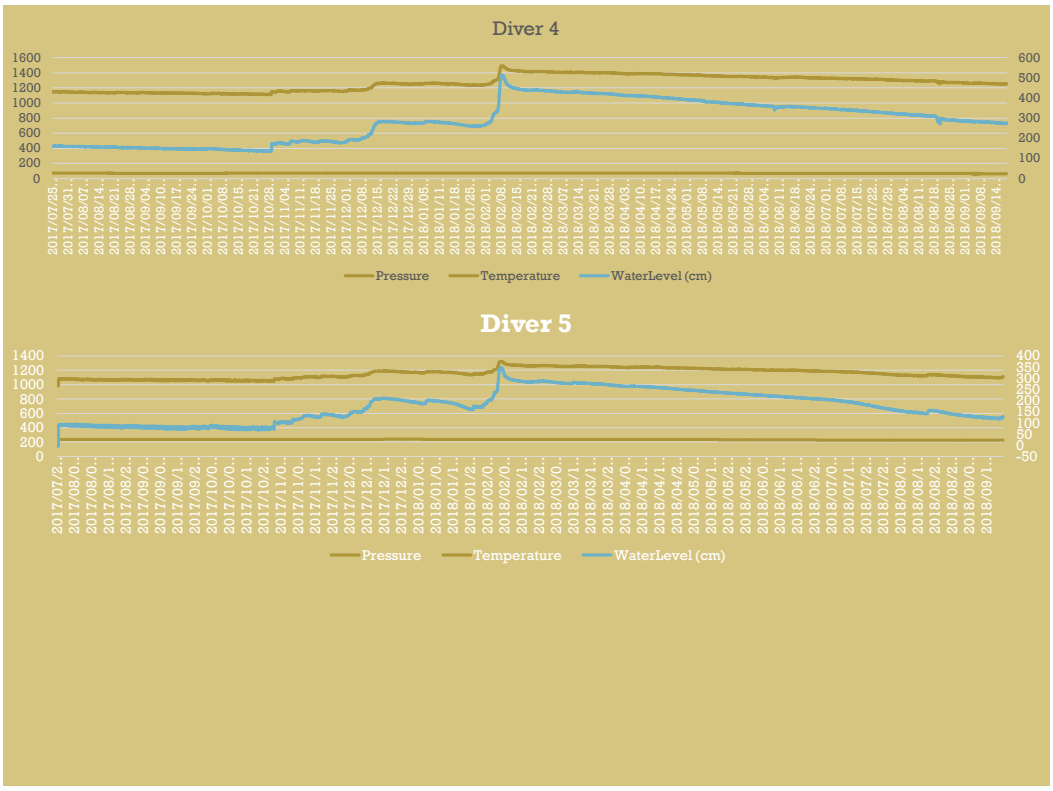


Figura 6: Gráficos mostrando as variações dos picos de enchente, captados pelos piezômetros (divers) na área do Pantanal.

As inundações do Pantanal foram analisadas por Oliveira et al. (2019), sendo registrada uma média de dois a seis episódios de inundação por ano, com média muito forte de seis inundações por ano (Fig. 7). A duração do período de inundação tem grande variabilidade, de 20 a 40 dias por ano.

Os valores de magnitude da inundação tem uma média de 700 cm. Contudo, os valores máximos podem estar entre 800 a 1200 cm, ficando evidenciados nesta medida, os períodos mais úmidos e secos, conforme relatado anteriormente. Foi feita também uma classificação das inundações conforme sua intensidade, na qual a magnitude foi utilizada para classificação. Percebe-se que nos últimos anos, os episódios de alta magnitude (altura da lâmina d'água no Pantanal acima de 490 cm) tem sido muito pouco frequente, sendo registrado apenas 3 vezes desde 1992, ocorrendo um aumento das inundações de baixa magnitude (altura da lâmina d'água até 250 cm no Pantanal).

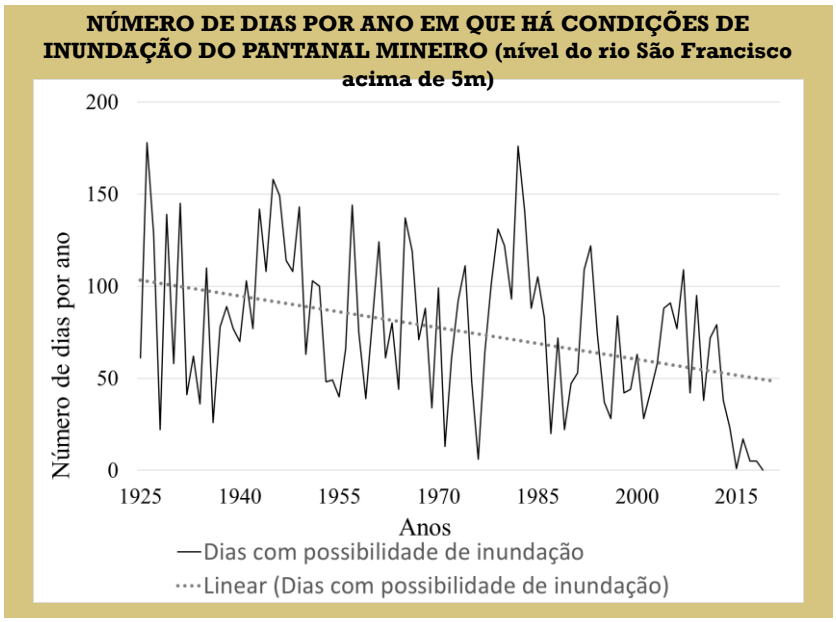


Figura 7: Número de dias/ano com ocorrência de inundação no Pantanal

Foi realizada a análise da água superficial, buscando uma assinatura geoquímica das águas da bacia do rio Pandeiros, do rio São Francisco e do Pantanal, durante as estações úmida e seca. Os melhores parâmetros que mostram a diferença de ambientes foram: a turbidez, sílica e sólidos totais dissolvidos (Fig. 8).

Figura 8: Valores das variáveis medidas da água do Pandeiros, para identificar a “assinatura” do rio São Francisco, em épocas de cheias.

É possível verificar também, pelos dados de turbidez, que as voçorocas localizadas na unidade geomorfológica de média intensidade de dissecação e energia são responsáveis também pela geração de grande carga de sedimentos que chegam até o pantanal. Análises de ICP mostram uma grande concentração de Ca e Mg dissolvidos na água durante todo o ano.

Foram utilizadas análises também de ^{2}H e ^{18}O para determinação da dinâmica da circulação da água durante os episódios de inundação do pantanal, mostrando a influência do rio São Francisco e do Pandeiros, em diferentes momentos da inundação. Os valores indicam uma contribuição da água semelhante às do rio São Francisco no início da inundação e durante a inundação, a composição isotópica é semelhante à do rio Pandeiros. Com estes dados, foram usadas também imagens de satélite durante diferentes episódios de inundação para demonstrar a influência do rio São Francisco e do rio Pandeiros na dinâmica da inundação do Pantanal.

Foram utilizadas ainda imagens de Modelo Digital de Elevação e mapeamento geológico para diagnosticar que a área do Pantanal Mineiro não tem comportamento homogêneo, mas que existem pelo menos 4 grandes subunidades em sua área (Figura 9), sendo identificadas, de montante à jusante de P1, P2, P3 e P4.

Esta delimitação foi inicialmente realizada por meio de observações de campo, perfil longitudinal e posteriormente com os dados obtidos de geocoberturas e altura e profundidade do nível da água.

Os dados oriundos da observação do nível da água ao longo do ciclo hidrológico mostram diferentes assinaturas, mostrando diferentes influências no tipo de inundação que ocorrem em cada subunidade do pantanal. As unidades P1 e P2 (Fig. 9) dependem superficialmente dos pulsos de inundação do rio Pandeiros, durante o período analisado, para que estas inundem. Nas unidades P3 e P4, há uma influência direta dos pulsos de inundação que ocorrem no rio São Francisco para que ocorra a inundação destes ambientes.

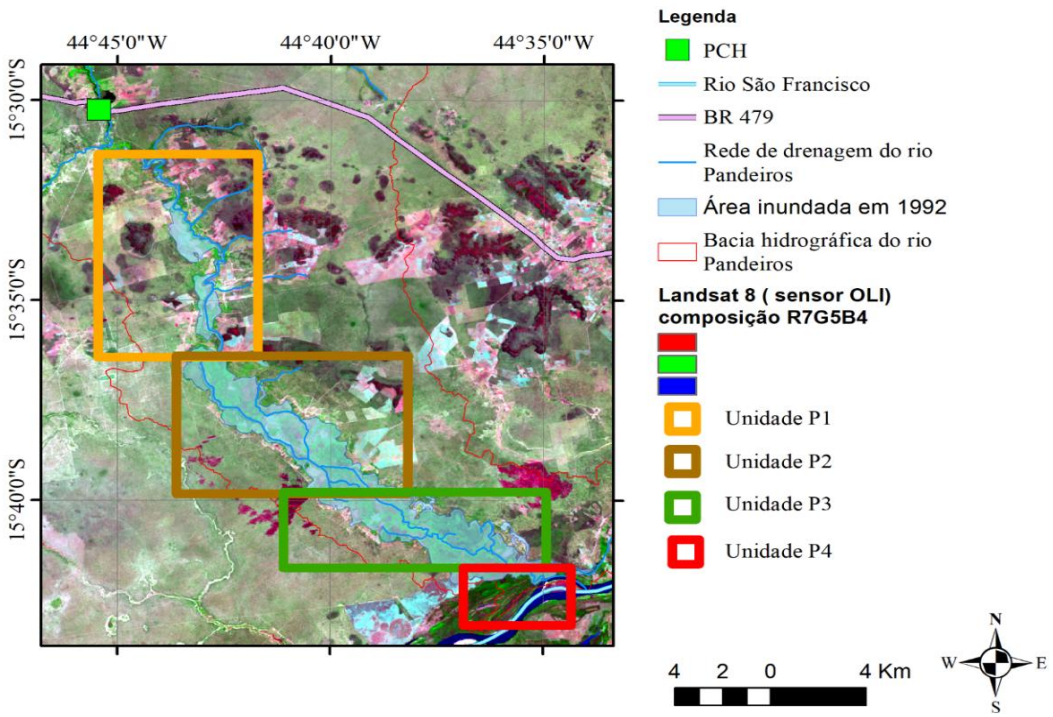


Figura 9: Mapa da área do Pantanal do rio Pandeiros, na qual foram identificados ambientes diferenciados, mostrando que a wetland não é hidrogeomorfologicamente homogênea.

Foi feita uma correlação com o regime de chuva que ocorre no entorno da bacia do rio Pandeiros e no entorno da bacia do rio São Francisco, percebendo-se que as precipitações do entorno da bacia são mais diretamente responsáveis pelo aumento do nível da água nas unidades P1 e P2 e na escala da bacia do rio São Francisco, as chuvas são responsáveis pela inundação das unidades P3 e P4.

Além disso, foram realizadas análises de geocoberturas superficiais em 5 transectos, desde as unidades P1 a P4 e utilizando técnicas de geofísica, para analisar o material em profundidade, especificamente nas unidades P2, P3 e P4. Nestas áreas, também foram amostradas geocoberturas um pouco mais profundas, entre 4 a 7 metros de profundidade.

As geocoberturas demonstram variação de ambientes em termos de maior ou menor energia em profundidade em todos os transectos levantados. De modo geral, nas vertentes drenadas, há um predomínio de materiais com maior energia e na planície de inundação, superficialmente há o predomínio de ambientes que indicam menor energia, sendo que, em profundidade, esta energia aumenta.

Em comparação longitudinal, há uma redução do teor de areia desde a unidade P1 até a unidade P4 nos ambientes da planície de inundação. Os valores de

carbono orgânico também se concentram nos ambientes úmidos, bem como os valores de condutividade elétrica.

Os resultados das geocoberturas indicam claramente as condições de umidade em que estão situados tanto no que se refere à distribuição granulométrica, quando na quantidade de elementos químicos ou nas propriedades químicas destes.

Por fim foram estimados os valores de idade de deposição dos materiais na planície de inundação indicando como material mais antigo 3246 anos BP registrado a uma profundidade de 150 cm, mas com grande variação de ambientes no sentido lateral, chegando até à idades recentes em superfície que não conseguiram ser datadas utilizando o ^{14}C.

4.1.9 UTILIZAÇÃO DO ISÓTOPO ^{7}Be COMO MÉTODO DE INVESTIGAÇÃO DA EROSÃO EM ESCALA DE VERTENTE

Bibliografia Base

SILVA, P.D. de O. Utilização do isótopo ^{7}Be como método de investigação da erosão em escala de vertentes. Qualificação de Mestrado. 2019. 58p. Programa de Pós-Graduação de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG. (Apresentada).

SILVA, P.D.O.; AUGUSTIN, C.H.R.R.; MOREIRA, R.M.; LIMA, A.C.P. de; OLIVEIRA D.A. de. ^{7}Be e técnicas nucleares aplicadas às medidas de erosão de sedimentos: análise preliminar. In**: O livro Geografia Física e as Mudanças Globais**. Pinheiro, L. de S.; GOYAEB, A. (Org.). Fortaleza: Editora UFC, **2019**, p.1-12. ISBN: 978-85-7282-778-2.

Disponível em http://www.editora.ufc.br/images/imagens/pdf/geografia-fisica-e-as-mudancas-globais/490.pdf

SILVA, P.D. de O. **Utilização do isótopo ^{7}Be como método de investigação da erosão em escala de vertente: rochas silicicásticas da bacia do rio Pandeiros-MG**. Dissertação de Mestrado. 2020. 83f. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. 2020. (Defendida).

Síntese da pesquisa para o Relatório Final do Projeto Sustentabilidade da bacia do rio Pandeiros-MG

Mestranda: Polyana Duarte de Oliveira Silva

Orientadora: Cristina Helena R. R. Augustin

Coorientadores:

Rubens Martins Moreira
Alexander Dario Esquivel López

Introdução

Segundo Selby (1985; p. 216), a erosão de vertentes é “uma função do poder erosivo das gotas de chuva, da água de escoamento e de movimentos de deslizamentos ou fluxos de massas de terra e da erodibilidade do solo ou rocha”.

