



Número: 123/2010

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL**

**DANIEL LUÍS STORANI**

**GEOSSISTEMAS E FRAGILIDADE DE TERRAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
MOGI GUAÇU/SP**

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências  
como parte dos requisitos para obtenção do título de  
Mestre em Geografia, Análise Ambiental e Dinâmica  
Territorial.

**Orientador:** Prof. Dr. Archimedes Perez Filho

**CAMPINAS - SÃO PAULO**

Agosto / 2010

**Catálogo na Publicação elaborada pela Biblioteca  
do Instituto de Geociências/UNICAMP**

St74g Storani, Daniel Luís.  
Geossistemas e fragilidade de terras na bacia hidrográfica do Rio Mogi  
Guaçu/SP / Daniel Luís Storani-- Campinas,SP.: [s.n.], 2010.

Orientador: Archimedes Perez Filho.  
Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto  
de Geociências.

1.Geografia física. 2. Geomorfologia fluvial – Mogi-Guaçu, Rio  
(SP) 3. Homem – Influência sobre a natureza. 4. Solo – Erosão. I.  
Perez Filho, Archimedes. II. Universidade Estadual de Campinas,  
Instituto de Geociências. III. Título.

Título em ingles: Geosystemic units and land fragility in Mogi Guaçu/SP River basin.

Keywords: - Physical Geography;

- Fluvial geomorphology – Mogi-Guaçu, River (SP);

- Man – Influence of environment;

- Soil - Erosion.

Área de concentração: Análise Ambiental e Dinâmica Territorial

Titulação: Mestre em Geografia.

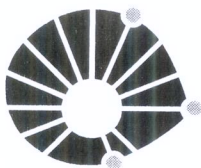
Banca examinadora: - Archimedes Perez Filho;

- Carlos Roberto Espíndola;

- Márcio Henrique de Campos Zancopé.

Data da defesa: 30/08/2010

Programa de Pós-graduação em Geografia.



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
ÁREA DE ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

**AUTOR:** Daniel Luis Storani

“Geossistemas e Fragilidade de Terras na Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu/SP”

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Archimedes Perez Filho

Aprovado em: 30/08/2010

**EXAMINADORES:**

Prof. Dr. Archimedes Perez Filho \_\_\_\_\_ - Presidente

Prof. Dr. Carlos Roberto Espíndola \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Márcio Henrique de Campos Zancopé \_\_\_\_\_

Campinas, 30 agosto de 2010

**Aos meus amados pais, dedico.**

## **AGRADECIMENTOS**

À minha amada família, pais e irmãs, que sempre me apoiaram incondicionalmente e não mediram esforços para que eu pudesse atingir meus objetivos.

Ao professor e orientador Prof. Dr. Archimedes Perez filho, pelos ensinamentos, orientação dedicada e influência positiva em minha vida acadêmica.

Aos amigos Clayton, Ana Isabel e Viviane, que além do apoio, foram de extrema importância e ajuda na caminhada até aqui desde a graduação. Ao amigo André Luiz, que ajudou a encontrar técnicas fundamentais para a pesquisa.

Ao professor Salvador Carpi Junior, que muito me ajudou, no laboratório, nos trabalhos de campo e nas discussões sobre a pesquisa.

Ao professor Márcio Henrique de Campos Zancopé, por também ter ajudado nos trabalhos de campo e com orientações a respeito do trabalho.

À Profa. Dra. Regina Célia Oliveira e ao Prof. Dr. Carlos Roberto Espíndola, pelas sugestões feitas na qualificação.

À Profa. Dra. Adriana Cavalieri Sais, pelo fornecimento de dados referentes à Bacia do Mogi Guaçu, essenciais para a realização da pesquisa.

A Jaime Anísio de Freitas, à EEco. Mogi-Guaçu (Fazenda Campininha) e à Divisão de Reservas e Parques Estaduais do Instituto Florestal do Estado de São Paulo, pela permissão de acesso a áreas de interesse em trabalho de campo.

À administração da Estação Ecológica de Jataí, em Luiz Antônio/SP, ao gestor Edson Montilha, à funcionária Cícera e ao ex-funcionário Sebastião.

Ao Laboratório de Vidros e Datação da FATEC, à Profa. Dra. Sonia Hatsue Tatumi, ao Prof. Dr. Márcio Yee e ao Dr. Silvio Luiz Miranda Brito, pelas datações por LOE das amostras de solos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo – FAPESP, pelo apoio financeiro com a bolsa de mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, seus funcionários e professores.

## SUMÁRIO

|                                                                                                          |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                                                                                  | xi   |
| ÍNDICE DE TABELAS .....                                                                                  | xiii |
| RESUMO .....                                                                                             | xv   |
| ABSTRACT .....                                                                                           | xvii |
| 1. INTRODUÇÃO.....                                                                                       | 1    |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....                                                                           | 3    |
| 2.1 – Sistemas e Geossistemas.....                                                                       | 3    |
| 2.2 – Quaternário e relevo.....                                                                          | 9    |
| 2.2.1 – O relevo e a influência do clima .....                                                           | 9    |
| 2.2.2 – Variações climáticas do Quaternário .....                                                        | 13   |
| 2.2.3 – As glaciações quaternárias .....                                                                 | 16   |
| 2.2.4 – Condições climáticas pleistocênicas no Brasil .....                                              | 18   |
| 2.2.5 – Depressão Periférica Paulista e Quaternário no Brasil: variações climáticas e repercussões ..... | 21   |
| 2.2.6 – Relação solos e superfícies geomorfológicas na Depressão Periférica.....                         | 27   |
| 2.2.7 – Mudanças paleoclimáticas durante o Quaternário tardio no Brasil: outros métodos e estudos .....  | 29   |
| 2.3 – O papel da vegetação na evolução da paisagem .....                                                 | 30   |
| 2.3.1 – O cerrado.....                                                                                   | 31   |
| 2.3.2 – O cerrado e as condições climáticas pleistocênicas .....                                         | 32   |
| 2.3.3 – Condições pedológicas e constituição do cerrado.....                                             | 34   |
| 2.4 – Datações absolutas de solos: o método de Luminescência Opticamente Estimulada (LOE).....           | 37   |
| 3. HIPÓTESE E OBJETIVOS .....                                                                            | 39   |
| 4. MATERIAIS E MÉTODOS.....                                                                              | 41   |
| 4.1 – A Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu .....                                                       | 41   |
| 4.1.1 – Limites administrativos e zoneamento.....                                                        | 43   |

|                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1.2 – Aspectos geomorfológicos.....                                                                    | 46  |
| 4.2 – Delimitação e análise da Bacia .....                                                               | 47  |
| 4.2.1 – Delimitação das Unidades Geossistêmicas da Bacia Hidrográfica do Mogi Guaçu...                   | 54  |
| 4.2.2 – Escolha dos pontos de coletas de amostras para datação .....                                     | 55  |
| 4.2.3 – Coleta e datação de amostras de solos .....                                                      | 65  |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....                                                                          | 69  |
| 5.1 – Resultados da análise do relevo da Bacia .....                                                     | 69  |
| 5.2 – Unidades Geossistêmicas da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu.....                               | 70  |
| 5.3 – Resultados da datação dos solos dos pontos selecionados .....                                      | 77  |
| 5.4 – Idades dos solos e superfícies geomorfológicas na Fazenda Campininha, Mogi Guaçu/SP                | 78  |
| 5.5 – Idades dos solos e superfícies geomorfológicas na Estação Ecológica de Jataí, Luiz Antônio/SP..... | 82  |
| 5.6 – Cenário regional da evolução da paisagem.....                                                      | 84  |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....                                                                            | 87  |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                                      | 91  |
| 8. ANEXOS.....                                                                                           | 101 |
| Anexo 1.....                                                                                             | 96  |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 2.1</b> – Os elementos A, B, C e as suas relações a, b, c numa estrutura idealizada de sistema (Fonte: Penteado, 1980) .....                                                                                                         | 4  |
| <b>Figura 2.2</b> – Estrutura conceitual da organização espacial e envolvimento com disciplinas subsidiárias (Fonte: Christofolletti, 1999).....                                                                                               | 8  |
| <b>Figura 2.3</b> – Esquema de circulação lenta/rápida (Fonte: Penteado, 1980) .....                                                                                                                                                           | 15 |
| <b>Figura 2.4</b> – Mapa da América do Sul mostrando distribuição generalizada de correntes oceânicas e sistemas de ventos para o tempo presente nas fases úmidas prévias nos períodos interglaciais. (Fonte: Damuth & Fairbridge, 1970) ..... | 19 |
| <b>Figura 2.5</b> – Mapa da América do Sul mostrando distribuição generalizada das correntes oceânicas e sistemas de ventos postulados para as fases glaciais pleistocênicas. (Fonte: Damuth & Fairbridge, 1970).....                          | 20 |
| <b>Figura 4.1</b> – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu/SP.....                                                                                                                                                                | 41 |
| <b>Figura 4.2</b> – Municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu/SP (Adaptado: CBH-MOGI, 2008).....                                                                                                                                      | 43 |
| <b>Figura 4.3</b> – Compartimentos administrativos da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu atualizados em 2008 (Fonte: CBH-Mogi, 2008) .....                                                                                                   | 45 |
| <b>Figura 4.4</b> – Compartimentos geomorfológicos da Bacia do Mogi Guaçu (Fonte: Zancopé, 2008).....                                                                                                                                          | 47 |
| <b>Figura 4.5</b> – Litologia da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu/SP (Fonte: CPRM, s/d).....                                                                                                                                               | 50 |
| <b>Figura 4.6</b> – Rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu/SP (Adaptado de: CBH-Mogi, 2008) .....                                                                                                                            | 51 |
| <b>Figura 4.7</b> – Mapa de Solos da Bacia do Rio Mogi Guaçu (Fonte: CBH-MOGI, 1999) .....                                                                                                                                                     | 52 |
| <b>Figura 4.8</b> – Mapa da Vegetação Nativa da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu por município (Fonte: CBH-MOGI, 1999).....                                                                                                                | 53 |
| <b>Figura 4.9</b> – Mapa dos Tipos Climáticos (Sistema Internacional de Köppen) da Bacia do Rio Mogi Guaçu (Fonte: CBH-MOGI, 1999) .....                                                                                                       | 54 |
| <b>Figura 4.10</b> – Perfil A-B-C analisado em área de planície fluvial do Rio Mogi Guaçu, Fazenda Campininha, Mogi Guaçu/SP. (Fonte: Perez Filho <i>et al.</i> , 1980).....                                                                   | 58 |
| <b>Figura 4.11</b> – Esboço geomorfológico de várzea da Fazenda Campininha, em Mogi Guaçu/SP, onde foram feitas coletas de amostras de solos para datação absoluta (Fonte: Perez Filho <i>et al.</i> , 1980).....                              | 58 |

|                                                                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 4.12</b> – Localização dos pontos de coleta de amostras de solo na Fazenda Campininha, em Mogi Guaçu/SP .....                                                                             | 60 |
| <b>Figura 4.13</b> – Localização dos pontos de coleta de amostras de solo no Horto Florestal de Mogi Mirim/SP .....                                                                                 | 61 |
| <b>Figura 4.14</b> – Localização das vertentes citadas na Estação Ecológica de Jataí (Fonte: Quaresma, 2008).....                                                                                   | 63 |
| <b>Figura 4.15</b> – Localização dos pontos de coleta de amostras de solo na Estação Ecológica de Jataí, em Luiz Antônio/SP .....                                                                   | 64 |
| <b>Figura 4.16</b> – Limpeza e de área para coleta e tubo de PVC enterrado no solo a ser datado.....                                                                                                | 65 |
| <b>Figura 4.17</b> – Limpeza e de área para coleta e tubo de PVC enterrado no solo a ser datado.....                                                                                                | 65 |
| <b>Figura 5.1</b> – Mapa altimétrico da Bacia Hidrográfica do Mogi Guaçu/SP, elaborado a partir de dados SRTM (Adaptado de: Earth Observing System Data and Information System – EOSDIS, 2009)..... | 69 |
| <b>Figura 5.2</b> – Modelo Digital do Terreno da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu/SP, elaborado a partir de dados altimétricos obtidos por meio de dados SRTM.....                              | 70 |
| <b>Figura 5.3</b> – Mapa das Unidades Geossistêmicas da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu ....                                                                                                   | 71 |
| <b>Figura 5.4</b> – Perfil A-B-C na planície de inundação do rio Mogi Guaçu/SP com os resultados das datações por LOE (Adaptado de: Perez Filho <i>et al.</i> , 1980).....                          | 80 |
| <b>Figura 5.5</b> – Indicação de ponto datado em vertente da Estação Ecológica de Jataí, em Luiz Antônio/SP (Adaptado de: Quaresma, 2008).....                                                      | 83 |
| <b>Figura 5.6</b> – Indicações de pontos datados em vertente da Estação Ecológica de Jataí, em Luiz Antônio/SP (Adaptado de: Quaresma, 2008).....                                                   | 84 |