A mobilização dos sedimentos também pode ser causada por outros agentes, como o vento, o gelo e mesmo o homem (COOKE e DOORNKAMP, 1974). A erosão de vertentes pode apresentar vários *modus operandi*, dependendo do agente atuante, e dos mecanismos envolvidos na movimentação das partículas e no seu transporte. Inclui tanto os deslocamentos de sedimentos por água de escoamento de chuva (*runoff*), por vento, gelo, ou pelo homem, como também os movimentos de massa. A mobilização ocorre, normalmente, apenas quando o material encontra-se intemperizado, pedogeneizado ou não, e o não consolidado, uma vez que a resistência da rocha sã tende a superar as forças envolvidas em seu deslocamento (SELBY, 1982). A erosão, quando não envolve o homem, é um processo natural, que atua modelando a superfície da terra diferenciando-a em padrões de relevo (CARSON e KIRKBY, 1972; YOUNG, 1972; HUGGET, 2014).

O uso inadequado dos recursos naturais pode, contudo, gerar taxas muito maiores e mais rápidas de desprendimento e transporte de sedimentos ao longo da vertente, causando, entre outros problemas, a perda e/ou o empobrecimento de solos agricultáveis e o assoreamento de canais fluviais, de represas e lagos, entre outros, com grande impacto socioambiental (JANSSON, 1982; CROWDER, 1987; LAL, 2001; MORGAN, 2005; COHEN *et al.*, 2006; TELLES *et al.*, 2011; PENNOCK, 2019).

Por tratar-se de duas perspectivas sobre o mesmo fenômeno, Cooke e Doornkamp (1974) os distingue em erosão do tipo “geológica”, quando natural e em “acelerada”, quando provocada pelo homem. Isto, porque os efeitos desse último tipo podem ser devastadores e vem acontecendo há muito tempo (DOTTERWEICH, 2013), o que explica o grande interesse sobre o tema

demonstrado pelo grande número de artigos, cerca de 7.348 publicados entre 2016 e 2018 sobre o tema (PENNOCK, 2019).

Mesmo levando em consideração esse imenso volume de pesquisas realizadas, aspectos importantes da dinâmica erosiva ainda permanecem pouco compreendidos, ou mesmo controversos (PENNOCK, 2019).

Entre eles, destaca-se a importância dos processos erosivos para a manutenção dos complexos sistemas naturais (AUGUSTIN e WINDSOR, 1999). É através deles que é possível a formação de substrato que subsidia a vida micro e macroscópica, possibilitando a redistribuição de nutrientes (FULAJTAR *et al*., 2017).

Por impactar diretamente os sistemas produtivos, a erosão acelerada ou erosão do solo induzida pelo homem (DOTTERWEICH, 2013) é abordada pelas mais diversas áreas das ciências ambientais havendo um consenso na urgência em compreendê-la, quantifica-la, prevê-la e controla-la (LAL, 2001; TELLES et al., 2011).

Os tipos mais comuns em meios tropicais úmidos são a erosão por voçorocamento, a de respingo (*rainsplash*), a dispersa (*sheet wash*) e a concentrada em pequenos sulcos (*rilling*), provocada direta ou indiretamente pela água de escoamento superficial (*runoff*). Enquanto o primeiro tipo é muito visível na paisagem, os outros tendem a ocorrer de maneira relativamente lenta, em áreas extensas, com efeitos que se fazem sentir a médio e longo prazo. Por isto, sua quantificação é complicada, exigindo a adoção de técnicas invasivas, ou artificiais, como a de chuva induzida (HSIEH *et al.,* 2009).

Uma das limitações comumente enfrentadas pelos renomados modelos e instrumentações de quantificação desses tipos de erosão é que estes não mostram acurácia sobre o volume do material retirado, para onde este é mobilizado, onde é depositado e se há alguma remobilização.

Nessa perspectiva, surgiu nos últimos anos a necessidade da aplicação de técnicas alternativas aos métodos até então consagrados pelas ciências ambientais, que sejam não somente mais confiáveis, como também de baixo custo, e de simples avaliação (BOARDMAN, 2006). Segundo Falajtar et al. (2017), a utilização de isótopos cosmogênicos surge como alternativa para suprir

essas deficiências, pois alguns destes, disponíveis no ambiente podem servir como rastreadores ambientais e, assim, facilitar a investigação de processos erosivos. Isótopos cosmogênicos são nuclídeos (átomos de combinação específica entre número atômico e quantidade de nêutrons) expostos a raios cósmicos na atmosfera terrestre (GOSSE e PHILLIPS, 2001).

Técnicas nucleares aplicadas aos estudos ambientais e em especial da erosão, já foram tentadas. Como exemplo, os usos de ^{137}Cs para registrar erosão e deposição em trabalhos de campo e fornecer mapas em escala de detalhe. Essa técnica, entretanto, ainda apresenta grandes dificuldades de aplicação devido ao seu alto custo e demora (BOARDMAN, 2006).

A escolha de qual isótopo e abordagem a serem utilizadas está diretamente relacionada à escala e ao tempo disponível de estudo. De acordo com Blake (1999), o ^{7}Be possui meia vida de 53 dias e fixa-se no solo por via úmida, ou seja, por precipitação e deposita-se nas primeiras camadas da superfície. A partir do seu reconhecimento em laboratório, é possível coletar amostras de campo, detectar e mensurar a presença do isótopo e os correlacionar com as variáveis ambientais locais para quantificar a taxa de mobilização de sedimentos do sítio de estudo. Logo, a utilização do ^{7}Be apresenta-se como uma ferramenta poderosa nos trabalhos que desejem tratar de mobilização de sedimentos a curto prazo, em escala local (WALLING, 2012).

Para esse fim, foi escolhida a Bacia hidrográfica do Rio Pandeiros localizada na margem esquerda do médio curso do Rio São Francisco, na porção norte do estado de Minas Gerais. Devido a sua vasta diversidade de fauna e flora, ser refúgio de vida silvestre e possuir um pântano à jusante, a bacia é caracterizada como de altíssima relevância ecológica e faz parte da Área de Proteção Integral (APA) Pandeiros (MINAS GERAIS, 1995; BETHONICO, 2009).

As atividades de pastoreio e extração de carvão vegetal estendem-se por toda bacia, além da presença dos núcleos urbanos de Januária, Bonito de Minas e Cônego Marinho (BETHONICO, 2009). Tais usos são responsáveis por impactos ambientais negativos como a erosão de forma acelerada e destruição de veredas, colocando em risco a qualidade ambiental tanto do Rio Pandeiros, quanto de seus afluentes. O risco de assoreamento do pantanal Pandeiros também é um fator

preocupante no cenário atual da Bacia, o que acarretaria não só no desequilíbrio na dinâmica fluvial, mas também nos ecossistemas ali presentes.

Desta forma, é necessário quantificar os processos erosivos nas vertentes da Bacia do Rio Pandeiros para inicialmente realizar um levantamento da taxa produção de sedimentos que podem alcançar a calha fluvial e ser talvez o gatilho para a instabilidade destes ecossistemas.

Métodos Convencionais de Quantificação da Erosão

Devido ao grande impacto da erosão nos ecossistemas e na capacidade produtiva agropecuária (TELLES et al., 2011), esforços têm sido realizados para desenvolver métodos que replicassem os dados apreendidos em campo sobre remobilização de sedimentos, e que além de quantificar pudessem compreender como ocorrem e por que ocorrem. Foram investigadas diversas características físico-químicas da superfície que pudessem ser trabalhadas e resultassem na compreensão desses processos (SELBY, 1982).

Segundo Selby (1982), tentativas de classificar a erodibilidade dos solos datam da década de 1930, iniciadas com o trabalho pioneiro de Boyuocos (1935), que procurou compreender suas características físico-químicas para inferir um índice final. Entretanto, os trabalhos realizados neste sentido, não obtiveram o sucesso esperado, devido à dificuldade de entender tais dados.

Gouldie *et al* (1981) e Selby (1982) apontam que a técnica de parcelas de campo surgiu como uma alternativa para quantificar diretamente a taxa de sedimento perdida durante eventos naturais de precipitação além de permitir a análise das variáveis ambientais locais. Os resultados seriam complementados por diversas outras parcelas, em diversas outras coberturas vegetais, permitindo possível comparação entre uso do solo e perda de material. Variações deste método envolvem o tratamento estatístico dos dados coletados em campo numa tentativa de determinar quais das variáveis naturais influenciam em maior escala o processo erosivo.

Outro método foi desenvolvido por Wischmeier e Mannering (1969) de maneira a estabelecer “uma correlação entre erodibilidade e um grande número de variáveis” (SELBY, 1982, p.102). Através de estudos estatísticos prévios foi desenvolvida uma equação empírica, a *Universal Soil Loss Equation* (USLE), em

que 24 variáveis representativas das propriedades dos solos seriam analisadas, mais uma vez na intenção de prever erodibilidade dos solos, entretanto compreendeu-se que sua aplicação obteria resultados expressivos apenas em solos uniformes, de textura média.

Esses métodos supracitados foram sendo aprimorados ao longo dos últimos trinta anos e são ainda utilizados por diversos pesquisadores das geociências. Quando utilizada, a USLE (A = R x K x L x S x C x P) propõe quantificar a erosão anual do solo através de fatores de erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), cobertura e manejo (C), práticas de conservação (P), coeficientes de comprimento de rampa (L) e declividade (S) (CHAVES, 2010). O valor de R pretende quantificar o impacto da gota de chuva na superfície e fornece informações sobre a possível taxa de escoamento derivada da precipitação. K estima as diferentes condições naturais de um solo frente às intempéries. LS aliadas representam a topografia da área escolhida que interagem diretamente com a dissipação de energia do processo de escoamento. C trata da manutenção da cobertura vegetal e são relevantes tanto o cultivo quanto como é realizada sua prática, por fim, P que objetiva exemplificar as medidas implantadas para controle da erosão (RENARD e FERREIRA, 1993; LIGONJA e SHRESTHA, 2013).

Em um segundo momento, através da revisão da equação, obteve-se a RUSLE, forma adaptada para aumentar a precisão do modelo. Neste caso, modificou-se a forma de obter os valores LS e C e o cálculo de P tornou-se mais determinístico (YODER et al., 1992). Entretanto, apesar de todas as modificações, alguns autores comprovaram que a eficiência na previsão da perda de solo, ainda apresenta-se aquém do esperado (RAPP, 1994). Boardman (2006) aponta inclusive que apesar de uma gama de variáveis serem utilizadas para *input* de dados para operação da equação, informações como a taxa média de erosão que ocorre ou quais eventos específicos são primordiais para ocorrência da mobilização de material não são distinguidos.

De acordo com Chen (2011), pesquisas recentes tendem a associar as equações a técnicas de sensoriamento remoto e GIS (*Geographical Information System*) a fim de criar ferramentas eficazes na geração de informações espaciais e quantitativas sobre estudos de erosão do solo e mapeamento de avaliação de risco (RABIA, 2012). Pesquisas que seguem este padrão de associação de

técnicas têm obtido altos níveis de correlação e confiabilidade, configurando uma possibilidade na obtenção de informações refinadas para taxas de erosão.

Assim como a aplicação das equações de perda de solos, a utilização de estações experimentais como as parcelas ainda são frequentes, recorrendo atualmente a técnicas mais refinadas. Parcelas são porções fracionadas da paisagem – dividas a depender do enfoque da pesquisa – em que são realizadas coletas de sedimentos em diversos pontos para obter taxas do fluxo de sedimento (kg/m² ou t/ha) (PINESE JUNIOR, *et al*., 2008).

Ainda que aprimorados ao longo das últimas décadas, os métodos de quantificação da erosão necessitam ser aperfeiçoados para alcançar altos níveis de confiança quanto à quantificação das taxas de remobilização de sedimentos em escala de vertente.

Métodos alternativos de quantificação da erosão

Segundo Lal (1991), uma importante contribuição para a geomorfologia em métodos alternativos aos já consagrados para a quantificação de taxas de erosão e sedimentação foi à utilização de técnicas nucleares, aliados aos isótopos cosmogênicos, devido à relativa facilidade em quantifica-los em laboratório e a possibilidade de associa-los às dinâmicas da paisagem. A geocronologia é a técnica empregada para compreender o comportamento desses isótopos, sendo associada à mensuração de diferentes processos geomorfológicos (GOSSE e PHILLIPS, 2001).

Isótopos cosmogênicos são formados através da “interação da radiação cósmica com elementos químicos presentes na atmosfera e nos materiais litosféricos localizados nos poucos metros mais superficiais da crosta terrestre” (LAL, 1991; GOSSE e PHILLIPS, 2001, WALLING, 2012). Por ocorrerem nas porções superficiais da crosta é possível associar sua maior ou menor presença às intensidades dos processos aos quais estiveram submetidos. Segundo Walling (2012) e Salgado (2008) a quantificação dos isótopos permite compreender e mensurar taxas de erosão, datar eventos ou até mesmo compreender episódios neotectônicos.

A quantificação só acontece porque cada isótopo possui uma meia-vida específica, logo, servem como marcadores temporais. Sendo assim, as taxas de

decaimento determinam a escala do processo em que cada isótopo pode ser indicador, uma vez que possuem alta variabilidade partindo de dias até milhares de anos, como o ^{7}Be (53 dias), ^{210}Pb (22 anos), ^{137}Cs (30 anos), ^{10}Be (1.500 anos), ^{36}Cl (300 mil anos), ^{26}Al (730 mil anos) (LAL, 1991, WALLBRINK e MURRAY, 1996; BLAKE *et al*, 1999; SALGADO, 2008; LÓPEZ, 2017).