## ÍNDICE DE TABELAS

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 2.1</b> – Fases glaciais e interglaciais na Europa (Adaptado de Penteadó, 1980) .....                         | 17 |
| <b>Tabela 4.1</b> – Municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu/SP .....                                         | 44 |
| <b>Tabela 5.1</b> – Quadro sintético das Unidades Geossistêmicas da Bacia do Rio Mogi Guaçu/SP ..                       | 72 |
| <b>Tabela 5.2</b> – Resultado das datações absolutas por LOE das amostras de solo coletadas nos pontos escolhidos ..... | 78 |



**UNICAMP**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL**

**GEOSSISTEMAS E FRAGILIDADE DE TERRAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
RIO MOGI GUAÇU/SP**

**RESUMO**

**Dissertação de Mestrado  
DANIEL LUÍS STORANI**

A Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu compreende uma área de 14.653 km<sup>2</sup> na porção nordeste do estado de São Paulo e atravessa diferentes compartimentos geomorfológicos do estado paulista. Além da Mata Atlântica, originalmente as terras drenadas pela bacia apresentam áreas recobertas por fisionomias de cerrado.

Traçar explicações sobre como a atual caracterização da área se deu envolve o estudo de diferentes componentes do ambiente natural, exigindo, assim, a análise das componentes que compõem o que se conceitua como geossistema.

Os métodos existentes na atualidade para datação absoluta de solos permitem, por exemplo, atribuir a períodos específicos da evolução terrestre a origem de determinadas condições conhecidas ou modeladas. A fragilidade de determinados ambientes pode ser explicada, então, a partir da origem das componentes naturais do geossistema. O uso da interpretação geomorfológica das paisagens é essencial, então, para o entendimento da sequência de acontecimentos que atribuíram à paisagem determinadas características.

Ao longo das oscilações climáticas do Quaternário, o cerrado (no sentido *lato sensu*) corresponderia a uma vegetação adaptada a condições de clima mais seco e com solos arenosos e distróficos. Apesar da discussão ainda existente quanto ao conjunto de características ambientais que permitiriam o surgimento e manutenção dessa vegetação em porções específicas do território brasileiro e do estado de São Paulo, o presente trabalho busca relacionar as condições ambientais e geomorfológicas pretéritas (do Quaternário, especificamente do Pleistoceno) de alguns pontos da bacia hidrográfica do Mogi Guaçu/SP com o cerrado, por meio de técnicas de datação e correlação desses dados com características da evolução da paisagem e datações relativas de outros estudos. Foram utilizadas técnicas de datação absoluta por Luminescência Opticamente Estimulada (LOE) para datar níveis específicos de áreas cobertas por cerrado, para posterior relação com datações relativas levantadas por trabalhos clássicos da literatura geomorfológica, o que permitiu relativizar tais explicações. Propõe-se que as superfícies de aplainamento e níveis de terraço podem ser consideradas geossistemas específicos, pela íntima relação entre seus elementos num determinado período de tempo.

Palavras-chave: Geossistema; Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu; Fragilidade de terras; Variações climáticas; Quaternário; Pleistoceno.



**UNICAMP**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL**

**GEOSYSTEMIC UNITS AND LAND FRAGILITY IN MOGI GUAÇU/SP RIVER  
BASIN**

**ABSTRACT**

**Dissertação de Mestrado  
DANIEL LUÍS STORANI**

The Mogi Guaçu River Basin comprises an area of 14,653 km<sup>2</sup> in northeastern São Paulo state and across different geomorphological compartments. Originally, beyond the Mata Atlântica vegetation, the lands drained by the basin have areas covered by *cerrado*.

The explanation of how the current characterization of the area occurred involves the study of different components from the natural environment, thus requiring the analysis of the components that make up what is conceptualized as geosystem.

Existing methods for absolute dating of soils allow, for example, assign specific periods of development land to the origin of certain conditions known or modeled. The fragility of certain environments may be explained, then, from the origin of the natural components of geosystem. The use of geomorphological interpretation of the landscape is essential, then, to understand the sequence of events that they attached to certain landscape features.

Throughout the Quaternary climatic oscillations, the *cerrado* (in *lato sensu*) would be a type of vegetation adapted to drier climate conditions and sandy and dystrophic soils. Although the discussion still exists on the set of environmental characteristics that would allow the emergence and maintenance of vegetation in specific portions of Brazil and the state of São Paulo, this paper seeks to relate the environmental conditions and geomorphologic preterit (in the Quaternary, especially in the Pleistocene) of some areas of Mogi Guaçu River Basin with *cerrado* vegetation, through techniques of dating and correlation of these data with characteristics of landscape evolution, and relative dating of other related studies. Techniques used for absolute dating were Optically Stimulated Luminescence (OSL) for dating specific levels of the areas covered by *cerrado*, for later discussion with on relative dating relationship raised by classic works of geomorphological literature, allowing relativize such explanations. It is proposed that the surfaces of planing and terrace levels can be considered specific geosystems, by the close relationship between its elements in a given period of time.

Key-words: Geosystem; Mogi Guaçu River Basin; land fragility; climatic variations; Quaternary, Pleistocene.

## 1. INTRODUÇÃO

A Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu compreende uma área total de 17.460 km<sup>2</sup>, dos quais 14.653 km<sup>2</sup> estão localizados na porção nordeste do estado de São Paulo, e se estende no sentido sudoeste – noroeste, atravessando diferentes compartimentos geomorfológicos do estado paulista. Do ponto de vista da cobertura vegetal, além da Mata Atlântica, as terras drenadas pela bacia apresentam como vegetação original diferentes fisionomias de cerrado.

Explicar como a evolução da paisagem ocorreu desde o final do Pleistoceno até os dias atuais envolve o estudo de diferentes componentes do ambiente natural, exigindo, assim, a análise das componentes que integram o que se conceitua como geossistema.

Os métodos existentes na atualidade, para análises e datação de solos e formações superficiais, permitem atribuir a períodos específicos da evolução da paisagem a origem de determinadas condições conhecidas ou modeladas, a respeito do relevo e solos, por exemplo. A fragilidade de determinados ambientes pode ser explicada a partir da análise dos componentes naturais do geossistema. A interpretação geomorfológica das paisagens é essencial para o entendimento da seqüência de acontecimentos que atribuíram a elas determinadas características. Assim, o uso de técnicas, que se aprimoram a cada dia, corrobora ou não idéias sobre a evolução das paisagens.

Ao longo das oscilações climáticas do Quaternário, especificamente do final do Pleistoceno, o cerrado (no sentido *lato sensu*) corresponderia a uma vegetação adaptada a condições de clima mais seco e com características específicas de determinados solos. Não há consenso quanto ao conjunto de características ambientais que permitiriam o surgimento e manutenção dessa vegetação em áreas específicas do estado de São Paulo. O presente trabalho pretende relacionar condições ambientais e geomorfológicas pretéritas do Quaternário em áreas selecionadas da bacia hidrográfica do Mogi Guaçu/SP com cobertura vegetal de cerrado, por meio de técnicas de datação

e correlação das mesmas com características da evolução da paisagem e cronologias relativas de outros estudos.

Para tanto, a primeira parte do trabalho apresenta literatura relacionada a conceitos relativos ao pensamento sistêmico, às oscilações climáticas do Quaternário e às condições ambientais relativas ao predomínio do cerrado, com a finalidade de embasar as análises realizadas.

Na segunda parte do trabalho são definidos objetivos gerais e específicos, e é apresentada a hipótese de estudo, levando-se em consideração os elementos selecionados para embasar a discussão.

Em seguida, é realizado o levantamento e coleta de dados relativos à Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu, bem como a metodologia empregada, citando-se os materiais utilizados, a técnica de datação escolhida e a forma de análise. São apresentados de coleta escolhidos em escala local.

Posteriormente, são analisados os resultados das amostras laboratoriais sendo discutidos com base nas referências citadas que realizaram datações relativas com base nas oscilações climáticas ao longo da escala do tempo da natureza.

Finalizando, por meio da análise sistêmica, tenta-se entender o cenário das superfícies de aplainamento como unidades geossistêmicas, por apresentar as condições ambientais que permitem o estabelecimento e a permanência do cerrado na paisagem.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 – Sistemas e geossistemas

Segundo Lima e Queiroz Neto (1997) é possível assumir que o ambiente é o resultado de uma relação estreita de fatores físicos, químicos, biológicos e sociais, que interagem e variam no tempo e espaço. Sendo assim, segundo Christofolletti (1999), um sistema ambiental pode ser caracterizado como entidade organizada na superfície terrestre formada pelos subsistemas físico-naturais e antrópicos, e por suas interações. O subsistema físico-natural é composto por elementos e processos ligados ao relevo, clima, solo, água e seres vivos, enquanto o subsistema sócio-econômico tem processos e elementos relacionados à população, agricultura, mineração, urbanização e outras manifestações humanas.

Na “Teoria Geral dos Sistemas”, de Ludwing Von Bertalanffy, é possível encontrar a primeira tentativa de sistematização do conceito de sistemas. O autor apresentou uma episteme, com o objetivo de compreender o real pelo acúmulo de todos os campos de conhecimento em uma única linhagem científica, o que poderia ser estabelecido pela definição e análise dos componentes e das estruturas funcionais de cada um desses campos, surgindo daí a idéia de sistemas: um conjunto de elementos em interação (Bertalanffy, 1973). Hall e Fagen (1956) definiram sistema como conjunto de elementos e das relações entre eles e seus atributos. Essa definição é muito ampla, se aplicada a qualquer conjunto de objetos relacionados no espaço e no tempo.

A partir do princípio da funcionalidade dos sistemas, ou seja, de que estes funcionam mediante processos e respostas, Thornes e Brunsden (1977) definem o sistema como um conjunto de objetos ou atributos e das suas relações, organizados com a finalidade de executar uma função específica. O sistema se caracteriza, assim, como operador que, durante um período determinado de tempo, recebe uma entrada (*input*) e a transforma em uma saída (*output*). Já Miller (1965) define sistema como um conjunto de unidades com relações entre si, sendo que as unidades possuiriam propriedades comuns. O estado de cada unidade seria controlado, condicionado ou dependente do estado das outras unidades. A organização do conjunto seria decorrente

das relações entre as unidades e o grau de organização do conjunto lhe proporcionaria o estado e a função de um todo, que seria maior do que a soma das suas partes.

A organização idealizada de um sistema, apresentado por Penteado (1980) (Figura 2.1), envolve: os elementos ou unidades (A, B, C), como partes componentes do mesmo; as relações (a, b, c), ligações em forma de fluxos que traçam a inter-relação dos elementos; os atributos, ou qualidades atribuídas aos elementos do sistema, a fim de caracterizá-los; a entrada (*input*), ou energia e matéria que o sistema recebe; e saída (*output*), que é todo produto energia e matéria que o sistema fornece, ou seja, material e energia que entraram e saíram modificados pelo corpo do sistema.

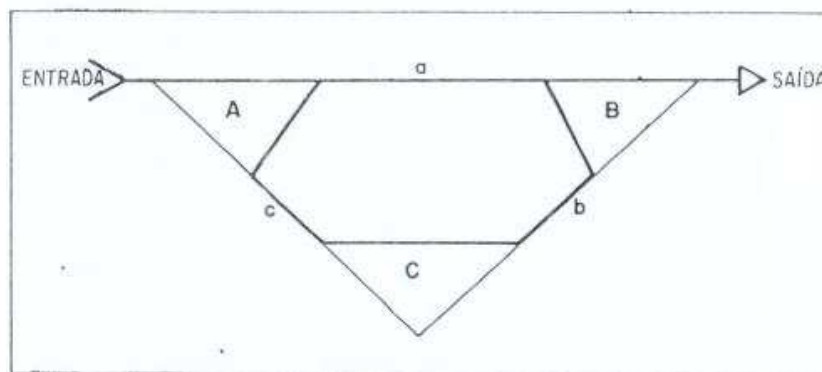


Figura 2.1 – Os elementos A, B, C e as suas relações a, b, c numa estrutura idealizada de sistema (Fonte: Penteado, 1980).

O conceito de Geossistema, apresentado por Sotchava (1977) na década de 1960, utiliza-se da Teoria Geral dos Sistemas aplicado às Ciências Naturais, explicitando formações naturais resultantes da ação da dinâmica dos fluxos de matéria e energia nos sistemas, deixando de levar em consideração a ação antrópica sobre estes. A organização do espaço passa a ser resultado da relação homem e sistemas naturais. Pode-se complementar essa idéia com o conceito de que sistemas abertos são aqueles que necessitam de suprimento de energia para sua manutenção e preservação, e seu equilíbrio se mantém pelo constante suprimento e retirada de matéria e energia (Gregory, 1992).

Bertrand (1972) define geossistema como uma classe peculiar de sistemas dinâmicos, abertos e hierarquicamente organizados, sendo que apresentam subdivisões (os relativos à vida terrestre; e os relativos aos oceanos e mares). Um conceito mais amplo de geossistema é apresentado por Penteado (1980): formações naturais que experimentam o impacto dos ambientes social, econômico e técnico.

Christofolletti (1999) utiliza o termo meio ambiente físico com significado parecido com o de Geossistema, sendo este entendido como a organização espacial que é resultado da interação dos elementos físicos e biológicos da natureza, tais como o clima, topografia, geologia, hidrologia, vegetação, animais, solos, entre outros, caracterizando-se, assim, como o objeto de estudo da Geografia Física.

Monteiro (2000), baseado em Bertrand (1972), descreve o geossistema como um sistema singular, complexo, que englobaria os elementos humanos, físicos, químicos e biológicos, no qual os elementos sócio-econômicos não compõem um sistema antagônico e oponente, mas estariam incluídos simplesmente no sistema. Ele deixa de levar em conta, no entanto, a alta complexidade dos processos intrínsecos ao sistema antrópico, por conta da grande velocidade com que se altera no tempo e no espaço.

Um geossistema, como qualquer outro sistema, pode ser analisado sob diferentes tamanhos, ou escalas. A separação entre as diversas escalas de observação e análise é sempre arbitrária. Ao definir um geossistema a etapa mais importante, de acordo com Penteado (1980), é a distinção dos elementos que serão analisados e suas relações, para depois procurar delimitá-lo no espaço e identificar os sistemas ambientais controladores que atuam sobre o geossistema específico, através de relações exteriores. Assim, o geossistema deve ser isolado de seu conjunto maior, para ser delimitado e definido como um conjunto unitário complexo.

Quanto à avaliação dos sistemas, é possível dizer que os elementos de um sistema e suas relações são definidos por variáveis que podem ser mensuradas, as quais expressam as qualidades ou atributos desse dado sistema. Geralmente, as variáveis indicam forma, número, tamanho, arranjo espacial, fluxos. A mensuração dessas variáveis, portanto, descreve o sistema. Os parâmetros regulam o funcionamento do sistema, e se relacionam aos fatores externos responsáveis pelo fornecimento de matéria e energia ao sistema. Os valores das variáveis e a intensidade

dos parâmetros podem ser medidos, e os valores assumidos pelas variáveis refletem o ajustamento do sistema em face da intensidade dos parâmetros. A energia é força que conduz o sistema ao funcionamento, gerando capacidade de realizar trabalho, e os processos que atuam no geossistema o fazem em função da energia fornecida. Existem, no entanto, dois tipos de energia: a potencial, inicial, que leva o sistema a funcionar, e a cinética, que se adiciona à potencial, para movimentar a matéria. A matéria diz respeito a todo o material que circula pelo sistema. A matéria e a energia circulam no geossistema através de canais, que constituem os fluxos.

De acordo com Penteado (1980), o critério mais adequado para a classificação dos geossistemas é o Funcional, que divide os sistemas em:

- A. Sistemas Isolados – que são aqueles que, após as condições iniciais não recebem mais energia nem matéria do seu universo, nem sofrem perdas.
- B. Sistemas não isolados – são aqueles que mantêm relações com outros sistemas de seu universo e podem ser subdivididos em fechados ou abertos.
  - a. *Fechados* – mantêm troca de energia e não de matéria
  - b. *Abertos* – implicam permutas constantes de matéria e energia com *inputs* e *outputs*. Aqui, Chorley e Kennedy (1971) apresentam uma classificação estrutural dos sistemas, dos quais servem para classificar os geossistemas:
    - i. Sistemas morfológicos: compostos pela associação das propriedades físicas do fenômeno expressas pelos valores assumidos pelas variáveis que descrevem as formas.
    - ii. Sistemas em sequência: conjunto de subsistemas articulados em cadeia, relacionados entre si por um fluxo de matéria e energia que, sendo saída de um sistema se constitui em entrada num sistema adjacente. O funcionamento em equilíbrio dos sistemas em sequência depende de um elemento regulador o qual atua sobre o *input* de energia e matéria em cada subsistema, conduzindo uma parte desse

*input* para o estoque e levando outra parte para fora como *output* desse sistema.

- iii. Sistemas de processos e respostas: combinação de sistemas em sequência e morfológicos. Os primeiros indicam os processos e os segundos a forma, sendo esta uma resposta a determinados estímulos (processos). Nesta análise tem maior relevância a análise das relações entre os processos e as formas derivadas. Essas relações definem uma tendência para o equilíbrio, e qualquer modificação nos processos conduz à ruptura do equilíbrio entre as relações iniciais e, conseqüentemente, à modificação da forma original, sendo a recíproca também verdadeira.
- iv. Sistemas controlados: os sistemas de processos e respostas nos universos nos quais estão inseridos costumam sofrer a intervenção do homem, e este é capaz de modificar certas variáveis e o fluxo de matéria e energia no corpo do sistema de processos, contribuindo para a modificação das formas. Ou pode alterar o sistema morfológico provocando modificações na atuação dos processos.

Neste contexto, cabe ressaltar o papel crucial da Geografia que, segundo Christofolletti (1999), é a ciência que tem como objeto de estudo a organização espacial, possibilitando, portanto, o entendimento da relação entre fenômenos de diferentes áreas do conhecimento humano, que se materializam no espaço ou que influenciam e condicionam os processos do geossistema. Tal ciência abrange a estruturação, funcionamento e dinâmica dos elementos físicos, biogeográficos, sociais e econômicos (Figura 2.2).

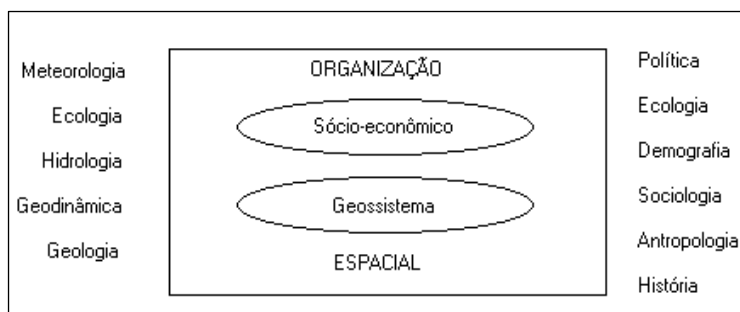


Figura 2.2 – Estrutura conceitual da organização espacial e envolvimento com disciplinas subsidiárias (Fonte: Christofolletti, 1999)

A organização espacial é um sistema complexo e, como tal, devem ser considerados em seu estudo o todo, as partes e as inter-relações. A simples interação entre elementos só poderá formar sistema se for capaz de criar algo que funcione como todo, e este só poderá ser entendido pelo estudo de suas partes, bem como estas só poderão ser compreendidas como partes de uma mesma totalidade.

Diante disto, o sistema possui muitos elementos, mas o conjunto não pode ser representado pela somatória das partes, visto ser algo individualizado e distinto, com propriedades e características que só o todo possui (QUARESMA E PEREZ FILHO, 2005).

Assim, os sistemas complexos podem ser abordados a partir de um arcabouço teórico único, sob o paradigma da complexidade (MORIN, 1977). Tais sistemas apresentam características peculiares conforme Mattos Leme e Perez Filho (2004):

- Não linearidade nas suas interações, resultando em realimentação positiva ou negativa, uma vez que a resposta do sistema a uma dada perturbação é, via de regra, desproporcional a magnitude desta.
- O todo não representa a soma das partes, uma vez que aquele faz surgir características nestas que não lhes pertenciam isoladamente e/ou é capaz de restringir qualidade das partes, que só lhes são inerentes quando isoladas. Esta

última informação permite concluir que o todo é menor que a soma das partes que o compõem (Morin, 1977).

- Seus elementos são subsistemas aninhados, possibilitando a existência de partes que mantenham estabilidade em um sistema instável. Isso realça a importância do papel da escala, que pode conduzir a pesquisa a acertos ou a equívocos.
- A sua evolução pode ser representada em gráfico n-dimensional, conhecido como “espaço de fase”, no qual cada eixo representa uma variável do sistema. Tal representação é capaz de demonstrar as tendências de evolução dos sistemas em relação a atratores – áreas do gráfico de maior concentração e que representam maior estabilidade do sistema – e a repulsores – áreas que representam as tendências de “fuga” do sistema e maior instabilidade.
- São sistemas abertos, mas se mantêm em estado afastado do equilíbrio termodinâmico, uma vez que sua organização interna permite a existência de estrutura dissipativa da entropia do interior para fora do sistema.
- A interação dos seus elementos é capaz de, espontaneamente, fazê-lo se auto-organizar.

## **2.2 – Quaternário e relevo**

### **2.2.1 – O relevo e a influência do clima**

É possível afirmar, de acordo com Bigarella *et al.* (1994), que as várias formas da topografia refletem o conjunto de processos dinâmicos vigentes durante sua formação, embora tenham sido continuamente retrabalhadas. Elas testemunham a sucessão de eventos ou de quadros paleogeográficos que se sucederam ao longo dos tempos. Sabe-se, por exemplo, pelo estudo dos depósitos das vertentes, que as condições ambientais variaram consideravelmente no tempo, seja em mecanismo, seja em intensidade, no decorrer da alternância de mudanças nos ciclos climáticos. Estudos sedimentológicos e estratigráficos dos depósitos de vertentes são ferramenta básica

para a reconstituição da sequência de eventos que elaboraram a morfologia atual da paisagem. Não se pode conceber, portanto, que o relevo seja fruto de um processo único e imutável através dos tempos.

O relevo apresenta-se com uma grande variedade de formas e tipos de vertentes, desde superfícies planas até encostas fortemente inclinadas. Bigarella *et al.* (1994) lembram ainda que a maior parte das vertentes apresenta formas convexo-côncavas com segmentos retilíneos intercalados. No decorrer do tempo as vertentes teriam sofrido modificações contínuas pela atuação dos diversos processos de erosão e/ou deposição, que tendem a reduzir sua declividade e altitude. Nas condições climáticas úmidas, sabe-se que o perfil de uma vertente tende a uma forma convexa no topo e côncava na base. Os processos areolares contribuem para aumentar a camada de detritos em determinados setores da encosta. O papel da vegetação é de extrema importância na redução do efeito do escoamento superficial. Sob condições úmidas, no entanto, os movimentos de massa são significativos, especialmente na transição de climas mais úmidos para climas mais secos. As vertentes apresentam um equilíbrio dinâmico, e sua evolução depende do tipo climático.