Desta forma podemos tomar como exemplos de diferentes escalas de análise e linhas de pesquisas empregadas, o trabalho desenvolvido por Figueira *et al*. "Levantamento das taxas de sedimentação na região costeira do estado de São Paulo utilizando o radionuclídeo ^{137}Cs" (2003) e o trabalho de Varajão et al., "Estudo da evolução da paisagem do quadrilátero ferrífero (Minas Gerais, Brasil) por meio da mensuração das taxas de erosão (^{10}Be) e da pedogênese" (2009).

O primeiro foi capaz de determinar o nível de ^{137}Cs referente ao período de maior incremento deste na atmosfera – pós explosão nuclear de Chernobyl – e determinar quando o *fallout* atingiu e depositou-se na costa paulista. O trabalho foi ainda capaz de quantificar a concentração deste em testemunhos e data-los, possibilitando o levantamento das taxas de sedimentação posteriores para a região.

No segundo, foi possível aliar a quantificação das taxas de erosão através do ^{10}Be às análises químicas, mineralógicas de perfis do solo para corroborar hipóteses há muito defendidas acerca do soerguimento da região do Quadrilátero Ferrífero e da separação de "dois Brasis geomorfológicos".

Apesar de abordagens distintas, ambos os trabalhos demonstram a relevância e importância de utilizar-se isótopos cosmogênicos para análise de remoção, transporte e sedimentação de material (GOMES, *et al.*, 2018). Há ainda a possibilidade de aliar diversos isótopos em uma pesquisa para análise multiescalar de um evento, subsidiando resultados cada vez mais próximos da realidade passada.

O ^{7}Be como instrumento de quantificação

Um dos isótopos utilizados para análise em grande escala é o ^{7}Be (Berílio-7). Por possuir meia-vida de 53 dias (BLAKE et al., 1999) o berílio-7 é relevante para estudos de processos ambientais tais como redistribuição do solo, avaliação da fonte de sedimentos, transporte de massa de ar e remoção

De acordo com Juri Ayub (2012) e Kaste (2002), sua taxa de produção na atmosfera (através da espalação de raios cósmicos, oxigênio e nitrogênio) (LAL, *et al*., 1985) relaciona-se diretamente com a taxa de deposição na superfície e varia de acordo com latitude, altitude e atividade solar. Seu principal meio de transporte até a superfície terrestre é através da precipitação, logo, ingressa no solo por via úmida, que representa aproximadamente 90% de sua deposição. Há possibilidade também de ocorrer por via seca, apenas pela ação da gravidade (KASTE, 2002).

Ao entrar em contato com a solos e vegetação, o ^{7}Be é rapidamente sequestrado por superfícies de troca catiônica, sendo rápida e fortemente fixado na superfície do solo (SCHULLER, 2006; KASTE, 2002). De acordo com a literatura, o isótopo é comumente encontrado apenas nos primeiros centímetros do solo (WALLBRINK e MURRAY, 1996).

A abordagem empregada para utilização do ^{7}Be como método de investigação da erosão baseia-se num primeiro momento na apreensão da densidade de atividade espacial ($Bq.m^{-2}$) medida no sítio de amostragem de referência – determinado por uma superfície não perturbada em que não há ocorrência nem de remoção nem de deposição de sedimento (SCHULLER, 2006). Em um segundo momento, é medida a densidade de atividade espacial do ponto de comparação, a redução ou incremento desse valor implica no ganho ou perda de material.

Unindo informações do grau de acréscimo ou decréscimo da atividade do ^{7}Be e informações sobre o comportamento da distribuição do isótopo nas camadas iniciais da superfície do solo, podem ser obtidas as estimativas de quantidades de erosão e deposição.

Segundo Schuller (2006), a partir do pressuposto da rápida e forte fixação do ^{7}Be e informações obtidas por Walling (1999) e Blake (1999) é possível assumir que a distribuição vertical do ponto de referência será caracterizada por uma diminuição exponencial da sua concentração perfil abaixo. Através desta característica foi possível que os autores convertessem o modelo de conversão de medidas da concentração de ^{7}Be em estimativas de intensidade de redistribuição de sedimentos.

Partindo do pressuposto que a distribuição em profundidade do ^{7}Be é exponencial podemos considerar (SCHULLER, 2006; LÓPEZ, 2017):

$$C(x) = C(0)\exp\left(\frac{-x}{h_0}\right)$$

[1]

Em que x (kg.m^{-2}) representa a profundidade mássica de solo medida da superfície e C(x) a concentração de ^{7}Be expressa em termos de densidade mássica de atividade (Bq.kg^{-1}) na profundidade x. Segundo López (2017), o *C*(0) é "dado pela concentração em atividade total do perfil abaixo de x = 0, e h_0 (kg.m^{-2}), a profundidade mássica de relaxação, parâmetro este que varia com a forma da distribuição em profundidade do ^{7}Be no solo".

Distribuição do ^{7}Be na superfície

De acordo com Marestoni (2007) como é um perfil exponencial de profundidade, 63% do ^{7}Be estará confinado na profundidade entre 0 e h_0, logo conclui-se que quanto maior for o valor de h_0 , maior será a profundidade de penetração do ^{7}Be no solo.

O inventário do sítio de referência, A_{ref} (Bq.m^{-2}), é definido como a atividade total de ^{7}Be por unidade de área em uma área estável:

$$A_{ref} = \int_0^{\infty} C(x)dx = h_0 C(0)$$

[2]

O inventário, abaixo da profundidade *x*, *A(x)* (Bq.m^{-2}) para a distribuição inicial é então:

$$A_x = \int_x^{\infty} C(x)dx = A_{ref}\exp\left(\frac{-x}{h_0}\right)$$

[3]

Como proposto por Schuller *et al*. (2006) e Sepulveda et al. (2008) e esclarecido no trabalho de López (2017, p.11): "medindo-se a concentração em atividade *(C)* em diferentes incrementos de profundidade de solo na área de referência e estabelecendo-se a massa em profundidade em cada incremento, os valores de *A(x)* para as profundidades mássicas x correspondentes podem ser determinados. A partir da regressão linear entre ln *(A(x))*, é possível encontrar h_0 *e* A_{ref}".

Perda de material no sítio de amostragem

Caso ocorra um evento que retire a camada superficial do ponto de amostragem em estudo, podemos afirmar que o remanescente do inventário de ^{7}Be *A* será menor que A_{ref}. A massa de material retirado por área, *R* (kg.m^{-2}) equivale a camada de material removido no ponto de amostragem. Substituindo *x* = *R* na equação (3), a atividade remanescente neste ponto pode ser calculada (LÓPEZ, 2017):

$$A_R = A_{ref} \exp\left(\frac{-R}{h_0}\right) \quad [4]$$

De acordo com López (2017) transformando a equação 4 a quantidade de material retirado R por unidade de área no sítio de amostragem pode ser calculada com base no inventário de referência:

$$R = h_0 \ln\left(\frac{A_{ref}}{A}\right) \quad [5]$$

Sendo h_0 parâmetro para "determinar a taxa de erosão de solo com base na medida total do inventário de ^{7}Be e constitui uma relação linear entre a taxa de erosão e o logaritmo natural da razão do inventário de referência do inventário de ^{7}Be medido" (LÓPEZ, 2017).

Deposição de material no sítio de amostragem

Por outro lado, se o inventário medido no sítio de amostrado *A'* possui valores maiores que A_{ref}, presume-se que ocorreu deposição de material no local. De acordo com Schuller *et al.*, (2006), Sepulveda *et al.*, (2008) e López (2017) pode-se determinar a massa de material depositado por unidade de área, *R'* (kg.m^{-2}), pela razão da atividade em excesso $(A'-A_{ref})$ e a concentração da atividade média de ^{7}Be do material depositado naquele ponto C_d (Bq.kg^{-1}):

$$R' = \left(\frac{A' - A_{ref}}{C_d}\right) \quad [6]$$

Estima-se o valor de C_d através da média dos valores das concentrações de atividade de ^{7}Be dos locais de perda de material. Já a estimativa da concentração da atividade de ^{7}Be no material erodido de um ponto C_e (Bq.kg^{-1}) é feita a partir da

divisão entre a fração do inventário perdido neste local e a massa de material erodido por unidade de área (LÓPEZ, 2017):

$$C_e = \left(\frac{A' - A_{ref}}{R} \right) = \frac{A_{ref}\left[1 - \exp\left(\frac{-R}{h_0}\right)\right]}{R} \quad [7]$$

A estimativa da concentração média em atividade do ^{7}Be do material depositado C_d é realizada através da média ponderada da concentração da atividade, C_e, do material movimentado da área S à montante (LÓPEZ, 2017):

$$C_d = \frac{\sum C_e R}{\sum R} \quad [8]$$

Ainda segundo López (2017) é possível estabelecer as taxas de erosão e deposição nos sítios em estudo caso sejam utilizados os parâmetros A_{ref} e h_0 previamente estabelecidos da distribuição vertical inicial do isótopo na superfície (sítio de referência) e as equações 5 e 6.

Walling (2009) ressalta que é necessário partir de três premissas para utilização do ^{7}Be como indicador de remobilização de sedimentos, sendo:

1. A quantidade de ^{7}Be presente na superfície antes do estudo em investigação deve estar distribuído de forma uniforme espacialmente;
2. A deposição do ^{7}Be associado ao processo erosivo também deve ser espacialmente uniforme na área em estudo;
3. O ^{7}Be rápida e fortemente fixado na superfície do solo só poderá ser redistribuído pela mobilização das partículas do solo.

As limitações da utilização deste radionuclídeo se dão devido ao delicado manuseio das amostras no momento de coleta, a dificuldade em quantificar o ^{7}Be em áreas cobertas por vegetação uma vez que fixa-se rapidamente na mesma e a disponibilidade de realizar a contagem da concentração do radionuclídeo de forma rápida (PINTO, 2011), devido ao seu relativamente curto período de meia-vida.

O ^{7}Be possui emissividade de raios gama na energia de 477,6 keV (baixa atividade); desta forma a técnica utilizada para detectá-lo e mensura-lo é a espectrometria gama (MARESTONI, 2007).

Áreas de amostragem

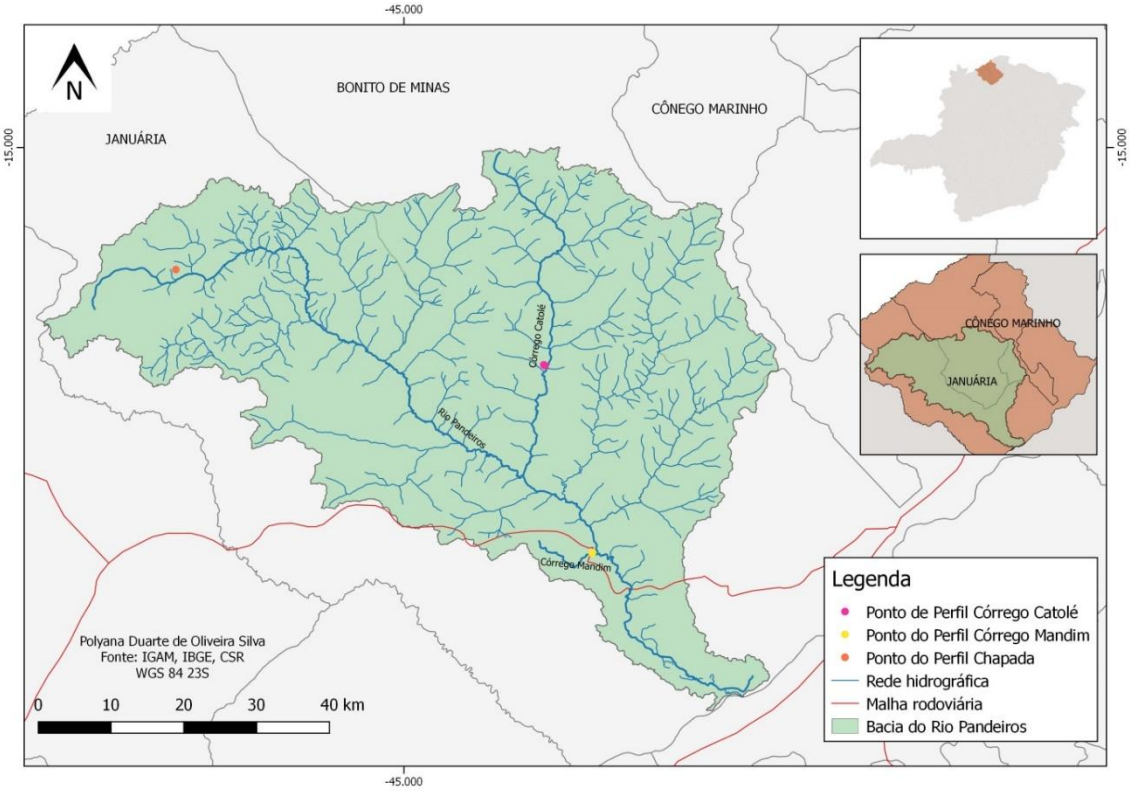


Figura **1**: Mapa de localização dos sítios escolhidos na Bacia do Rio Pandeiros.

Materiais e Métodos

O trabalho foi dividido em quatro etapas: pré-campo em gabinete, trabalho de campo, análises laboratoriais e análise preliminar dos dados. No pré-campo foi realizada análise da área de estudo a partir das bases de dados disponíveis e confecção de mapas para subsidiar a seleção de pontos de amostragem na fase seguinte. Foram utilizadas imagens Landsat (resolução 30m) e Ikonos (resolução 1m) para reconhecimento, e adquiridas base de dados através das plataformas livres das seguintes instituições: IDE-SISEMA, Instituto de Gestão das Águas (IGAM), Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE), Laboratório CSR (UFMG) e Departamento de Solos da Universidade de Viçosa (DPS/UFV). A literatura também foi consultada para melhor conhecimento das características físicas da área e para embasar a tomada de decisão.

Como o objetivo da pesquisa é de se obter uma perda média das vertentes da bacia, foi levado em consideração o tamanho da área, o tempo disponível para as análises e o tempo de decaimento do radionuclídeo. Buscou-se distribuir as áreas

de amostragem de maneira a representar e caracterizar sucintamente as vertentes de afluentes do Rio Pandeiros.

Este trabalho refere-se aos dados obtidos em duas vertentes, de dois afluentes do médio rio Pandeiros, um localizado na margem direita (Córrego Mandim, 44°45'29.49"O, 15°31'9.26"S) e o outro, na esquerda (Catolé, 44°49'14.94"O, 15°16'42.78"S) e no topo da Chapada da cabeceira do Rio Pandeiros (45°17'32.60"O, 15° 9'23.20"S).

O local selecionado para o estudo na chapada não foge às características gerais da mesma, está localizado dentro de uma propriedade privada e o uso da terra se resume a pasto e algumas árvores. As vertentes, embora escolhidas previamente em gabinete, tiveram de ser realocadas no campo, tendo em vista problemas de locomoção e acesso.

Em cada uma delas, foi realizado um transecto da alta a baixa vertente, seguindo metodologia proposta por Augustin (1979, *apud* MESSIAS et al., 2013), ao longo dos quais foram medidas as declividades com o auxílio de um clinômetro Suunto de leitura direta e de 3 balizas de 2m, a espaçamentos regulares de 20m entre cada uma delas, sendo as declividades tomadas em graus, convertidos ao sistema decimal. O azimute foi medido com o auxílio de uma bússola, em uma linha da alta vertente até a base mantida pelo alinhamento das 3 balizas, cujo primeiro ponto foi da alta vertente.

A abertura de perfis (trincheiras) para coleta de amostras foi pautada nos pontos centrais, denominados sítios geomorfológicos, identificados por rupturas de declive (AUGUSTIN, 1979) encontradas no levantamento da topografia, salvo o topo da chapada, em que não foi observada nenhuma ruptura, subsidiando a decisão de abrir apenas um perfil. Em suma, foi aberto um perfil no topo da chapada, na cabeceira do Rio Pandeiros, três perfis na vertente no Córrego Catolé e três perfis na vertente do Córrego Mandim.

Após abertos os perfis, foi observada a distribuição da geocobertura vertical e lateralmente, e de acordo com mudanças no padrão de distribuição das mesmas, foram coletadas amostras, da camada mais profunda para a mais superficial para não haver contaminação. Além disso, houve a descrição de todos atributos verificados.

Foram coletadas 6 amostras no Ponto 1 (Chapada), 14 amostras no Ponto 2 (Córrego Catolé) e 10 amostras no Ponto 3 (Córrego Mandim), que foram levadas para laboratório para análises físico-químicas que em etapa posterior devem subsidiar a caracterização das vertentes. Para as amostras para verificar a presença de ^{7}Be foram escolhidos pontos próximos aos perfis abertos para caracterização físico-química, evitando-se qualquer cobertura de vegetação. De acordo com trabalhos conduzidos por López (2017) em Minas Gerais, a concentração do berilo se dá muito próximo à superfície, decaindo a valores muito baixos, ou não detectáveis, abaixo de 5 cm de profundidade (LÓPEZ et al, 2017; ANDRELLO et al., 2010; FELLY et al., 1989).

Entretanto, por tratar-se de solos muito arenosos e permeáveis levantou-se a hipótese de que seria possível ultrapassar a espessura observada na literatura. Desta forma, foram coletadas amostras até 8 cm de profundidade, de 1 em 1 cm (0 -1 cm, 1 - 2 cm, 2 -3 cm, 3 - 4 cm, 4 - 5 cm, 5 - 6 cm, 6 - 7 cm, 7 - 8 cm). Utilizou-se uma chapa de ferro e trena para realização da medição e retirada do material que foi posteriormente alocado em sacos plásticos e rotulado.

No Ponto 1 (alto da Chapada) foram coletadas 8 amostras, no Córrego Catolé 24 (alta, média e baixa vertente) e no Córrego Mandim também 24 amostras (alta, média, e baixa vertente), totalizando 56 amostras e 7 pontos de amostragem para análise da concentração de ^{7}Be.

É importante ressaltar que a amostra no alto da Chapada foi coletada como um “sítio de referência” uma vez que por ter uma superfície relativamente plana e pouca cobertura vegetal, é possível apresentar distribuição do ^{7}Be em profundidade sem grandes interferências, devido a ausência de mobilização de sedimento.

Análises físicas e químicas

As análises laboratoriais foram divididas entre as físicas (granulometria) e químicas (pH em H_2O e KCl; CE; CO e MO) e realizadas no Laboratório de Geomorfologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (IGC/UFMG).

Espectrometria Gama

Preparo das amostras

A preparação das amostras do radionuclídeo ^{7}Be foi conduzida nas dependências do Serviço de Meio Ambiente (SEMAM) do Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN), Belo Horizonte-MG. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas (2 mm). De acordo com o método de López (2017, p.37) a terra fina seca ao ar (TFSA) será transferida para um béquer marinelli (700 ml).

Contagem da concentração de ^{7}Be

A detecção e mensuração da concentração de ^{7}Be nas amostras ocorre através da espectrometria gama que consiste na utilização de um detector de radiação conectado a um espectrômetro analisador multicanal. Os detectores utilizados são semicondutores, ou detectores de estado sólido, baseados em materiais semicondutores cristalinos como silício ou germânio. É necessária a utilização de um sistema criogênico para resfriamento dos semicondutores, que devem ser operados em baixas temperaturas (LÓPEZ, 2017) que são alocados dentro de um recipiente denominado criostato.

O detector gama fica no interior de uma blindagem de chumbo, necessária para minimizar a influência da radiação de fundo. Sobre a face do detector há um suporte circular que sustenta a fonte e atenua efeitos secundários de detecção "como soma e empilhamento, causados pelas transições gama mais intensas" (LÓPEZ, 2017).

Para analisar as amostras coletadas foi utilizado o sistema de espectrometria gama da marca CANBERRA com detector HPGe (germânio hiper-puro) coaxial modelo 5019, com 50% de eficiência nominal, DSA-2000 conectado a um microcomputador com placa multicanal de aquisição de espectros e o programa Genie 2K, do Laboratório de Espectrometria Nuclear - LEN, Serviço de Técnicas Analíticas – SERTA/CDTN.

Todos os dados de escritório, campo e laboratório foram compilados em tabelas e gráficos para análise, sumarização e discussão. Uma breve descrição das informações já obtidas é vista a seguir.

Resultados Preliminares

Ponto 1 (Chapada RIMA)

As análises físico-químicas realizadas no perfil aberto na Chapada acima da cabeceira do Rio Pandeiros (figura 1) (45°17'32.60"O, 15° 9'23.20"S) estão abaixo dispostas.

A fração granulométrica areia tem proporção majoritária na configuração do perfil (figura 2), decresce em aproximadamente 10% da camada superficial até o mais profundo enquanto a na fração argila há incremento inverso, possuindo concentração de ~25% na profundidade 89 cm+ e reduzida a 17% na superfície.

Os valores de pH (figura 3) determinados são bastante consistentes, tanto de H_2O quanto em KCl, mantendo um caráter ácido que não ultrapasse o valor 5. Conta também com baixa concentração de matéria orgânica (figura 4), atingindo valor máximo em g/kg nas camadas mais superficiais.

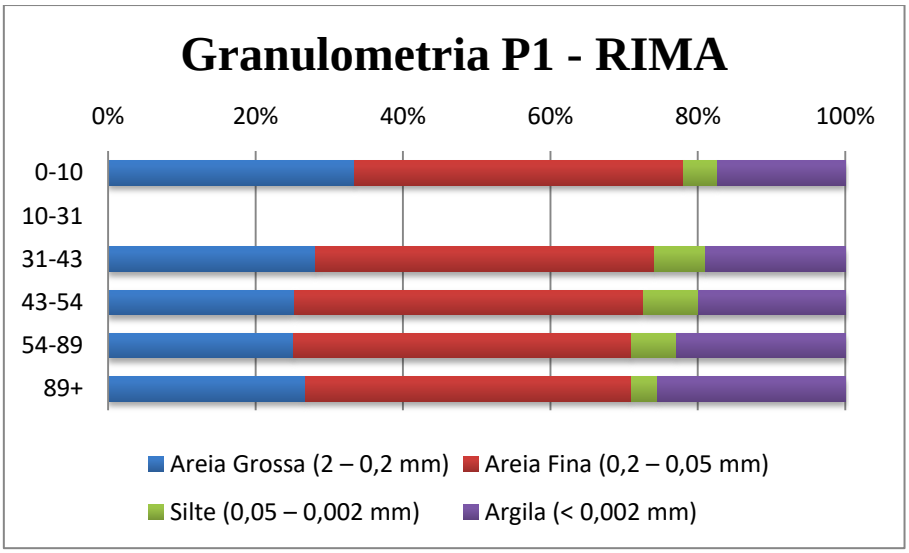


Figura 1: Granulometria Perfil 1 - Chapada

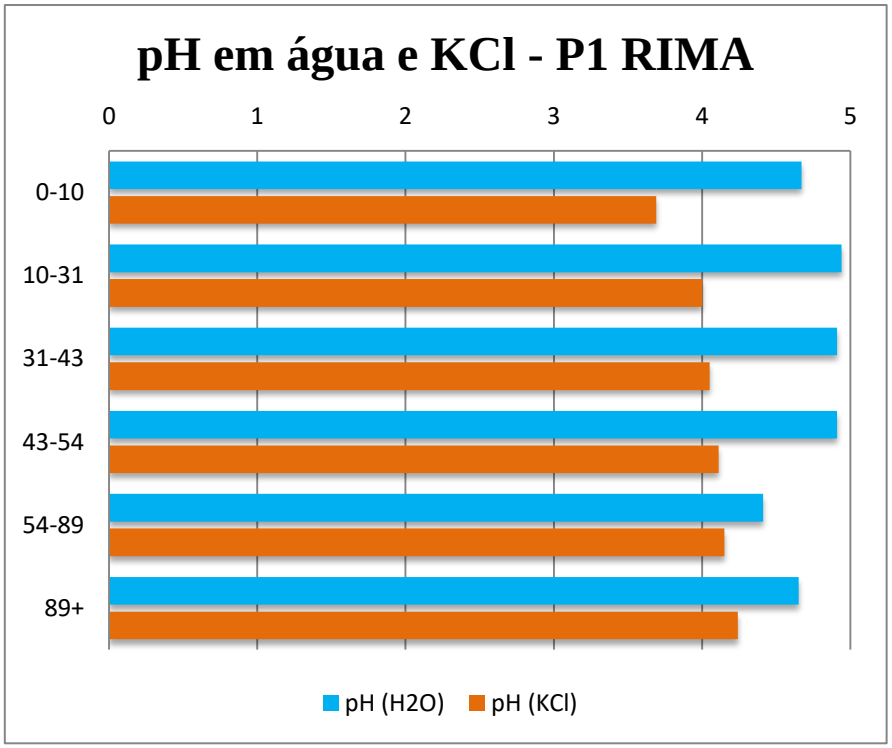


Figura 2:- pH em água e KCl Perfil 1 - Chapada.

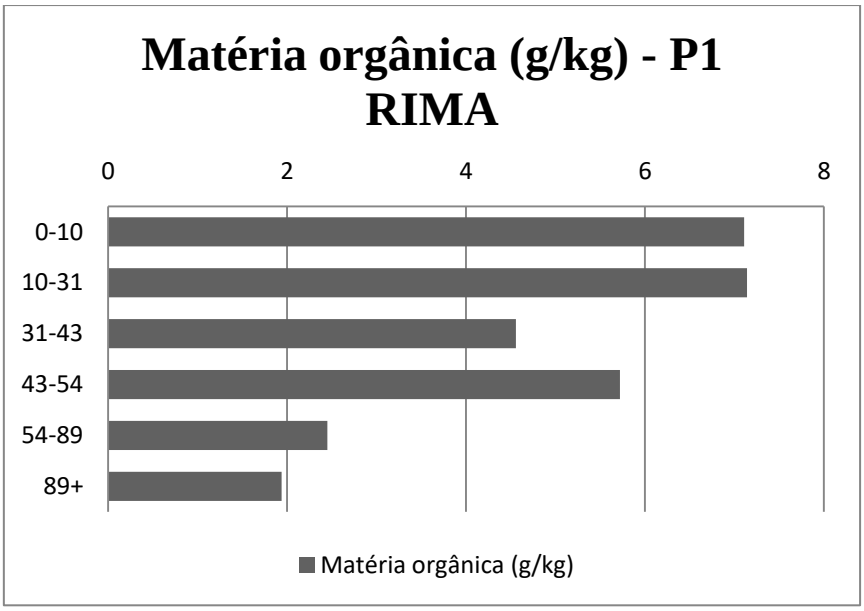


Figura 3: Matéria orgânica do Perfil 1 - Chapada

Figura 4: Local de abertura do Perfil 1 – Chapada

Ponto 2 (Córrego Catolé)

Os dois primeiros perfis (44°49'14.94"O, 15°16'42.78"S; 44°49'12.61"O, 15°16'44.31"S) assemelham-se bastante em termos de granulometria (figuras 6 e 10), possuem marcante presente da fração areia, alcançando 90% no primeiro e 88% no segundo da proporção na primeira profundidade. A diminuição da fração areia ocorre em ambos em direção às porções mais profundas. O primeiro (figura 6) possui um decréscimo de apenas 2%, entre a profundidade 0-12 e a 114 cm+, há por outro lado um incremento de 3% de argila ao compararmos as mesmas profundidades.

O segundo (figura 10) comporta-se de forma semelhante em termos de distribuição destas frações, apresentando decréscimo de areia de 5% entre as profundidades 0-22 e 109 cm+, enquanto que para na fração argila há incremento de 5% comparando-se as mesmas profundidades.

Em ambos os perfis há distribuição homogênea dos valores de pH (figuras–7 e 11), não ocorrendo muitas variações no delta pH, e mantendo-se ácido. Da mesma forma, a matéria orgânica ocorre em concentrações bem maiores na primeira profundidade e diminui conforme o aprofundamento do perfil (figuras 8 e 12).