É importante lembrar que na esculturação do relevo intervêm processos endógenos, e também os exógenos. Nestes, a atuação está ligada à ação da atmosfera, à ação das águas e da biosfera, especialmente da vegetação. O papel da atmosfera é primordial e é representado pelas condições climáticas regionais. A partir dessa idéia, é possível conceber que a cada grande região fitogeográfica correspondem processos morfogenéticos específicos que conduzem à elaboração de um conjunto de formas características de um grande domínio morfoclimático.

O tipo de estrutura geológica, em si, no entanto, não explica os vários tipos de paisagens observadas. Como lembram Bigarella *et al.* (1994), à estrutura e à tectônica são superimpostas as ações dos fatores climáticos. Assim, os autores simplificam mostrando que o relevo é resultado do equilíbrio entre a meteorização da rocha e sua resistência aos processos morfoclimáticos. Na composição das diferentes paisagens, destacam-se áreas onde é possível dizer que a estrutura geológica desempenha papel mais importante, e outras onde as ações morfoclimáticas são predominantes. A respeito desse assunto, Penteado (1980) nos mostra que existem duas classes fundamentais de

formas de relevo: as formas iniciais, que são aquelas que correspondem às formas resultantes dos soerguimentos originais da crosta por forças internas e por erupções vulcânicas; e as formas  $\square$ sequenciais, que são as esculpidas pelos agentes de desnudação, e que vêm em seguida às originais. Portanto, qualquer paisagem é o resultado da ação desses dois tipos de forças; logo, é uma etapa dentro de um contexto<sup>1</sup>.

Dessa forma, no caso de formas iniciais, quando a estrutura geológica desempenha importante papel na formação do relevo, a morfologia é classificada como essencialmente estrutural. As variações do relevo são determinadas por fatores tectônicos, citando-se os movimentos epirogênicos ou grandes falhamentos, arqueamentos e dobramentos. Já em relevos onde existem formas  $\square$ onsequênci, os processos morfoclimáticos levam ao intemperismo das rochas, podendo se associar a transporte do material por escoamento concentrado ou difuso, reptação ou movimentos de massa. Como bem explicam Bigarella *et al.* (1994), esses fatores se condicionam às diferentes regiões climáticas do mundo, existindo diferenças consideráveis entre um sistema morfoclimático de regiões florestadas mais úmidas e de regiões mais secas. De acordo com esse autor, os processos morfoclimáticos dependem fundamentalmente do clima, dos solos e da vegetação. O equilíbrio morfoclimático seria atingido a partir do inter-relacionamento dos vários fatores naturais.

Os processos de intemperismo químico agem com maior intensidade e velocidade nas regiões quentes e úmidas quando comparadas às regiões secas. Nas regiões quentes e secas, o intemperismo mecânico ou físico é mais atuante. O perfil das vertentes caracteriza-se por encostas íngremes escarpadas e por depósitos de talude que se elevam acima de uma vertente côncava em forma de rampa, frequentemente havendo afloramentos de rocha. Pode-se citar também a presença de superfícies de pedimentação suavemente inclinadas.

---

<sup>1</sup> De acordo com Penteado (1980): “Todos os estágios de evolução das paisagens podem ser observados no globo. Onde ocorrem altas montanhas é sinal de que as forças internas atuaram recentemente. Os baixos planaltos e planícies indicam que as forças desnudacionais têm papel mais atuante. Todos os estágios intermediários podem ser encontrados”.

A respeito dos processos morfoclimáticos, Penteadó (1980) mostra que o relevo resulta de uma hierarquia de mecanismos, ou processos, associados e coordenados num sistema. Estes podem ser classificados em processos simples e complexos, sendo que um conjunto de processos simples dá origem a processos complexos. Os processos complexos se encadeiam num sistema, bem definido, de acordo com as condições climáticas.

Os processos simples (ou elementares) dão origem a formas elementares. Penteadó (1980) cita como exemplo o turbilhonamento das águas correntes e o material sólido carregado com sua ação abrasiva, que formam as “marmitas” no leito rochoso dos rios.

Os processos complexos são resultado da combinação de processos simples, como, por exemplo, a esculturação de uma vertente em meio intertropical que resulta de processos simples ligados ao intemperismo químico, conduzindo à decomposição das rochas. Esses processos simples permitem o desenvolvimento de processos mais complexos que se associam ao primeiro, sejam eles o transporte de material por escoamento concentrado, difuso, solifluxão, entre outros. Dessa forma, a ação conjunta de processos simples e complexos em sistemas específicos faz a vertente evoluir, dando-lhe uma forma característica.

A ação do clima sobre as rochas pode se dar de modo direto ou indireto. A ação direta se faz pela intensidade de elementos do clima (temperatura, umidade, precipitação e ventos). A ação indireta se dá pelos constituintes naturais que existem e se distribuem de acordo com os elementos do clima, ou seja, a ação indireta se processa por meio da vegetação e dos solos.

De acordo com Casseti (2005), as condições climáticas, como temperatura, umidade e pressão, são responsáveis pela alteração das rochas, culminando com a formação dos depósitos correlativos. Constata-se, portanto, estreita relação entre clima, intemperismo e depósitos correlativos na caracterização da estrutura superficial.

Bigarella *et al.* (1994) mostram que o mecanismo de evolução das vertentes ou encostas consiste em uma interação de profundas mudanças climáticas, variações dos níveis de base locais e deslocamento crustais. De certa forma, a análise da morfologia das vertentes permite reconhecer a sequência de eventos operantes no

desenvolvimento das paisagens. Um exemplo é que, pelo estudo de várias formas topográficas e dos seus depósitos colúvio-aluvionares, é, às vezes, possível deduzir quais as condições ambientais predominavam durante sua elaboração e, até certo ponto, concluir quais processos atuaram em seu desenvolvimento.

## **2.2.2 – Variações climáticas do Quaternário**

De acordo com Penteado (1980), o relevo atual é marcado pelas influências dos paleoclimas devido às importantes modificações climáticas que o globo sofreu “recentemente”. Bigarella *et al.* (1994) citam que a paisagem atual sofre influências não só das grandes mudanças climáticas, mas também das pequenas flutuações do clima.

O Quaternário pode ser caracterizado por significativa instabilidade climática. Penteado (1980) mostra que, nos últimos 20.000 anos, os climas da Terra sofreram significativas mudanças. Sabe-se que as latitudes médias sofreram fenômenos periglaciais; as regiões áridas tiveram períodos chuvosos; zonas semi-áridas surgiram nas margens das zonas inter-tropicais; e na zona Equatorial variaram períodos pluviais e sem precipitações. A autora destaca que ao fim do Terciário, quase nenhuma região do planeta conheceu períodos de condições estáveis. É mais comum, portanto, encontrar hoje paisagens que evoluíram de uma forma poligênica, do ponto de vista morfoclimático, tendo traços de sistemas morfogenéticos diferentes e sucessivos.

Bigarella *et al.* (1965) também citam que as profundas mudanças do Quaternário teriam afetado todo o planeta, sendo que durante as glaciações os processos mecânicos de morfogênese foram importantes não só em áreas periglaciais, mas também em latitudes mais baixas. Condições climáticas específicas permitiram a formação quase que universal de superfícies aplainadas e depósitos correlativos característicos. Assim, a correlação entre clima e a morfogênese pode ser projetada para o passado geológico. Durante vários períodos e épocas geológicas, sequências de sedimentos continentais foram depositados sob condições climáticas severas em muitas partes do globo. Estes sedimentos parecem ter sido sincronicamente

depositados, indicando uma presença simultânea de morfogênese mecânica ao longo de distantes áreas geográficas.

As grandes mudanças climáticas que afetaram grandes áreas da superfície terrestre têm um caráter cíclico. Embora seja arriscado dizer que exista uma ciclicidade de caráter planetário de mudanças entre condições de semi-aridez e umidade, existem, de acordo com Bigarella *et al.* (1965), muitas evidências que corroboram essa teoria.

Existem teorias que se apóiam em fenômenos cósmicos, terrestres e meteorológicos para explicar as causas das oscilações. As explicações cósmicas baseiam-se nas variações da constante solar. Penteado (1980) cita que, nesse ponto de vista, as glaciações são ligadas a abaixamentos da constante solar, causando diretamente um resfriamento. Também há opiniões contrárias, que explicam o resfriamento por suposto aumento dessa constante, que aumenta a circulação ciclônica, causando aumento da nebulosidade e precipitações. A autora mostra que também há aqueles que defendam uma constante solar que não se altera, mas sim mudanças na distribuição do calor. De Marchi, segundo Penteado (1980), mostra em sua teoria que em períodos glaciais, o sistema solar teria atravessado uma nebulosa. Já o alemão Milankovitch, ainda segundo a mesma autora, explica que existiriam variações nos elementos da órbita terrestre<sup>2</sup>.

Teorias que invocam causas terrestres para explicar as oscilações baseiam-se na idéia de elementos terrestres que teriam mudado a distribuição da energia solar e a consequente circulação atmosférica do planeta. Baseando-se na teoria bem conhecida de Wegener, da deriva continental, há quem considere que os continentes se deslocam lentamente em relação ao Pólo, na hipótese das translações continentais. Outros explicam as oscilações por meio de erupções vulcânicas que enfraqueceriam a radiação solar incidente na superfície terrestre.

Penteado (1980) cita o esquema proposto por Willett para explicar as oscilações. São considerados dois tipos extremos de circulação: muito rápida e muito lenta, que

---

<sup>2</sup> Obliquidade da eclíptica em períodos de 40 mil anos e excentricidade da órbita em períodos de 100 mil anos. Entretanto, cálculos posteriores teriam mostrado que variações da órbita não conduziram senão a efeitos insignificantes, e totalmente opostos nos dois hemisférios do planeta.

diferenciam o alcance das zonas quentes e frias pelo globo (Figura 2.3)<sup>3</sup>. Essas diferenças de flutuação atmosférica se explicam por variações da atividade solar. Essas observações se aplicam bem a oscilações ocorridas em escala anual e secular, mas poderiam se aplicar a todas as escalas temporais de oscilações.

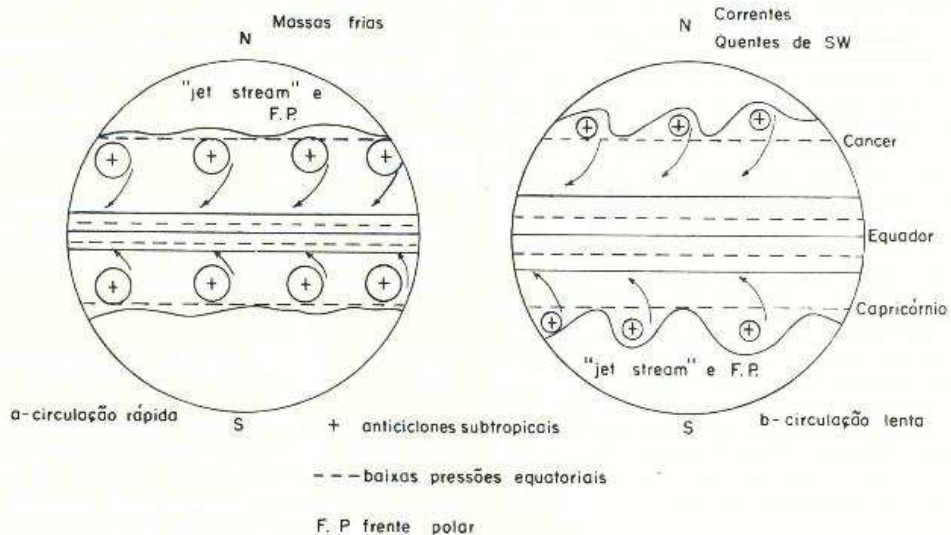


Figura 2.3 – Esquema de circulação lenta/rápida (Fonte: Penteado, 1980)

Já Bigarella *et al.* (1994), baseando-se em Bernard (1967), explicam a falta de uniformidade do clima no passado geológico por conta variações seculares das taxas de radiação recebidas em função de mudanças na órbita da Terra ao redor do Sol, bem como na orientação do seu eixo de rotação.