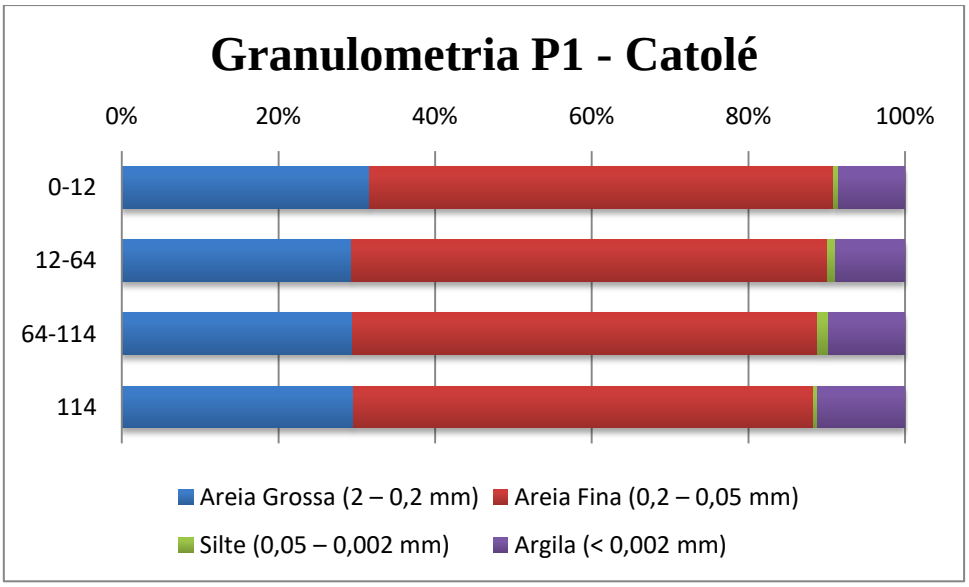


Figura 5: Granulometria Perfil 1 - Córrego Catolé.

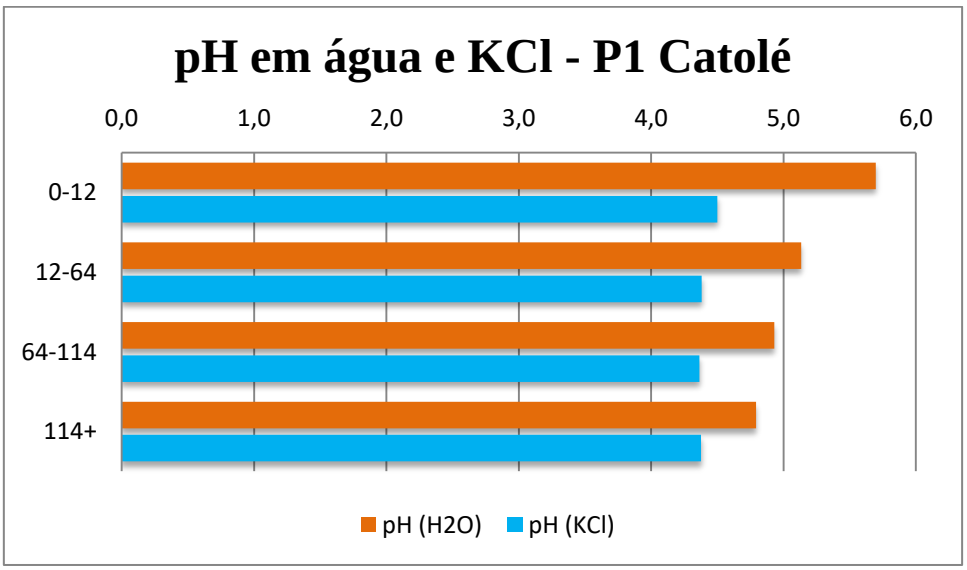


Figura 6: pH em água e KCl do Perfil 1 - Córrego Catolé.

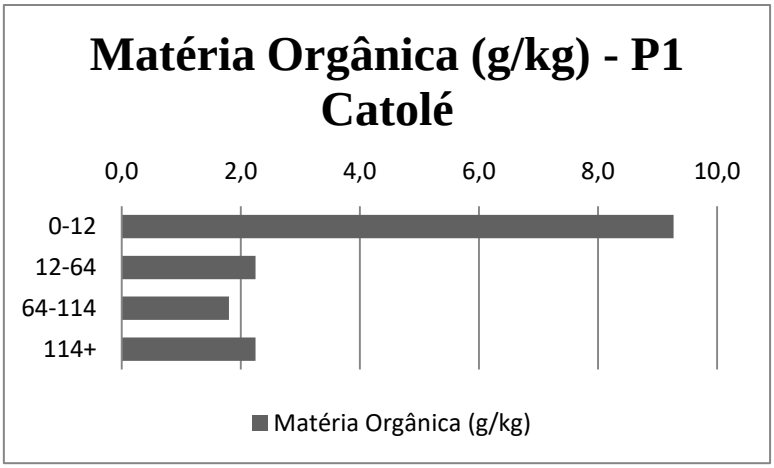


Figura 7: Matéria orgânica do Perfil 1 - Córrego Catolé.

Figura 8: Perfil 1:Córrego Catolé.

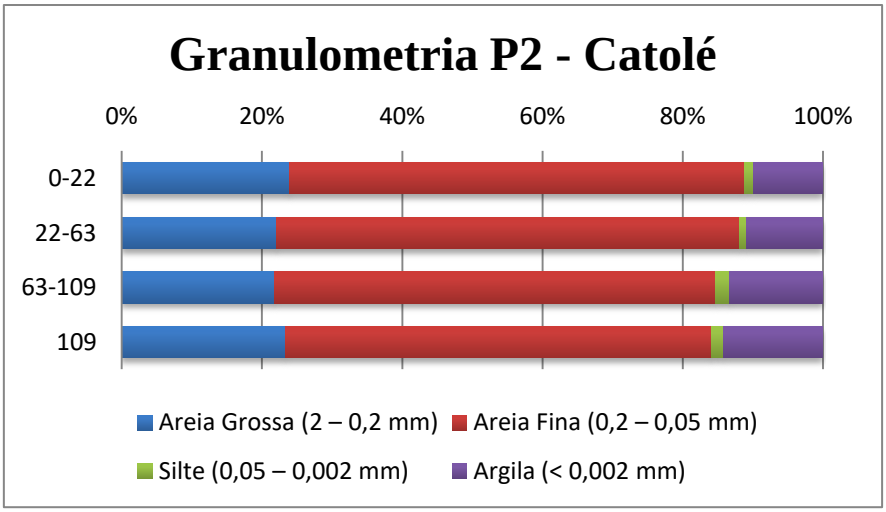


Figura 10: Granulometria do Perfil 2 - Córrego Catolé.

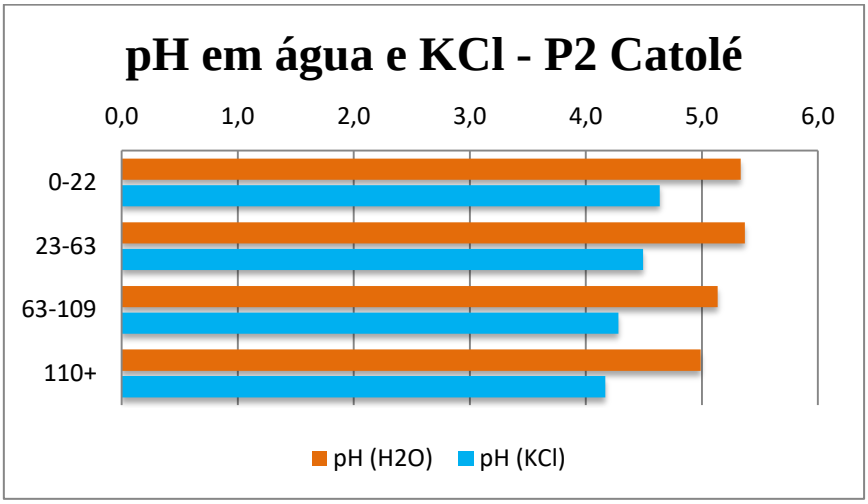


Figura 11: pH em água e KCl do Perfil 2 - Córrego Catolé.

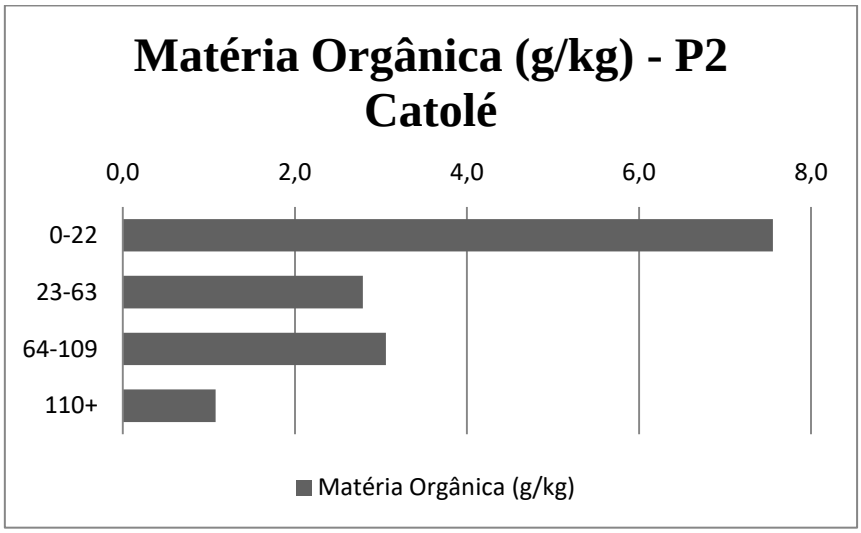


Figura 12: Matéria orgânica do Perfil 2 - Córrego Catolé.

Figura 13: Mostrando o Perfil 2 do Córrego Catolé.

Já o perfil 3 (figura 17) (44°49'9.59"O, 15°16'46.16"S) apresenta algumas características distintas dos dois primeiros descritos na vertente. Há uma maior variabilidade das distribuições granulométricas verticalmente, acentuando-se a concentração da fração areia na primeira profundidade (0-10 cm) e nas duas inferiores (47-61, 61 cm+), sendo as últimas compostas quase que completamente da fração areia (figura 14). Nas camadas intermediárias há uma concentração de argila muito maior do que a observada nos perfis da porção superior e meia vertente, alcançando até 22% da composição da amostra. O silte nas primeiras camadas também alcança concentrações maiores do que as até então observadas, chegando até 2%.

O delta pH do perfil 3 (figura 15) apesar de consistente em toda profundidade apresenta intervalos maiores do que nos perfis supracitados. A distribuição da matéria orgânica (figura 16) também é distinta, pois se concentra em maior volume na segunda profundidade coletada (10-20 cm), seguida pela terceira (20-33 cm) em detrimento da primeira (0-10 cm).

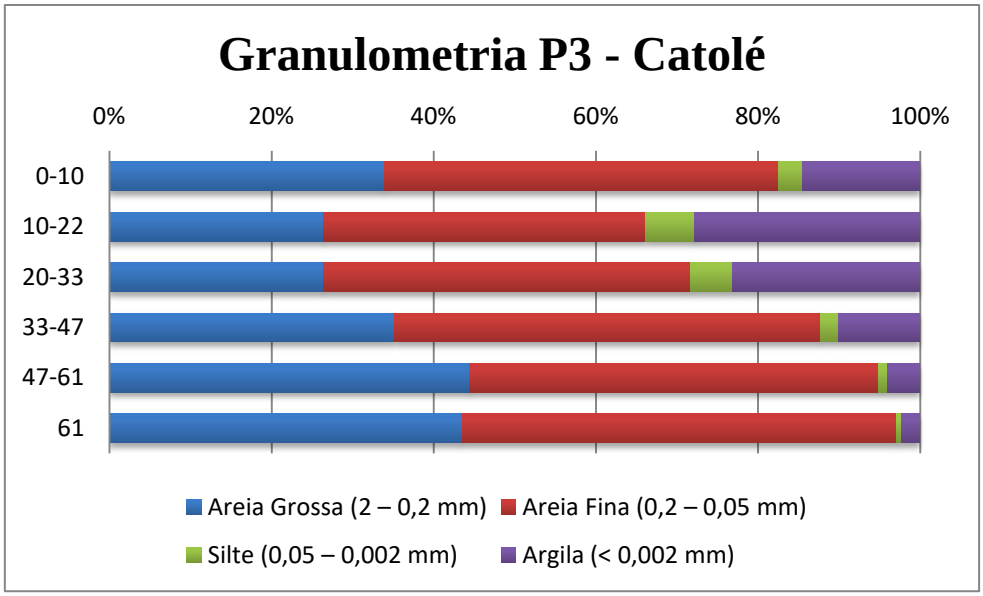


Figura 14: Granulometria do Perfil 3 - Córrego Catolé.

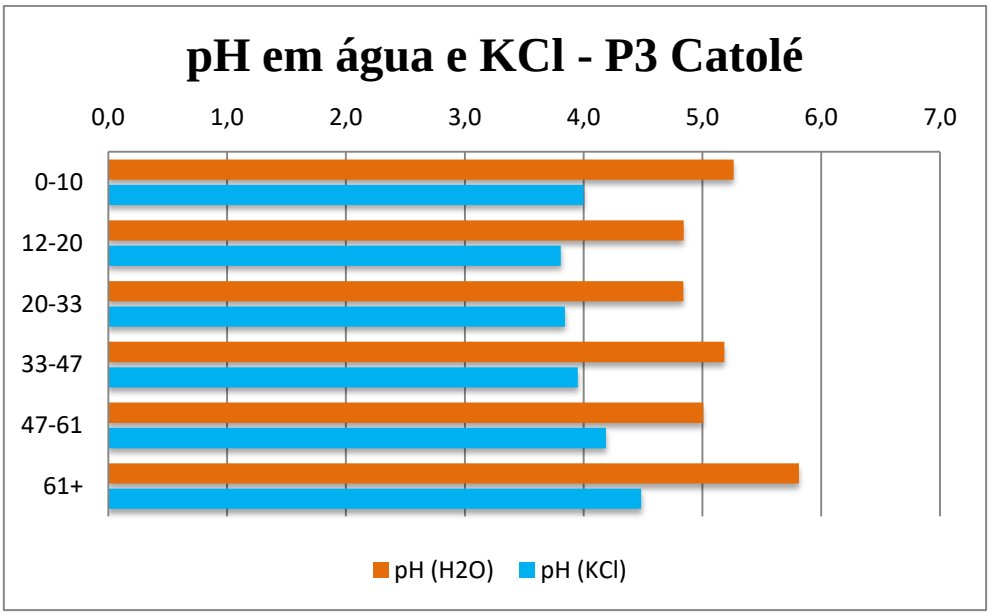


Figura 15: pH em água e KCl do Perfil 3 - Córrego Catolé.

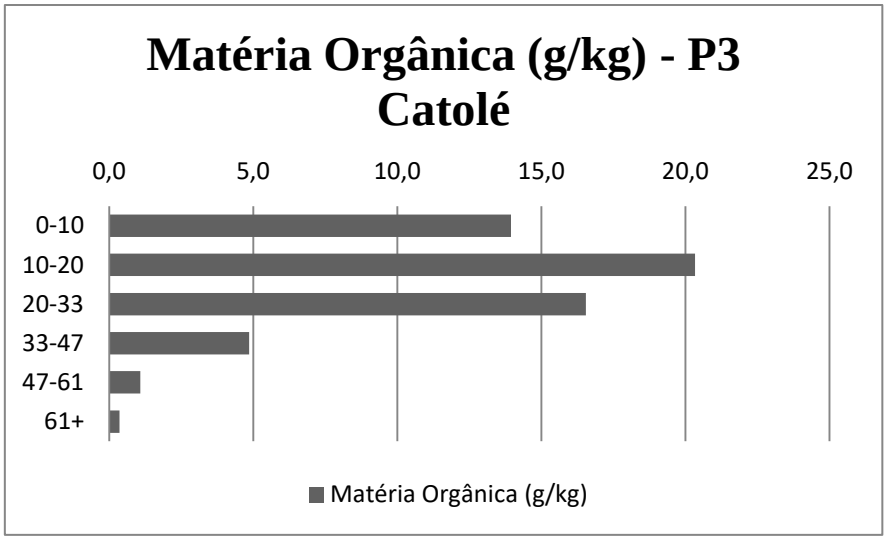


Figura 16: Matéria orgânica do Perfil 3 - Córrego Catolé.

Figura 17: Local de abertura do Perfil 3 - Córrego Catolé.

Ponto 3 (Córrego Mandim)

Na vertente selecionada do Córrego Mandim foram abertos três perfis para coleta de amostras. O primeiro (44°45'29.49"O, 15°31'9.26"S; 44°45'30.06"O, 15°31'10.48"S; 44°45'32.12"O, 15°31'12.82"S).

O primeiro perfil (figura 18) tem em toda sua extensão vertical mais de 86% de areia, alcançando até 90% na segunda profundidade (26-38 cm), enquanto que a fração argila varia no máximo em 3%, diminuindo sua concentração nas profundidades maiores. O segundo (figura 21) comporta-se de forma bastante semelhante, diferenciando-se apenas nas leves diferenciações nas concentrações. Nesse caso, há acréscimo de apenas 1% em areia de uma profundidade para a outra.

A concentração de matéria orgânica em ambos é baixíssima, ocorrendo apenas na profundidade 0-26 cm do primeiro perfil, no valor de 0,1 g/kg.

Além de bastante semelhantes quanto à granulometria, o mesmo ocorre com o pH (figuras 19 e 22). O primeiro perfil possui valores consistentes em toda sua extensão vertical, variando seu delta pH apenas entre -0,7 (26-38 cm) e -0,8 (0-26, 38-85 cm+). No segundo perfil a variação também é pequena, entre -0,6 (0-5 cm) e -0,7 (5-110 cm+).

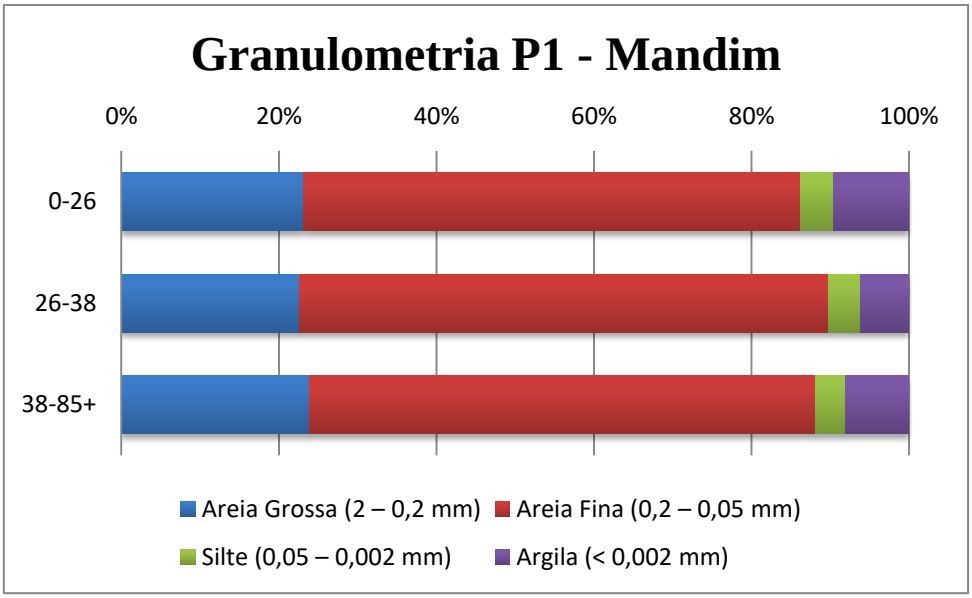


Figura 18: Granulometria do Perfil 1 - Córrego Mandim.

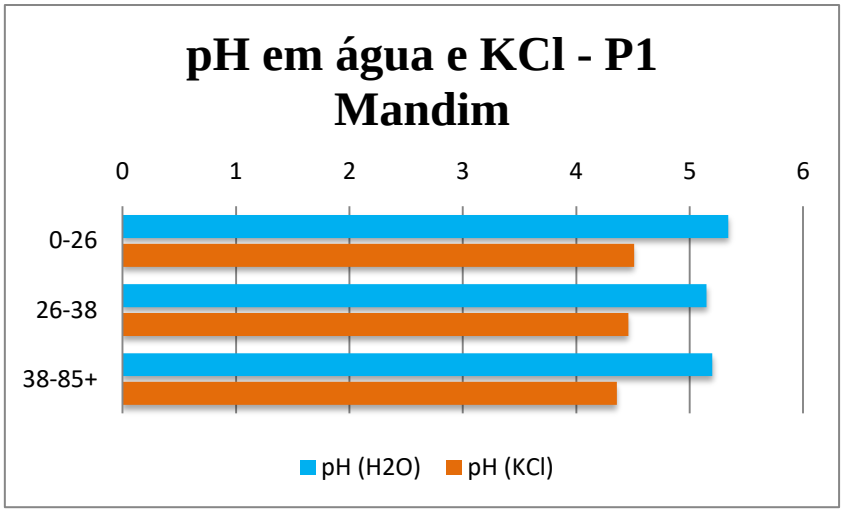


Figura 19: pH em água e KCl do Perfil 1 - Córrego Mandim.

Figura 20: Perfil 1 - Córrego Mandim.

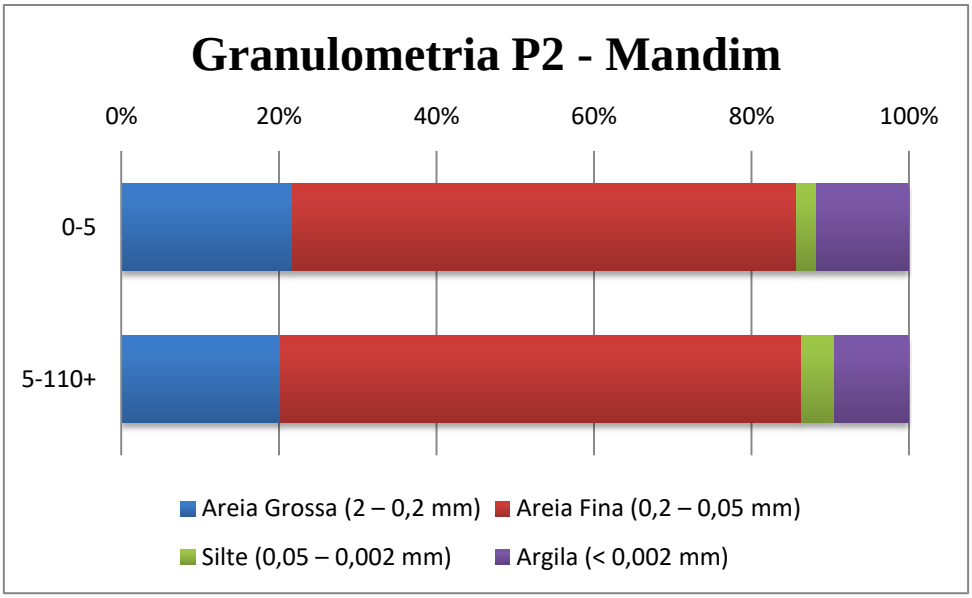


Figura 21: Granulometria do Perfil 2 - Córrego Mandim.

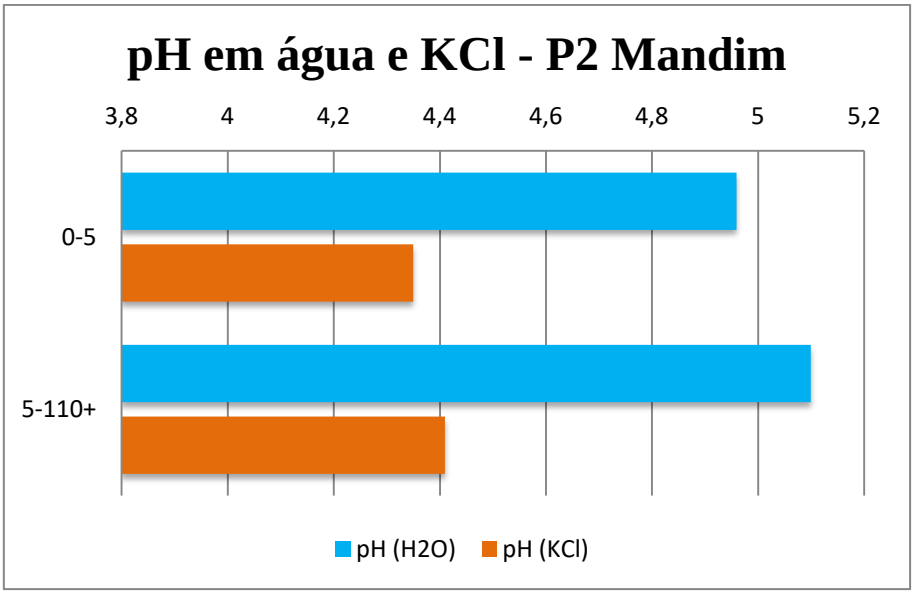


Figura 22: pH em água e KCl do Perfil 2 - Córrego Mandim.

Figura 23: Perfil 2 - Córrego Mandim.

No terceiro perfil (figura 24), também há predominância da fração areia, entretanto nesse caso pode chegar até 95% da camada e valores muito baixos para argila e silte em todo perfil. A maior concentração de argila ocorre na segunda profundidade (20-45 cm) em que alcança 4% do total granulométrico (figura 24). O pH varia bastante ao longo do perfil (figura 25), entre -0,6 na primeira profundidade (0-20cm), -1,2 na segunda) até -0,7 na última (84 cm+).

A presença de matéria orgânica neste também é muito baixa, ocorrendo apenas na primeira e segunda profundidade na concentração de 0,2 e 0,6 g/kg respectivamente.

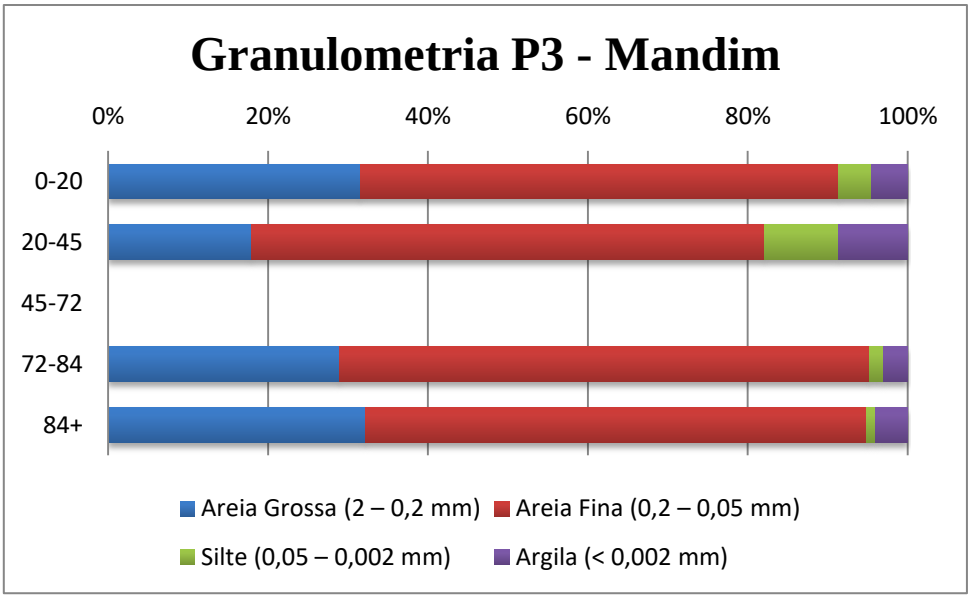


Figura 24: Granulometria do Perfil 3 - Córrego Mandim.