A respeito das escalas temporais das oscilações, Penteado (1980) cita que, geralmente, independentemente da escala temporal analisada, o termo *oscilação* é

<sup>3</sup> Citando Penteado (1980): "Quando o fluxo zonal é rápido a onda planetária horizontal dos *Westerlies* e a onda correspondente do *jet-stream* possuem uma fraca amplitude. Por outro lado, o "jet-stream" e as frentes polares dos dois hemisférios são transportados para o Equador, diminuindo a zona de convergência equatorial. Inversamente, em circulação lenta, os *Westerlies* e os *jet-streams* descrevem ondas mais amplas e afastadas do Equador. Na circulação rápida, que corresponde a uma fase glacial, os dois *jet*, bastante extensos, se aproximam do Equador."

usado para designar as mudanças nos processos de circulação geral da atmosfera. No entanto, oscilações geológicas dizem respeito aos períodos analisados que se contam em milhões ou milhares de anos; oscilações climáticas dizem respeito ao período de vários séculos, posteriores à última glaciação quaternária; oscilações seculares, para períodos de 10 a 50 anos, ou seja, que estejam dentro de um século; e, finalmente, oscilações irregulares, que designam as oscilações de uma semana à outra, de um mês a outro e de um ano a outro. No caso do presente trabalho, os dois últimos termos não são considerados, por não estarem englobados nos estudos pretendidos.

É possível dizer, de acordo com Penteado (1980), que em escala geológica, sobre as zonas temperadas dos dois hemisférios, períodos muito quentes, como o Devoniano, o Jurássico e o Eoceno, se alternam com resfriamento também severo, no Cambriano, Permocarbonífero e Quaternário. No Quaternário, quatro principais fases glaciais, com durações da ordem de 50 mil anos, são separadas pelos interglaciais, de aproximadamente 150 mil anos cada um. Após a última glaciação, o período seco marca um aquecimento significativo de 4.000 a 2.000 anos atrás.

### **2.2.3 – As glaciações quaternárias**

A respeito das variações climáticas existentes no Quaternário, é possível destacar a existência de quatro períodos de glaciação, identificadas no início do século XX por Penck e Brunchner, sendo essas glaciações nomeadas com base em rios da Bavária. Essas fases, de acordo com Penteado (1980), se alternaram num período de cerca de 1 milhão até 10.000 anos atrás, seguindo a ordem descrita na tabela a seguir:

Tabela 2.1 – Fases glaciais e interglaciais na Europa (Adaptado de Penteado, 1980).

| GLACIAÇÕES | Interglaciais                   |             |
|------------|---------------------------------|-------------|
|            | Atual                           | Holoceno    |
| 4. Wurm    | último interglaciar             | Pleistoceno |
| 3. Riss    | interglaciar Riss-Wurm          |             |
| 2. Mindel  | interglaciar Mindell-Riss       |             |
| 1. Gunz    | interglaciar curto Gunz-Mindell |             |
|            | Período fresco Vilafrankiano    |             |

Destaca-se também que cada glaciação se divide em estágios, sendo que cada um corresponde a uma posição avançada do glaciário. Já entre as glaciações, os interglaciais são marcados por clima considerado semelhante ao atual ou ligeiramente mais quente. Penteado (1980) lembra também que, como nas fases glaciais a água retirada do ciclo normal de circulação se precipitava e ficava retida na forma congelada, havia, conseqüentemente, um abaixamento do nível do mar. Deduz-se daí que cada fase glaciária correspondeu a um abaixamento do nível do mar abaixo do zero atual e cada interglacial a um levantamento do nível do mar, podendo até ser superior ao nível atual.

É possível estabelecer correspondência entre as glaciações das altas e médias latitudes e variações climáticas em todo o globo, baseando-se em estudos meteorológicos e evidências geomorfológicas, pedológicas e paleontológicas. O estudo de áreas desérticas e semi-áridas atuais, por exemplo, comprova essas variações, pelas evidências pluviais nas margens dos desertos, correlativos com mudanças do nível do mar. Da mesma forma testemunhos de fases semi-áridas são observadas na zona tropical e equatorial.

De forma geral, sabe-se que o Quaternário é marcado por migrações importantes das zonas morfoclimáticas. Nas fases glaciais há migração em direção ao Equador da faixa frontal das neves eternas, do limite setentrional da zona árida, dos limites das

savanas e estepes intertropicais. Já nas fases interglaciais os limites citados se dirigem em direção aos pólos.

Quanto à amplitude, as variações diferem conforme os períodos. Penteado (1980) cita que elas parecem terem sido maiores no Quaternário antigo e mais curtas no mais recente. Além disso, quanto mais próximo do Pleistoceno inferior, maior é a extensão em área dos pedimentos tropicais esculpidos em fases secas, correspondentes a glaciações.

#### **2.2.4 – Condições climáticas pleistocênicas no Brasil**

Os geólogos americanos Damuth & Fairbridge (1970) apresentam, em um trabalho que serve de base para as discussões a respeito das condições climáticas no Brasil durante o Período Quaternário, principalmente na Época pleistocênica, fundamentos para explicar as mudanças nas circulações atmosféricas e correntes oceânicas. Eles também se basearam em diversos estudos para a mesma área, principalmente em Bigarella e Andrade (1965) e Bigarella *et al.* (1965), os quais apresentam evidências das variações climáticas nas formas de relevo das regiões consideradas.

De acordo com Damuth & Fairbridge (1970), condições meteorológicas únicas que existiram sobre o continente sul-americano, para as fases glacial e interglacial, explicariam a alternância entre os climas úmido e semi-árido ou árido na região.

Os autores mostraram que, atualmente, e também durante as fases interglaciais, uma célula de alta pressão está semipermanentemente localizada sobre o meio do Atlântico Sul, enquanto uma célula de baixa pressão se localiza sobre a Amazônia e o interior subtropical (Figura 2.4). Monções, ventos alísios e fatores orográficos se combinam e favorecem chuvas por quase todo o ano, embora no sudeste do Brasil elas se concentrem no verão “de sul”, ou seja, entre os meses de dezembro e fevereiro.

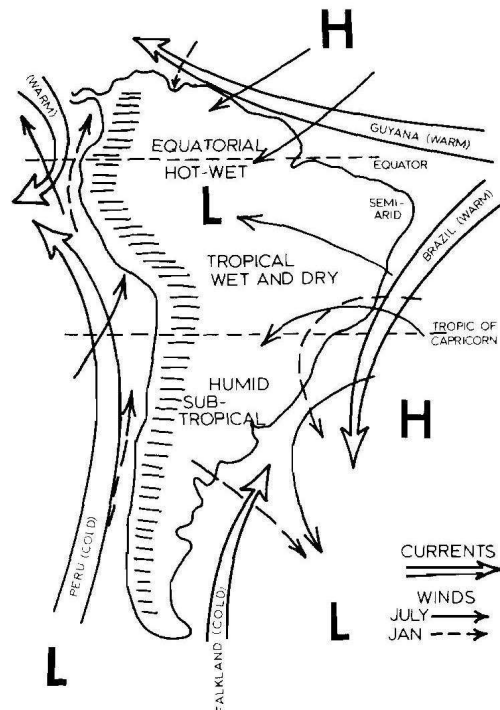


Figura 2.4 – Mapa da América do Sul mostrando distribuição generalizada de correntes oceânicas e sistemas de ventos para o tempo presente nas fases úmidas prévias nos períodos interglaciais. (Fonte: Damuth & Fairbridge, 1970).

Durante as fases glaciais, a célula de alta pressão do Atlântico Sul se estabelece mais ao norte, e até a latitude 15° sul, recebeu forte fluxo de ar oeste. Um fluxo semelhante vindo de oeste contra os Andes na mesma latitude produziu muita neve nas áreas mais altas, reduzindo a linha de neve em 1.000 metros, podendo ter levado uma sombra de chuva para leste (Figura 2.5). Tendo perdido sua umidade atravessando os Andes, esses ventos de oeste podem ter se tornado extremamente secos e, localmente, poderosos ventos Föhn<sup>4</sup> podem ter se originado do fluxo de ar seco

<sup>4</sup> Um vento Föhn (ou Foehn) ocorre quando uma camada profunda de vento persistente é forçada a subir uma montanha.

katabático (Katabatic winds<sup>5</sup>) descendo as faces leste dos Andes. Conduzindo-se em direção ao norte sob o efeito da Força de Coriolis esses ventos estabelecem um sistema sudoeste geral de ventos sobre todo o cinturão de planícies sub-Andinas até as regiões costeiras do Brasil. Em direção ao Equador, esse sistema tenderia a oscilar para sudeste, mas, tendo em vista sua origem, a massa de ar seria muito seca, mesmo na Amazônia.

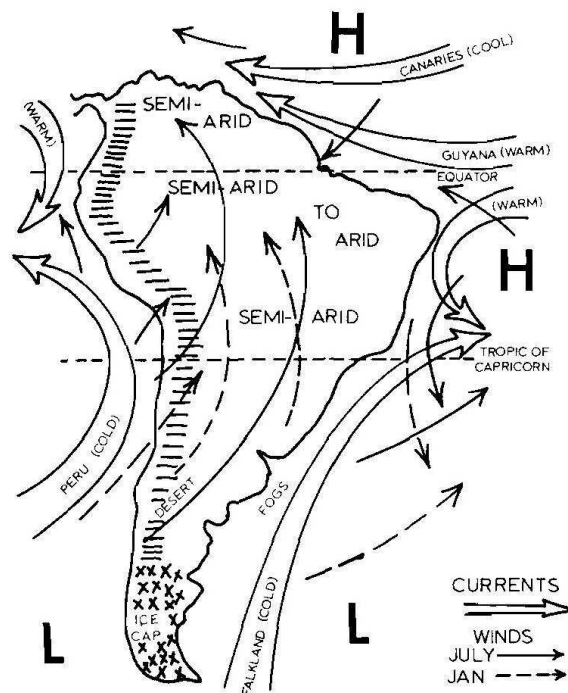


Figura 2.5 – Mapa da América do Sul mostrando distribuição generalizada das correntes oceânicas e sistemas de ventos postulados para as fases glaciais pleistocênicas. (Fonte: Damuth & Fairbridge, 1970).

Devido ao deslocamento para o norte da célula de alta pressão do Atlântico Sul para as proximidades da latitude 10° sul, os ventos alísios de sudeste seriam

<sup>5</sup> Um vento katabático, originado da palavra grega katabatikos, significa "descendo colinas", e é o nome técnico para um vento de drenagem, um vento que transporta ar de alta densidade de um ponto mais elevado descendo a encosta devido à força da gravidade.

exclusivamente limitados a um fluxo paralelo à costa norte e, conseqüentemente, trariam pouca precipitação no interior. Ao longo da costa leste, a corrente quente Brasil seria deslocada ao norte e substituída pela corrente fria de Falkland, resultando em queda da média das temperaturas da água em aproximadamente em 10° C nas latitudes de Laguna (latitude 29° sul) até Paranaguá (latitude 26° sul).

Bigarella *et al.* (1994), de acordo com os estudos acima citados, mostram que durante o Pleistoceno, nas áreas geográficas correspondentes ao território brasileiro, dois conjuntos diferentes de processos, operando alternadamente, submeteram a paisagem à evolução lateral das vertentes em clima semi-árido (épocas glaciais) ou à dissecação em clima úmido (épocas interglaciais). A ação erosiva seria, no entanto, muito efetiva no período de transição de um tipo de clima para o outro. Assim, na transição de uma fase climática para outra, devem ser levadas em consideração, além das importantes mudanças na cobertura vegetal, grandes modificações nos vários processos atuantes.