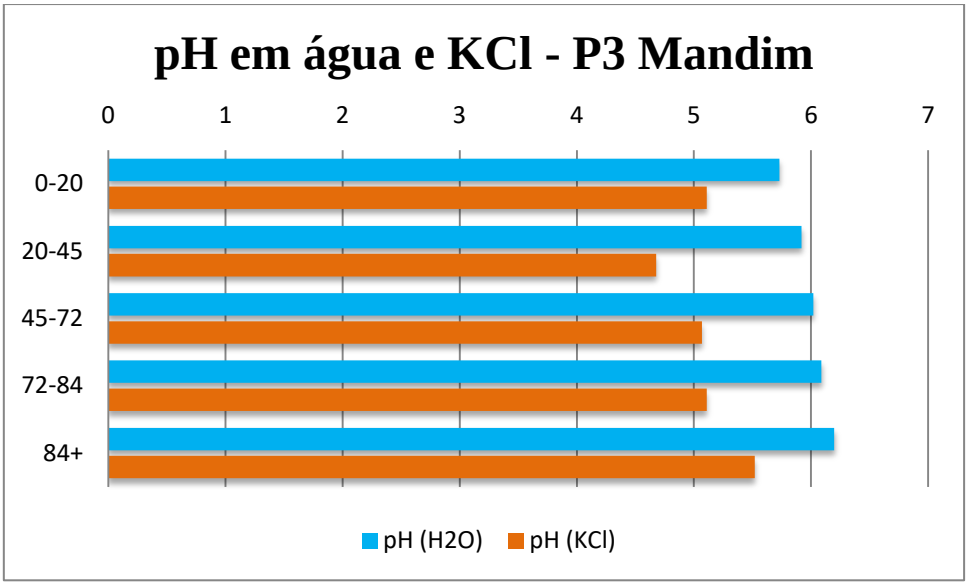


Figura 25: pH em água e KCl do Perfil 3 - Córrego Mandim.

Figura 26: Perfil 3 - Córrego Mandim.

4.1.10 PALEOVEGETAÇÃO, PALEOCLIMA E DINÂMICA FLUVIAL NA BACIA DO RIO PANDEIROS – MG, DURANTE O QUATERNÁRIO TARDIO.

Bibliografia Base:

SABINO, S.; MESSIAS, R.; SANT'ANNA, E.M.E.; AUGUSTIN, C.H.R.R.; de OLIVEIRA, D.A.; GOMES, M.O.S. Testagem de metodologia para confecção de lâminas palinológicas da vereda do Pantanal, APA Pandeiros, Minas Gerais. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Geografia Física e Mudanças Globais, UFC, Fortaleza, CE, de 11 a 15 de junho. 2019.

Relatório sobre andamento de Mestrado, entregue para fins de prestação de contas junto à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

Shirley Maria Lima Sabino (Mestrado: Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

Orientadora

Dra. Eneida Maria Eskinazi Sant'Anna

Coorientação

Dra. Makênia Oliveira Soares Gomes

Coorientação

Dra. Raquel Franco Cassino

Introdução

A influência de mudanças climáticas, detectadas para o período do Holoceno, são grandes responsáveis por diversas sucessões da cobertura vegetal sobre o território brasileiro durante este tempo geológico (Suguio 1999, Salgado-Labouriau 2007, Lorente 2010, Souza 2010, Cassino 2014). Buscando entender as sucessões vegetais de uma determinada área, dentro de um determinado intervalo de tempo, a paleopalinologia tem se mostrado capaz de fornecer rica fonte de dados de interpretação de ambientes pretéritos, ao fazer a ligação entre os exemplares paleopalinomorfos (Grãos de pólen, esporos de pteridófitas, zigósporos, entre outros) e as possíveis fitofisionomias ligadas aos mesmos (Salgado-Labouriau 1973, Lorente 2010, Ybert *et al* 1991, Suguio, 1999).

A análise morfológica dos grãos de pólen e esporos, parte do conhecimento de que uma espécie vegetal produz grãos que possuem características intrínsecas (Salgado-Labouriau 2007). Também, sabendo-se que a distribuição de espécies vegetais e sua evolução estão intimamente ligadas à predominância climática da região, bem como à evolução e processos formadores da paisagem (intemperismo, erosão, sedimentação, etc.), assim como, o de que as espécies vegetais existentes no passado Quaternário, são basicamente as mesmas que existem nos dias modernos (Ybert *et al* 1991, Suguio 1999), este trabalho tem o intuito de fazer o estudo paleopalinológico do pantanal da bacia do rio Pandeiros. Ele busca entender como se deu a evolução vegetal desta parte da bacia, inferindo sobre essa evolução fitofisionômica, as alterações climáticas, condições do substrato geológico e evolução geomorfológica, sobre a qual estão ligadas as fitofisionomias referentes aos grãos de pólen e esporos, preservados nos sedimentos de profundidade de uma vereda do pantanal do Pandeiros.

Área de Estudo

A Vereda do Pandeiros, como foi nomeada a vereda aqui em evidência e objeto de estudo deste trabalho, está localizada sobre as coordenadas geográficas; latitude 15° 37' 31"S, longitude 44° 41' 46,30"W, no médio pantanal da bacia do rio Pandeiros.

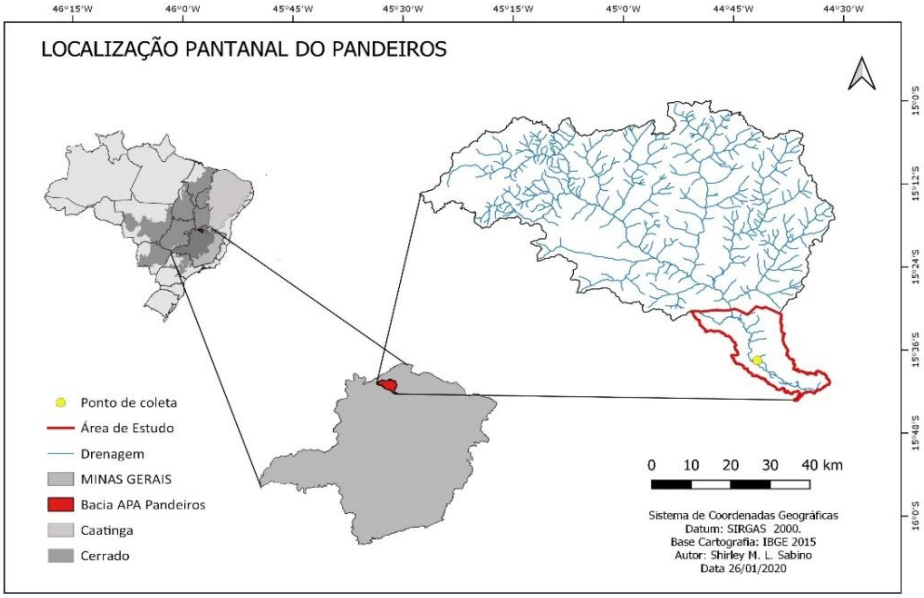


Figura 1: Mapa de localização do Pantanal do Pandeiros

Materiais e Métodos

Coleta de Amostras

O trabalho de campo aconteceu entre os dias 8 e 13 de março de 2017 e foi realizado no âmbito do Projeto Sustentabilidade da bacia do Rio Pandeiros - MG, linha temática: Dinâmica de Vertentes da bacia do rio Pandeiros, processo nº: APQ-03773-14, ao qual este projeto de mestrado está vinculado. Em parceria com o Departamento de Geografia, do Instituto de Geociências, da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e com o Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), o campo foi supervisionado e coordenado pela coordenadora do subprojeto 1a, professora Dra. Cristina Augustin, e os processos de coleta foram orientados pela professora Dra. Raquel Cassino (UFOP).

Figura 2: Localização e amostragens no Pantanal do Pandeiros. **A)** Imagem de satélite mostrando a localização da Lagoa Feia e da Vereda Pandeiros (Fonte: *GoogleEarth*). **B)** Processo de amostragem na Lagoa Feia **C)** fotografia de um testemunho coletado **D)** Testemunhador tipo *Russian* usado para coleta dos testemunhos.

Para a coleta de sedimentos, foi utilizada uma sonda manual do tipo *Russian*, com o qual foi retirado um testemunho de mais ou menos 150 cm de profundidade.

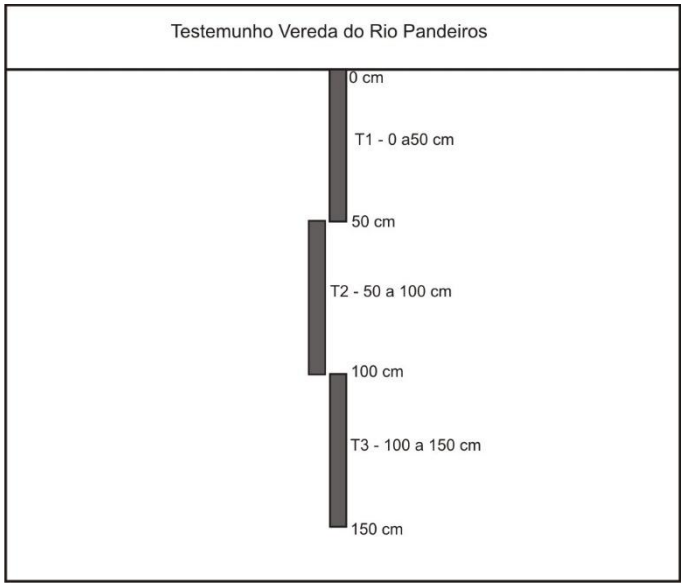


Figura 3- Perfil de amostragem do testemunho vereda/rio Pandeiros

Palinologia

Um dos requisitos fundamentais para a análise palinológica é a produção de lâminas que sejam translucidas, de tal forma que permitam a observação dos palinomorfos ao microscópio, deixando bem visível suas estruturas (Exina, sexina, ornamentação, quantidade de poros, etc.). Estas características estão ligadas a cada família a qual o grão de pólen e de esporo pertence.

Assim, entre outros fatores como excesso de sílica na amostra, o excesso de matéria orgânica que apesar de ser um indicativo de existência de palinomorfos, também é um fator de escurecimento das lâminas palinológicas, o que pode prejudicar a identificação dos grãos. Devido a sua característica de grande acúmulo de matéria orgânica, o sedimento coletado em um sistema de vereda necessita de uma preparação com maior foco na retirada desse fator de escurecimento da lâmina.

Análise qualitativa

A análise qualitativa se refere à etapa de classificação dos grãos de pólen e esporos. Para isso é feita a observação microscópica das características dos

grãos, e por meio de comparação dos exemplares contidos nas lâminas e os exemplares contidos na bibliografia de referência para assembleias polínicas do Cerrado (Salgado-Labouriau, 1973; Cassino 2014; Cassino e Mayer 2013), bem como as bibliografias de referência para classificação palinológica geral, (Ybert et al 2012; Barth 1965), se tenta chegar ao maior nível possível de especificação dos grãos. Para essa etapa foi utilizado um microscópio Trinocular BM2100 LE, com lente de aumento de 100X, acoplado a uma câmera digital modelo ISH130 de 1.3 megapixels.

Resultados Preliminares

Inicialmente se tentou seguir os protocolos tradicionais de preparo de lâminas palinológicas, indicados por Salgado-Labouriau (2007) e Ybert et al (1992) que indicam um banho aquecido de Hidróxido de Potássio (KOH), por um tempo máximo de cinco minutos. Todavia, essa metodologia não foi o suficiente para o clareamento das lâminas de sedimentos com origem da Vereda Pandeiros, o que dificultaria o prosseguimento da proposta de pesquisa. Por isso, foi necessária a adaptação dessa metodologia, aumentando para pelo menos três os banhos em KOH, bem como o tempo para cada banho, que passaram a ser de dez minutos cada.

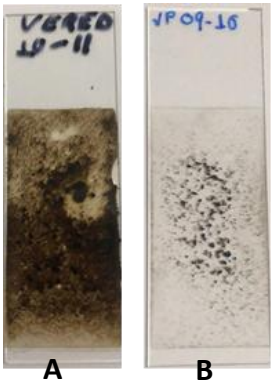


Figura 4:Lâminas comparativas entre métodos. Em A: Lâmina de material localizado entre 10 a 11 cm de profundidade, com preparação convencional; B: Lâmina de material localizado entre 09 – 10 cm de profundidade, preparada com metodologia adaptada.

A partir dessa nova adaptação da metodologia de produção de lâminas palinológicas, foram produzidas 30 lâminas, com duplicata, sendo cada lâmina referente a cada 5 cm de profundidade do testemunho.

Resultados da Análise Qualitativa

Por meio da análise qualitativa preliminar, se percebeu variações fitofisionômicas que oscilam, entre o topo e a profundidade de 125 cm do testemunho, em momentos de ambiente mais úmido e outros de maior drenagem do solo. Já a partir de 125 cm de profundidade até a base do testemunho, há um grande hiato polínico, que poderia ser indicativo que entre 125 e 148 cm de profundidade, o ambiente existente na Vereda do Pandeiros, não era propício para estabilização de qualquer espécie vegetal.

Análises de Carbono 14, Carbono total e isótopo de Carbono 13.

Foram feitas três datações de carbono 14 (C^{14}) nas profundidades de 20, 75 e 148 cm de profundidade, com idades de 901 anos AP (+/-37), 2791 AP (+/-35) e 2777 AP (+/-37), respectivamente. As análises de carbono total mostram concentrações 55,8% e 58,5%, para as profundidades de 20 e 75 cm, respectivamente. Já as análises de isótopo de Carbono 13 (δ^{13}) apontam concentrações de -26.6‰, para as profundidades de 20 e 75 cm e -27.9‰ para a profundidade de 148 cm.