De acordo com esse autor, durante o clima úmido desenvolve-se um manto de decomposição formado por alteração química, sobre o qual teria surgido a floresta. Na transição do clima úmido para o mais seco, a floresta regrediria, sendo substituída por uma cobertura vegetal menos densa e aberta, classificado como caatinga ou cerrado. Sob a cobertura de floresta, os solos estariam protegidos contra erosão acelerada, o que não aconteceria sob o novo tipo de vegetação.

### **2.2.5 – Depressão Periférica Paulista e Quaternário no Brasil: variações climáticas e repercussões**

É possível dizer que na América do Sul as latitudes tropicais e subtropicais conheceram fases mais frias e mais secas durante as glaciações devido ao domínio das massas polares e amplificação dos anticiclones subtropicais dominando os continentes. A diminuição das temperaturas e o menor gradiente barométrico podem

explicar a redução das precipitações, com predomínio de um período mais seco em todo o sudeste do Brasil (PENTEADO, 1980).

Em linhas gerais, Casseti (2005) diz que o clima árido ou semi-árido contribui para a evolução “horizontal” da paisagem, por meio do recuo paralelo das vertentes, que alarga vales, como as calhas aluviais atuais, ou processando a destruição de formas elaboradas nos climas úmidos, chegando à condição de aplainamento extensivo, quando prevalece o clima seco por um longo tempo geológico. Já o clima úmido causa a evolução “vertical” do relevo, promovendo o entalhamento da drenagem, que vai variar em relação à intensidade dos esforços tectônicos (compensações isostáticas, fenômenos epirogênicos ou orogênicos) ou da própria erosão remontante em função do gradiente do canal.

Assim, para a região Sudeste do País, correspondentes a fases secas citadas, têm-se superfícies interplanálticas e níveis mais baixos de pedimentação e de terraços, elaborados por processos dominantes de erosão mecânica. Tanto no Planalto Cristalino quanto na Depressão Periférica, distingue-se uma superfície geral de pediplanação e depósitos correlativos, provavelmente relacionada com a fase mais antiga e mais longa de glaciação do Hemisfério Norte (Pleistoceno Inferior). Essa superfície, denominada Neogênica, teria nivelado os topos dos interflúvios a 50 ou 60 metros acima das várzeas atuais. Seria a superfície interplanáltica mais baixa e mais generalizada. Abaixo dela distingue-se um ou mais pedimentos embutidos com os níveis de terraços correspondentes e um nível de baixos terraços 4 ou 6 metros acima das várzeas. Penteado (1980) estudou as oscilações climáticas do Quaternário e suas repercussões na morfologia de parte da Depressão Periférica, estabelecendo um esquema dos eventos morfogenéticos aí ocorridos, desde o Terciário até o presente. Como a Bacia do Mogi Guaçu, no estado de São Paulo, se estende em sua maior porção (ao longo do médio e baixo cursos) por essa província geomorfológica, as relações entre a cronologia aqui citada e os estudos propostos pelo presente trabalho é possível de ser estabelecida, de acordo com as interpretações feitas por Perez Filho (1987).

É importante destacar que as datações então empregadas eram relativas, empregando observações da geomorfologia como elementos para explicar a evolução

dos acontecimentos nas áreas caracterizadas por níveis aplainados, terraceamentos e formações sedimentares afossilíferas.

No Brasil, o Plioceno é considerado um período de clima semi-árido, sendo o Grupo Barreiras a evidência de maior aceitação e extensão territorial, presente desde o nordeste do Pará até o Rio de Janeiro, devido a suas características sedimentológicas. Durante o predomínio dessa fase climática seca foi possível o surgimento de um nível aplainado por pediplanação de grande incidência na paisagem brasileira. Ab'Saber (1965) considera esses níveis aplainados, característicos do Terciário, como o principal documento do limite plio-pleistocênico no Brasil, que evidenciam demorados processos de redução de relevo e de lenta pediplanação. Esse amplo nível de pediplanação serve, portanto, como ponto de partida para a datação relativa dos acontecimentos relativos ao Quaternário, a seguir citados.

Na região de Campinas/SP, na borda da Depressão Periférica, Penteado (1980) cita que é indiscutível a presença de uma superfície aplainada. Ela seria um exemplo regional da superfície de pediplanação pliocênica. A Serra de Cocais, a nordeste de Campinas, seria um dos trechos da frente montanhosa, enquanto a formação sedimentar neoceno-zóica que capeia os sedimentos de origem glacial (do Carbonífero) e rochas cristalinas pré-devonianas, poderia ser considerada um depósito correlativo e uma superfície de agradação. A superfície aplainada encontra-se, nas vizinhanças de Boa Vista e Monte-Mor, a 650 metros, enquanto em Valinhos e nas proximidades da Serra de Cocais alcançam-se cotas altimétricas de 700 metros. Por ter sua paisagem mais característica evidente nas proximidades do aeroporto da cidade de Campinas, é denominada superfície de Viracopos (CHRISTOFOLETTI, 1968) ou Indaiatuba (AB'SABER, 1965). Esse nível de aplainamento serviu como superfície inicial para o entalhamento dos cursos de água, em cujos vales pode ser identificada a evolução do Quaternário.

É possível perceber, de acordo com Penteado (1980), na bacia de sedimentação de Rio Claro, drenada pela bacia do rio Corumbataí, que todas as superfícies e níveis do seu interior têm história relativamente recente, que começa após o grande aplainamento que conformou a Superfície Cimeira, identificada com o reverso das cuestas regionais a 950 e 1.000 metros de altitude. Ab'Saber (1965) data essa fase de

aplainamento entre o Eoceno e o Mioceno. A drenagem exorréica teria se estabelecido, portanto, após o Eo-terciário, em clima úmido, guiada por linhas tectônicas reativadas e, possivelmente, por deslocamentos de blocos, dando início à escavação da bacia, mediante fases sucessivas de entalhe e aplainamento.

A macrocompartimentação da Depressão Periférica Paulista relaciona-se com os acontecimentos erosivos pós Eo-terciários. No fim da primeira fase de entalhamento da bacia sedimentar de Rio Claro, um período seco de duração longa permitiu os processos de pediplanação predominantemente exorréica. Esta fase se generalizou em todo o Brasil tropical (Grupo Barreiras – Plioceno). Esta fase de pediplanação formou o primeiro assoalho da bacia sedimentar de Rio Claro e deixou vestígios na concavidade dos tálus das escarpas, refletindo o recuo dos pedimentos e da frente das cuestas, bem como nos altos patamares e interflúvios adjacentes, dispostos entre 700 e 750 metros. Há vestígios de dejeções detríticas em cascalheiras de seixos de quartzo (Penteado, 1980).

O nível acima citado constitui um patamar situado a 100 metros acima do nível de drenagem atual, tratando-se dos mais altos pedimentos obsequentes, frequentemente ligados à frente das cuestas, com contatos basais de ângulo bem marcado, apresentando inclinação para interior da bacia, em direção ao seu eixo. A sua continuidade é interrompida por forte escarpamento com desnível da ordem de 50 metros. À base desse escarpamento desenvolvem-se os tetos topográficos do nível inferior, que é o mais generalizado no interior da bacia, entre 600 e 650 metros.

Essa fase de aplainamento, por cronologia relativa de Penteado (1980), pode estar relacionada ao Neogênico. Poucos são os vestígios desse patamar nas adjacências das cuestas, sendo geralmente apenas patamares esculpidos no arenito Botucatu não silicificado e, em outros casos, restos de antigos pedimentos em forma de esporões alongados. A superfície Urucaia é, portanto, a mais antiga das superfícies interplanálticas do setor centro-oeste da Depressão Periférica e, por ser fruto de uma significativa fase de pediplanação, está presente em toda a província morfológica. Pode ser correlacionada com a superfície Neogênica, entre 700 e 800 metros (Indaiatuba), e na porção oriental da Depressão Periférica (Viracopos).

Com a instalação de uma fase úmida, segundo Penteado (1980), há início de um período de erosão e escavação. A drenagem se organiza em função de velhas direções e o processo de escavação foi reiniciado à medida que se processava o soerguimento dos velhos escudos e da cobertura sedimentar da bacia do Paraná. Essas linhas tectônicas poligonais teriam passado a ser seguidas pela rede de drenagem que fora insequente na fase anterior de degradação. Essa fase de entalhamento é colocada no final do Terciário e limiar do Quaternário, e não deixou vestígios em depósitos, porque a rede de drenagem teve capacidade para evacuação de detritos.

Na 1ª fase de glaciação do Quaternário inferior voltaram a predominar as características de clima mais seco, caracterizando uma nova mudança climática, fase de duração mais longa e de atuação generalizada. Das fases secas do Quaternário, foi a que deixou maiores vestígios nas superfícies interplanálticas extensivas que nivelaram os cimos dos principais interflúvios da Depressão Periférica (Superfície Rio Claro – Neogênica II, de 600 a 650 metros). O grande aplainamento do início do Pleistoceno, por rebaixamento e erosão areolar, provocou o recuo dos rebordos do antigo planalto Neogênico até o sopé das atuais escarpas das cuevas situadas a oeste e norte da bacia de Rio Claro, conformando seu assoalho. Ao término da fase seca, quando o regolito das porções mais elevadas havia sido retirado, restaram afloramentos nus de arenito Botucatu e basalto, que foram facilmente desagregados por erosão mecânica e intemperismo químico de uma fase em oscilação para umidade, tendo fornecido o depósito arenoso que veio se sobrepor aos depósitos basais da bacia de Rio Claro. É completado, assim, o pediplano da bacia, entre 600 e 650 metros. Na sua periferia, os pedimentos cortam o arenito Botucatu e os sedimentos do Passa-Dois e mesmo sills de diabásio, estendendo-se para o interior como pedimento detrítico. A idade da superfície Rio Claro estaria relacionada com o fecho da sedimentação da bacia pelos depósitos arenosos, da fase menos seca. Esta superfície, bastante generalizada, é o resultado da reesculturação da superfície mais antiga da Depressão Periférica.

Penteado (1980) mostra também que, após o extenso período de pediplanação da superfície de Rio Claro (ou superfície Neogênica II), teriam se sucedido episódios

mais curtos de mudanças climáticas, que teriam deixado marcas na paisagem regional, esculpindo os patamares intermediários, os baixos terraços e as várzeas.

A respeito desses reentalhamentos, epicíclicos, que marcam as feições de detalhe do relevo, destaca-se o nível intermediário ( $t_2$ ), a 555 – 570 metros de altitude. É relacionado a uma outra oscilação climática seca, correspondente ao Pleistoceno médio, por ter forma quase retilínea e alongada, de inclinação regular, entre outros fatores.

O assoalho desses patamares é escavado por uma nova fase úmida, separando-os dos terraços de cascalhos situados 4 a 6 metros acima das várzeas, correspondentes à última glaciação. Os baixos terraços foram entalhados por uma fase subatual, mais úmida que a atual, que escavou também o assoalho das várzeas. Uma última curta oscilação, mais seca, teria dado origem a uma linha de cascalhos miúdos situados de 2 a 3 metros abaixo dos solos e colúvios, remobilizados das cascalheiras antigas e pela pavimentação detrítica descontínua do assoalho das várzeas. Pode-se relacionar a esses depósitos uma fase seca, refletindo climas de savana e dominância de morfogênese mecânica. A posição do paleopavimento em relação aos colúvios e solos seria uma indicação da última oscilação seca pré-atual, generalizada em todo o território brasileiro.

Um quadro que resume os períodos geológicos e paleogeográficos relacionados à bacia de Rio Claro (Anexo 1) foi elaborado por Penteado (1969), e os períodos de aggradação e degradação podem ser estendidos a toda a Depressão Periférica, servindo para comparação com os níveis encontrados na Bacia do Rio Mogi Guaçu, conforme correlação estabelecida por Perez Filho (1987).

Lepsch (1977), empregou o conceito de superfície geomorfológica, aplicado e definido por Ruhe (1969): “uma superfície geomorfológica é uma porção de superfície de terra que é especificamente definida no espaço e no tempo”, tendo realizado estudo sobre as superfícies geomorfológicas e depósitos superficiais neoceno-zóicos em Echaporã/SP. O autor salienta que aquelas superfícies constituem segmentos da paisagem contemporânea, isto é, superfície do terreno atual e sobre qualquer substrato geológico e não superfícies pretéritas, recobertas por seus depósitos correlativos, como

são consideradas em outros trabalhos. Em sua área de estudo, o autor identificou cinco superfícies geomorfológicas.

Perez Filho *et al.* (1980), estudando área da planície de inundação do rio Mogi Guaçu/SP, identificaram três superfícies e dois níveis geomorfológicos correspondendo uma a pedimento, duas a terraços e outras duas a aluviões recentes. No pedimento, identificaram um Latossolo Vermelho-Amarelo; nos terraços, Latossolo Câmbico e Cambissolo e nos aluviões recentes solos Aluviais. Estas superfícies foram interpretadas em função da evolução do relevo, e a maior parte das variações dos solos encontrada pode ser relacionada com aspectos da paisagem. Em análise posterior, de Perez Filho (1987), os baixos terraços da Bacia do Mogi Guaçu, pertencentes à Depressão Periférica, com níveis altimétricos entre 560 e 580 metros, tiveram correspondência estabelecida com o Pleistoceno Superior.

#### **2.2.6 – Relação solos e superfícies geomorfológicas na Depressão Periférica**

A respeito das superfícies de aplainamento ou erosão, Casseti (2005) cita Archambault et al (1967) e mostra que elas corresponderiam a “uma topografia mais ou menos plana, resultando de um trabalho prolongado da erosão, em condições tectônicas e climáticas estáveis”. Há também a possibilidade de reajustamento isostático em uma mesma fase de elaboração climática, proporcionando a diferenciação de níveis, dependendo da ação tectônica. De acordo com Casseti (2005), estas superfícies encontram-se associadas a processo de pediplanação, em fase climática seca. Assim, uma superfície de aplainamento constituiria uma etapa importante na história do relevo, marcando o fim de uma longa evolução e podendo constituir o ponto de partida de uma nova etapa do aparecimento de formas após o desencadeamento de uma nova fase de erosão. Além da topografia, outros argumentos contribuem para a caracterização de uma superfície de aplainamento, como: independência da topografia em relação à estrutura, seja ela friável ou resistente; testemunhos de uma cobertura

discordante sobre a rocha subjacente; e testemunhos de uma evolução exposta sob forma de paleossolos.

Perez Filho (1987), em estudo que relaciona os tipos de solo na porção centro-oriental do estado de São Paulo com as superfícies geomorfológicas, lembra que na Depressão Periférica a superfície mais antiga correspondente ao nível de aplainamento geral foi denominada Superfície Interplanáltica ou Urucaia (PENTEADO, 1969). Nesta superfície, o nivelamento ocorre em torno de 670 a 720 metros, e sua elaboração teria ocorrido no final do Plioceno. No interior da Depressão Periférica, seria possível encontrar vestígios dessa superfície na região de Santa Gertrudes, Araras e Leme e daí em direção a Pirassununga, sendo que ela funcionaria como divisor de águas da bacia do Rio Mogi Guaçu e do Corumbataí, com cotas altimétricas variando entre 690 e 730 metros. Os solos relacionados a essa superfície seriam Areias Quartzosas profundas, Latossolos Vermelho-Amarelos textura média, Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa e Latossolo Roxo.

Embutida na superfície Urucaia, encontraria-se uma superfície alveolar, assoalho da bacia de Rio Claro, desnivelada em alvéolos escalonados, separados por soleiras associadas a falhas, a qual Penteado (1976) admite ser de idade neogênica. Na área da bacia do Mogi Guaçu, Perez Filho (1987) encontrou ocorrência de superfície semelhante à identificada na bacia do Corumbataí, tendo sido designada como Superfície de Mogi Mirim, com cotas variando entre 640 e 670 metros. A este nível corresponderiam os solos Podzólico Vermelho-Amarelo textura argilosa e/ou média, Latossolos Vermelho-Amarelo textura média e Latossolos Vermelho-Escuro textura argilosa.

Nivelada entre 580 e 650 metros para a bacia do Mogi Guaçu, a superfície que compreende os altos terraços pedimentares (PEREZ FILHO, 1987), correspondente à definida por Penteado (1976), cuja evolução se verificou no Pleistoceno médio, está recoberto com Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa e Latossolo Vermelho-Amarelo textura média.

### **2.2.7- Mudanças paleoclimáticas durante o Quaternário tardio no Brasil: outros métodos e estudos**

Ao explicar as mudanças paleoclimáticas durante o Quaternário tardio no Brasil, Suguio (1999) mostra que há uma linha de evidências sobre os prováveis paleoclimas desse período relacionada à distribuição florística, que vai além de critérios geomorfológicos que muitas vezes permitem somente a reunião de dados fragmentários, em geral sem datações absolutas.

Segundo Klein (1975), os estudos fitogeográficos têm mostrado que grande parte da vegetação primária do sul do Brasil encontra-se em desacordo com as condições climáticas e edáficas atuais. Este autor, já naquela época, admitia que as mudanças paleoclimáticas do Quaternário teriam influído na expansão e retração alternadas das associações vegetais do sul brasileiro.

De acordo com Suguio (1999), mudanças paleoclimáticas representam as variações no conjunto de parâmetros meteorológicos pretéritos (paleotemperaturas, regime de paleoventos e índices pluviométricos passados), que caracterizam os estados médios típicos da superfície terrestre. Tais mudanças processam-se em várias escalas espaciais (mundiais, regionais e locais) e temporais (centenas e dezenas de milhões de anos até algumas dezenas de anos). Segundo o mesmo autor, os estudos paleoclimáticos visam compreender as mudanças ocorridas através dos tempos geológicos no sistema constituído pela atmosfera, hidrosfera e criosfera. De forma geral, três diferenças fundamentais, entre outras, quando se compara estes estudos às pesquisas climáticas atuais, residem nas escalas de tempo consideradas, nas metodologias empregadas e na participação ou não do Homem como um importante agente de modificações do paleoclima, principalmente no Holoceno, mormente no último século.

É possível destacar entre os vários métodos aplicáveis aos estudos paleoclimáticos do Quaternário as análises palinológicas acompanhadas de datações absolutas, principalmente pelo método de radiocarbono, constituindo poderosa ferramenta. Além dessa forma de análise, também é utilizada a antracologia, que é o estudo e a interpretação de restos de madeira carbonizados provenientes de solos, dos

sedimentos lacustres e paludiais, além de dunas e sítios arqueológicos, permitindo inferir a fisionomia vegetal dominante contemporânea aos incêndios do próprio local de sedimentação. Os isótopos estáveis de carbono fornecem informações aos estudos paleoclimáticos, já que as composições isotópicas em carbonos estáveis da Matéria Orgânica do Solo (MOS) registram informações concernentes às ocorrências de espécies de plantas de diversos tipos de ciclos fotossintéticos. Evidências quanto às posições geográficas, as sequências estratigráficas e as tradições culturais expressas no material cerâmico de diferentes sítios permitem o uso da arqueologia nos estudos paleoclimáticos, uma vez que as fases de ocupação desses locais podem ter obedecido às mudanças climáticas pretéritas (SUGUIO, 1999).

Suguio (1999) expõe que em estudo paleoclimático do Quaternário tardio na Serra Sul de Carajás, no Pará, foram aplicadas técnicas de palinologia aliadas a datações absolutas de sedimentos. Tais estudos foram comparados à análises feitas em outras regiões do país. Conclui que, apesar de inúmeras dificuldades de reconstituição dos paleoclimas, além dos diacronismos e dos efeitos diferenciados de uma região comparada à outra, é surpreendente constatar que os eventos de mudanças paleoclimáticas mais importantes do Quaternário, principalmente os do Holoceno, sejam mais ou menos reconhecíveis nos registros globais, inclusive no Brasil. Entre alguns desses eventos tem-se a Idade Hipsitérmica (cerca de 9.000 a 2.500 anos AP), a Neoglaciação (cerca de 2.500 a 1.000 anos AP) e a Pequena Idade do Gelo (entre 1.450 a 1.890 DC). No entanto, os reflexos dos eventos paleoclimáticos não são idênticos em diferentes latitudes e longitudes do globo.

### **2.3 – O papel da vegetação na evolução da paisagem**

A vegetação tem, sem dúvida, papel importante no processo de intemperismo e na evolução da paisagem, como bem mostram Bigarella *et al.* (1994). Destaca-se que, no Quaternário, as formações vegetais sofreram deslocamentos espaciais em função das flutuações paleoclimáticas. Com referência aos grandes tipos de vegetação, é possível dizer que, no Pleistoceno, existiriam, no atual território brasileiro,

essencialmente os mesmos de hoje. Bigarella *et al.* (1994) explicam que no início do último episódio glacial pleistocênico, o paleoespaço geográfico seria igual ou similar ao atual.

No entanto, com o avanço da glaciação no Hemisfério Norte, ter-se-ia perdido o caráter tropical dos climas até então predominantes na fase pré-Würm. Durante a última grande época glacial teria havido regressão das florestas e ampliação das formações vegetais abertas intertropicais e subtropicais, em consequência do que o autor chama de expansão compartimentada dos climas secos sazonários, determinados pelo avanço das correntes frias, até latitudes bem mais baixas do que as de suas extremidades atuais. Baseando-se em Ab'Saber (1979), é possível dizer que com a expansão da faixa litorânea de climas secos, a Floresta Atlântica da Serra do Mar perdeu sua continuidade, no sentido base-topo, reduzindo-se a refúgios na testada superior e em altos esporões e maciços costeiros, com maior disponibilidade de umidade e eventual ação de chuvas orográficas.

### **2.3.1 – O cerrado**

Reverendo a literatura sobre a definição do significado de cerrado, Quaresma (2008) mostra que muitos autores propõem a substituição do termo cerrado por savana. Outros autores o consideram como uma fitofisionomia componente do bioma savânico e há quem não concorde com a ligação entre tais termos.

De acordo com Ribeiro e Walter (1998), há três acepções técnicas do termo cerrado: a primeira entende o cerrado como bioma; a segunda refere-se ao mesmo num sentido mais amplo (ou *lato sensu*), e a terceira no sentido restrito (ou *stricto sensu*).

Ainda de acordo com Quaresma (2008), a grande quantidade de definições para o termo savana, apoiadas em conceitos diferenciados e critérios variados, mostra grande controvérsias e até equívocos sobre este domínio fitogeográfico.

Na visão de Troppe (2000), os cerrados representariam uma vegetação “*sui generis*” com estrutura e composição próprias, cortada por matas galerias junto aos cursos d’água e que, sob critérios fitofisionômicos, difere totalmente das savanas.

No entanto, Ribeiro & Walter (1998) apontam para a existência de três acepções técnicas para o termo cerrado no período atual: a primeira o considera como *bioma*, de predomínio no Brasil Central; a segunda, como *cerrado stricto sensu*, representando um tipo fitofisionômico presente na formação savânica, que segundo os autores, é definido pela composição florística e pela fisionomia, devendo-se levar em consideração tanto a estrutura como as formas de crescimento dominantes; a terceira acepção seria a do *cerrado lato sensu*, reunindo as formações savânicas e campestres do bioma, incluindo desde o cerradão, que segundo os autores, tratar-se-ia de uma formação florestal do cerrado, ao campo limpo, sendo definido pela composição florística e pela fisionomia, sem considerações sobre a estrutura.

O cerrado recebeu, por um longo período de tempo, o nome de *campo seco*, uma vez que fora considerado por alguns autores como uma vegetação adaptada às condições de clima seco, dada a sua ocorrência, muitas vezes, em regiões que apresentam longos períodos de estiagem, e às características da própria vegetação, a qual se manifesta espacialmente de forma esparsa, apresentando troncos tortuosos, caules revestidos por cascas espessas e folhas coriáceas brilhantes ou revestidas por inúmeros pêlos (FERRI, 1963).