Profundidade	Coordenadas		Altitude (m)	Sample identifier	Enriquecimento de C^{14} (% Modern ± 1σ)	Idade Convencional de radiocarbono (years BP ± 1 σ)	Teor de Carbono (%)	Isotopos de C^{13} δ^{13}_{CVPDB}‰ (±0.1)
	LAT	LONG	460	VP Top	89.39 ± 0.41	901 ± 37	55.8	-26.6
20-21cm	15° 37' 31"S	44° 41' 46,30"W						
74-75cm				VP Middle	70.65 ± 0.31	2791 ± 35	58.5	-26.6
147-148cm				VP Bottom	70.77 ± 0.33	2777 ± 37	34.9	-27.9

Tabela 1: Radiocarbono, Teor de Carbono e Isótopo de Carbono

Os valores ligados ao δ^{13} indicam que para ambas as profundidades há uma assinatura isotópica voltada para o predomínio de uma vegetação do tipo C_3, que tende a estar ligada às formações do tipo florestal. No que se trata do carbono total, há uma indicação de diminuição dos processos de acúmulo de matéria orgânica sentido topo-base do testemunho, fator que pode estar ligado a uma maior concentração de material silicoso (areia) nas proximidades da base. Esta hipótese será confirmada com a análise granulométrica, que será feita no mês de fevereiro de 2020.

As idades encontradas para o testemunho indicam que o material nas profundidades entre 75 e 148 cm, teria sido depositado em um curtíssimo período de tempo (de 0 a 35 anos), enquanto o material depositado entre as profundidades 75 e 20 cm, teria levado uma média de 1.800 anos. A correlação desses três dados fornecidos pelas análises de Carbono dá indicativos de que há 2.700 anos B.P. teria ocorrido um evento de grande intensidade, o qual teria proporcionado um processo intenso de sedimentação.

Resultados Obtidos

Resultados obtidos	
Testemunhos Sedimentares	1
Campo	1
Lâminas Palinológicas	30
Granulometria (Executar)	30
Idades Radiocarbônicas	3
Artigos e Resumos Publicados em Eventos	2

Tabela 2: Esquemática com resultados preliminares

Resultados Esperados

Espera-se que até a apresentação do volume final da dissertação, que foi proposta para essa pesquisa, setembro de 2020, seja acrescentado aos dados as serem interpretados, os da análise granulométrica, que dará auxílio na interpretação do ambiente de deposição dos sedimentos, de onde foram extraídas as assembleias polínicas. Em acréscimo, caso haja tempo e fundos, se espera acrescentar também mais uma datação por C^{14}, aumentando a resolução temporal dos eventos, e a contagem de fósseis de carvão, que corroborará para a averiguação de possíveis períodos secos.

Ao fim da produção dessa dissertação, se espera ser possível confirmar, ou ainda, descartar, a ocorrência de um fenômeno extremo, durante Holoceno tardio, que teria influenciado nos processos geomorfológicos do pantanal do Pandeiros.

Bibliografia

BARTH, O.M. **Glossário Palinológico**: Parte complementar ao “Catálogo Sistemático dos Pólens das Plantas Arbóreas do Brasil Meridional”. 1964. Instituto Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro. 1965.

CASSINO, R.F. **Reconstituição paleoambiental da região dos Cerrados do norte de minas gerais baseada na análise palinológica de sedimentos de Veredas e na comparação com conjuntos polínicos atuais**. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília. Brasília. 222p., 2014.

CASSINO, R.F.; MEYER, K.E.B., 2013. **Reconstrução paleoambiental do chapadão dos gerais (quaternário Tardio) a partir da análise Palinológica da Vereda Laçador, Minas Gerais, Brasil**. Revista Brasileira de Paleontologia. Brasil. 16(1): 127 – 146

LORENT, F.L.; JUNIOR, A.A.B.; DE OLIVEIRA, P.E.; PESSENDA, L.C.R. **Atlas Palinológico**. 2017. Laboratório ^{14}C – CENE/USP. 2017

YBERT, J-P.; CARVALHO, M. de A. **Dicionário Temático de Morfologia Esporopolínica**. 2012. Museu Nacional, Série Livros 47. Rio de Janeiro. 100 p. 2012

YBERT, J-P.; SALGADO-LABOURIAU, M.L..; BARTH, O.M.; LORSCHEITTER, M.L.; BARROS, M.A. de; CHAVES, S.A. de M.; DA LUZ, C.F.P.; RIBEIRO, M.; SCHEEL, R.; VICENTINI, K.F. Sugestões para Padronização da Metodologia Empregada em Estudos Palinológicos do Quaternário. In: **Revista do Instituto Geológico**. São Paulo. v.13, n.2, p.47-49, 1992.

SALGADO-LABOURIAU, M.L**. Contribuição à palinologia do Cerrado**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. 1973. 293p.

SALGADO-LABOURIAU, M.L. **Critérios e técnicas para o Quaternário**. São Paulo: Blücher. 2007. 387 p

SUGUIO, K. (ed) 1999. Geologia do Quaternário e mudanças ambientais (passado + Presente = futuro?). Paulo’s Comunicação e Artes Gráficas Ltda, 1° reimpressão, São Paulo. 366 p.

5 – RELAÇÃO DAS PUBLICAÇÕES DO SUBPROJETO 1a

Estão listadas as publicações submetidas, publicadas e apresentadas, decorrentes das pesquisas conduzidas pelo participantes do Subprojeto 1a.

5.1. Publicações em Revistas Indexadas

AUGUSTIN, C.H.R.R.; OLIVEIRA, D.A. de; FONSECA, B.M.; LIMA, A.P.; ARANHA, P.R.A.; BANDEIRA, J.V; Costa, R.D. Influências geológicas e geomorfológicas na evolução da bacia do rio Pandeiros – MG. 2020a, **MG.Biota, Número Especial** (em submissão).

AUGUSTIN, C.H.R.R.; FONSECA, B.M.; OLIVEIRA, D.A. de; LIMA, A.P.; ARANHA, P.R.A.; FRANCO. G.G. Formas de relevo da bacia do rio Pandeiros-MG. 2020b, MG.Biota, número Especial (em submissão).

AUGUSTIN, C.H.R.R.; OLIVEIRA, D.A. de; FONSECA, B.M.; LIMA, A.P.; ARANHA, P.R.A.; FRANCO, G.G. A bacia de drenagem do rio Pandeiros-MG:

Aspectos da dinâmica geomorfológica**.** 2020C. **MG.Biota, Número Especial** (em submissão)**.**

FONSECA, B.M.; COUTO, T.F.; AUGUSTIN, C.H.R.R.; FRANCO, G.G. Variação espaço-temporal do uso da terra e cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Pandeiros – MG. Natureza e Sociedade. 2020. (Submetida)

5.2. Publicações como Capítulos de Livros

OLIVEIRA, D.A.; AUGUSTIN, C.H.R.R.; FONSECA, B.M. **Proposta de mapeamento e delimitação dos domínios geomorfológicos da bacia hidrográfica do rio Pandeiros-MG**. *In*: Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. Campinas: Instituto de Geociências - UNICAMP, 2017, p. 6253–6262. DOI - 10.20396/sbgfa.v1i2017.2520 - ISBN 978-85-85369-16-3.

SABINO, S.; MESSIAS, R.; SANT'ANNA, E.M.E.; AUGUSTIN C.H.R.R.; de OLIVEIRA, D.A.; GOMES, M.O.S. Testagem de metodologia para confecção de lâminas palinológicas da vereda do Pantanal, APA Pandeiros, Minas Gerais. In: **O livro Geografia Física e as Mudanças Globais.** PINHEIRO, L.S.; GORAYEB, A. (Orgs.). Fortaleza: Editora UFC, p. 989-999, **2019**. ISBN: 978-85-7282-778-2.

Disponível em http://www.editora.ufc.br/images/imagens/pdf/geografia-fisica-e-as-mudancas-globais/490.pdf

LIMA, A.C.P de.; AUGUSTIN, C.H.R.R.; de OLIVEIRA, D.A. Distribuição espacial de voçorocas e sua relação com o relevo em escala de bacia para fins de amostragem: rio Pandeiros-MG. In: **O Livro Geografia Física e as Mudanças Globais**. PINHEIRO, L. de S.; GORAYEB, A. (Org.). Fortaleza: Editora UFC, p. 1-12, **2019**. ISBN: 978-85-7282-778-2.
Disponível em: http://www.editora.ufc.br/images/imagens/pdf/geografia-fisica-e-as-mudancas-globais/490.pdf

OLIVEIRA, D.A. de; AUGUSTIN, C.H.R.R. ; LIMA, A.C.P. de. Proposta preliminar de unidades hidrogeomorfológicas para o Pantanal do rio Pandeiros – MG. In: **O livro Geografia Física e as Mudanças Globais**. PINHEIRO, L. de S.; GORAYEB, A. (Org.). Fortaleza: Editora UFC, p.1-12, **2019.** ISBN: 978-85-7282-778-2. Disponível em: http://www.editora.ufc.br/images/imagens/pdf/geografia-fisica-e-as-mudancas-globais/490.pdf

SILVA, P.D.O.; AUGUSTIN, C.H.R.R.; MOREIRA, R.M.; LIMA, A.C.P. de; OLIVEIRA D.A. de. ^{7}Be e técnicas nucleares aplicadas às medidas de erosão de sedimentos: análise preliminar. In**: O livro Geografia Física e as Mudanças Globais**. Pinheiro, L. de S.; Adryane Gorayeb (Org.). Fortaleza: Editora UFC, **2019**, p.1-12. ISBN: 978-85-7282-778-2.
Disponível em: http://www.editora.ufc.br/images/imagens/pdf/geografia-fisica-e-as-mudancas-globais/490.pdf

5.3. Apresentação de Trabalho

OLIVEIRA, D.A.; AUGUSTIN, C.H.R.R.; FONSECA, B.M. (2017). Proposta de mapeamento e delimitação dos domínios geomorfológicos da bacia hidrográfica

do Rio Pandeiros-MG. IN: ...**XVII Simpósio Brasileiro de Geomorfologia Física Aplicada e I Congresso Nacional de Geografia Física Aplicada**, IGC, UNICAMP, Campinas- SP. 12 p.

SABINO, S.; MESSIAS, R.; SANT'ANNA, E.M.E.; AUGUSTIN C.H.R.R.; de OLIVEIRA D.A.; GOMES M.O.S. Testagem de metodologia para confecção de lâminas palinológicas da vereda do Pantanal, APA Pandeiros, Minas Gerais. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Geografia Física e Mudanças Globais, UFC, Fortaleza, CE, de 11 a 15 de junho. 2019.

LIMA, A.C.P de.; AUGUSTIN, C.H.R.R.; de OLIVEIRA, D.A. Distribuição espacial de voçorocas e sua relação com o relevo em escala de bacia para fins de amostragem: rio Pandeiros-MG. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Geografia Física e Mudanças Globais, UFC, Fortaleza, CE, de 11 a 15 de junho. 2019.

OLIVEIRA, D.A. de; AUGUSTIN, C.H.R.R.; LIMA, A.C.P. de. Proposta preliminar de unidades hidrogeomorfológicas para o Pantanal do rio Pandeiros – MG. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Geografia Física e Mudanças Globais, UFC, Fortaleza, CE, de 11 a 15 de junho. 2019.

SILVA, P.D.O.; AUGUSTIN, C.H.R.R.; MOREIRA, R.M.; LIMA, A.C.P. de; OLIVEIRA D.A. de. ^{7}Be e técnicas nucleares aplicadas às medidas de erosão de sedimentos: análise preliminar. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Geografia Física e Mudanças Globais, UFC, Fortaleza, CE, de 11 a 15 de junho. 2019.

5.4. Produção Acadêmica

OLIVEIRA, D.A. de. "Wetland" como unidade hidrogeomorfológica no contexto de uma região semiárida: análise da dinâmica do Pantanal da bacia de drenagem do rio Pandeiros – MG. Exame de Qualificação de Doutorado. 2018. 163p. Programa de Pós-Graduação de Geografia. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG. (Apresentada).

OLIVEIRA, D.A. de. *Wetland* como unidade hidrogeomorfológica no contexto de transição entre o cerrado e o semiárido brasileiro: análise da dinâmica do Pantanal da bacia de drenagem do rio Pandeiros – MG. Tese de doutorado. 2019. 341p. Programa de Pós-Graduação de Geografia. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG. (Defendida).

LIMA, A.C.P. de. Análise da distribuição espacial de voçorocas em domínio de rochas siliciclásticas: bacia do rio Pandeiros-MG. Dissertação de Mestrado. 2019. 83p. Programa de Pós-Graduação de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG. (Defendida).

SILVA, P.D.de O. Utilização do isótopo ^{7}Be como método de investigação da erosão em escala de vertentes. Qualificação de Mestrado. 2019. 58p. Programa de Pós-Graduação de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG. (Apresentada).

SILVA, P.D.de O. Utilização do isótopo ^{7}Be como método de investigação da erosão em escala de vertentes. Qualificação de Mestrado. 2020. 83p. Programa de Pós-Graduação de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG. (Defendida).

CARVALHO, D.C.F. **Dinâmica do processo de deposição fluvial no Pantanal Mineiro – Rio Pandeiros (MG).** Trabalho de Conclusão I (TCC I), de Licenciatura do Curso de Geografia. 2017. 53p**.** Departamento de Geografia, Instituto de Geociências Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG. (Defendida).

CARVALHO, D.C.F. **Caracterização de perfis de sedimentação fluvial no Pantanal Mineiro – rio Pandeiros (MG).** Trabalho de Conclusão II (TCC II), de Bacharelado do Curso de Geografia. 2017. 18p**.** Departamento de Geografia, Instituto de Geociências Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG. (Defendida).

5.5 Lista dos autores participantes do Relatório

Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin

Bráulio Magalhães Fonseca

Diego Alves de Oliveira

Arnon Costa Pereira de Lima

Paulo Roberto Antunes Aranha

Polyana Duarte de Oliveira Silva

Guilherme Gandra Franco

Shirley Maria Lima Sabino

Ricardo Diniz Costa

Jefferson Vianna Bandeira