### **2.3.2 – O cerrado e as condições climáticas pleistocênicas**

Vários estudos dedicaram-se à procura de métodos e teorias que pudessem explicar o porquê das atuais organizações espaciais paisagística do estado de São Paulo, principalmente as relativas a fragmentos isolados de diferentes fisionomias de cerrado (cerradão, cerrado stricto sensu, campo-cerrado), que se distribuem de forma esparsa em meio a uma vegetação predominante de floresta tropical (QUARESMA E PEREZ FILHO, 2005).

Muitos autores relacionam as condições paleoclimáticas pleistocênicas de extrema seca em territórios do hemisfério Sul, correspondente à glaciação de Würm-Wisconsin no hemisfério Norte, com o predomínio, nessas áreas, de vegetações adaptadas a essas condições, apoiando-se na proposta da “Teoria dos Refúgios Florestais”, proposta por Ab’Sáber, (1979).

Ab’Sáber (1965) admite a existência de mecanismos de desintegração das paisagens tropicais no Pleistoceno. Concluiu que as condições climáticas existentes no período de 13.000 a 18.000 anos atrás permitiram que as vegetações menos densas, ou mais abertas, do tipo cerrado, caatinga e campos se expandissem e ocupassem amplas áreas do território sul-americano. Ao mesmo tempo, tais condições ocasionaram a fragmentação e limitação das florestas tropicais às poucas áreas úmidas existentes, “redutos”, principalmente ao longo dos rios que mantiveram a condição perene.

Com a retomada das condições climáticas de umidade, devido ao recuo das correntes frias oceânicas em direção ao pólo sul e avanço das correntes quentes em direção ao Trópico de Capricórnio, as vegetações mais densas, tais como as florestas tropicais, teriam podido se expandir e dominar a maior parte da América do Sul, enquanto as vegetações mais abertas sofreram processo de fragmentação e retração aos limites atuais de seus respectivos domínios morfobioclimáticos. Na tentativa de aplicar tal teoria ao estado de São Paulo, Viadana (2002), baseando-se em Ab’Sáber (1979) e em constatações próprias realizadas em campo, tais como a existência de linhas de pedras (indicativas da semi-aridez climática), elaborou estudos sobre os Domínios Naturais, refletindo o mosaico paisagístico supostamente existente no Pleistoceno terminal, com base nas flutuações climáticas quaternárias.

Assim, existem trabalhos que se baseiam na “Teoria dos Refúgios Florestais”, relacionando o cerrado como sendo uma vegetação adaptada à ambientes de escassez de água, sem levar em consideração outros fatores do ambiente.

### 2.3.3 – Condições pedológicas e constituição do cerrado

Em trabalho realizado em área recoberta por cerrado na Estação Ecológica de Jataí (Luiz Antônio/SP), Quaresma (2008) comenta que a distribuição das fitofisionomias desse tipo de vegetação não pode ser atribuída unicamente aos elementos climáticos. Por sua vez, o atributo altitude não demonstrou possuir influência na distribuição das diferentes fitofisionomias, inclusive nas diferenças de porte e densidade constatadas no interior de uma mesma fitofisionomia; a declividade e as formas de vertente, apesar de não terem influenciado diretamente na distribuição das fisionomias de cerradão e cerrado *stricto sensu*, a fizeram indiretamente no porte e densidade das espécies de uma mesma fitofisionomia. A granulometria do solo apresentou influência significativa na distribuição das fitofisionomias de cerrado, sendo que sob cerradão os valores de argila foram muito superiores aos valores verificados em solos sob cerrado *stricto sensu*. Análises químicas dos solos possibilitaram relacionar a presença de vegetação de cerrado *lato sensu* a solos ácidos e com baixa saturação por bases.

Queiroz Neto (1982) realizou extensivo levantamento bibliográfico e análise crítica sobre trabalhos que objetivaram estudar os solos existentes sob o cerrado, tendo salientado que Warming (1973) marca o início das investigações sobre o cerrado ao comentar que a natureza do solo seria um elemento importante na definição e distribuição dessas formações vegetais. A profundidade do perfil, a maior ou menor quantidade de areia e o próprio material de própria origem do solo contribuiriam para as variações dessa cobertura vegetal. A baixa fertilidade dos solos sob cerrados seria percebida pela pobreza de detritos vegetais, húmus ou cogumelos. Ele considerava o cerrado como vegetação xerófila, relacionada ao clima, solo e características morfológicas. A água do solo seria também um elemento importante na distribuição dessas formações, sendo que na floresta, de vegetação mais exuberante, haveria mais umidade no solo do que nos campos, mais xerófilos. Percebeu também a sucessão de tipos vizinhos dessa vegetação: os “campos” ocupariam maiores extensões com variações relacionadas à natureza dos terrenos; as matas ocorreriam preferencialmente em depressões e vales, onde poderiam ser menos decíduas, assim como nas

proximidades de afloramentos calcários. Concluindo, afirmou que a vegetação campestre seria causada, em primeiro lugar, pelas condições ambientais locais (litologia, mineralogia, topografia e climatologia), sendo que o fogo poderia contribuir para mudanças de hábito, chegando a transformar certas espécies.

Com o avanço dos estudos sobre essa vegetação, Queiroz Neto (1982) lembra que na década de 1960, os solos de cerrado eram definidos globalmente como “Latosolos arenosos, areno-barrentos ou argilosos, muitas vezes cascalhentos, profundos, permeáveis, extremamente pobres em bases e ácidos”. As discussões seguiriam pela década de 1970, levando em conta também o comportamento hídrico dos solos, a presença de alumínio trocável e a quantidade de argila.

Waibel (1948) considerava os solos de cerrado mais pobres em relação aos de floresta. Para chegar a conclusão semelhante, Pavageau (1952) e Alvim & Araújo (1953) compararam resultados de análises de solos de cerrado e florestas em Goiás e Minas Gerais, mostrando que a presença dessa vegetação estaria relacionada à pobreza em elementos nutrientes.

Seguindo sua análise crítica, Queiroz Neto (1982) mostra como muitos autores e a própria Comissão de Solos consideraram que a existência do cerrado se dava pela baixa fertilidade dos solos em determinadas áreas do estado de São Paulo. A evolução desses solos teria se iniciado em material mineralogicamente mais pobre, sem reservas para sustentar florestas, e com minerais de argila com pequeno poder absorvente e de troca de cátions. Já anteriormente o autor observara que os solos de cerrado são caracterizados como distróficos por (QUEIROZ NETO, 1969); a atividade da fração mineral, estimada pela capacidade de troca e saturação em bases, é mais baixa do que nos solos com florestas. Os Latossolos de textura média de cerrado, ácidos, apresentariam larga predominância de íons Ca entre as bases trocáveis. Comparando esses dados com os de solos de florestas também de São Paulo, foi possível observar que à medida que aumenta a saturação em bases e o pH, a proporção do Ca entre os cátions diminui, chegando a haver predomínio do Mg. Queiroz Neto (1969, 1975) mostra que esses aspectos estariam relacionados, entre outros fatores, a comportamentos dinâmicos diversos dos dois grupos de solos (sob cerrado e sob floresta) dentro de seus contextos ecológicos. Esses solos, com baixa capacidade de

retenção de bases, apresentariam um tipo de vegetação que manteria um ciclo bioquímico de menor intensidade dos elementos. Com índices pluviométricos semelhantes ao de áreas florestais, os solos de cerrado apresentariam fenômenos de lixiviação mais intensos e, nessas condições, o Ca corresponderia ao elemento mais fortemente retido.

Goodland (1971) indicou que as diversidades encontradas na vegetação de cerrado estariam relacionadas a graus diferentes de oligotrofia, sendo que as deficiências minerais seriam de dois tipos não excludentes: a) falta ou carência de nutrientes, devido à lixiviação intensa durante longo período de tempo; b) falta de disponibilidade de nutrientes, devida a outro fator limitante, podendo estar relacionado a um pH muito baixo, temperatura baixa, pressão osmótica alta ou toxicidade de alguma substância, que também poderia interferir na absorção, como é o caso do alumínio trocável.

Assim, um fator importante se destaca a partir de observações feitas por Goodland (1971): o alto teor de alumínio trocável nos solos diminui a absorção de fósforo pelas plantas. Como destacara Arens (1963), a impossibilidade de utilização de carboidratos produzidos na fotossíntese, devido à escassez de fósforo, cálcio, enxofre e nitrogênio, provoca sua acumulação em certos órgãos, podendo contribuir para a formação das estruturas escleromórficas observadas. A idéia de que a vegetação de cerrado teria características xerófilas levantada por Warming é deixada de lado e o comportamento dinâmico do cerrado por ele também percebido não seria causado pelo clima, nem pelo comportamento hídrico dos solos.

Queiroz Neto (1969) mostra que a presença de manchas de cerrado no estado de São Paulo são nitidamente marginais. Podem, portanto, ser interpretadas como testemunhos de um momento que teriam alcançado maior extensão. A permanência dessas “ilhas” relacionar-se-ia com a distrofia dos solos, os quais não teriam permitido o domínio absoluto de florestas. Os chapadões com Latossolos e cerrado constituiriam testemunhos de extensas superfícies de erosão coalescentes por pediplanação, elaboradas ao longo do Terciário, sobre as quais material detrítico de zonas mais altas, em estado parcial de alteração, teria sido depositado. A partir dessa deposição, iniciarse-ia o processo de formação dos Latossolos, com gênese relacionada a um material

de origem previamente alterado, e já empobrecido em bases (QUEIROZ NETO, 1975). A sucessão de variações climáticas teria dado origem a outras superfícies intermediárias, onde também se observa a presença de solos empobrecidos e onde também se instala a vegetação de cerrado.

A alternância de ciclos bioclimáticos e morfogenéticos mais secos e mais úmidos teria capacidade de comandar, em parte, a evolução das paisagens. Os processos de entalhamento fluvial, nos períodos de maior umidade, atacam regressivamente as superfícies mais antigas. A floresta teria se estabelecido em bordos dissecados e desnudados das coberturas detriticas latossólicas, onde o substrato rochoso também foi exposto ao intemperismo, permitindo o surgimento de material de origem para solos renovados (QUEIROZ NETO, 1982).

Nos resíduos das superfícies de erosão o intemperismo sucessivo continuaria a atuar sobre materiais cada vez mais alterados e empobrecidos. Assim, a vegetação que se instala deve adaptar-se progressivamente a solos cada vez mais distróficos. Na sequência de variações climáticas, a cada fase de maior umidade, a lixiviação aumentaria, a vegetação diminui a intensidade do ciclo biológico dos elementos, tornando-se pouco a pouco incapaz de retê-los e devolve-los aos solos na forma de detritos humificáveis. Ainda segundo o pesquisador, o empobrecimento dos solos dar-se-ia a partir da lixiviação crescente, provocando aumento de acidez, que, a partir de certo momento, caracteriza-se pela presença de quantidades significativas de alumínio trocável, com possível instabilização e destruição lenta da caulinita, num meio de baixa saturação em bases e pH ácido.

## **2.4 – Datações absolutas de solos: o método de Luminescência Opticamente Estimulada (LOE)**

Corrêa (2001) demonstrou a eficácia do método da Luminescência Opticamente Estimulada (LOE) para a datação absoluta de colúvios em maciço subúmido na região

Nordeste do Brasil. Este tipo de datação pode ser feita a partir da datação de quartzo ou do feldspato presente no material sedimentar.

Côrrea *et al.* (2002), a respeito da datação pelo método da LOE, mostram também que as vantagens desse método sobre os demais procedimentos de datação de sedimentos recentes, como o  $C^{14}$ , por exemplo, advém do fato dele explorar uma propriedade física (a luminescência) inerente aos sólidos cristalinos (minerais) encontrados no próprio depósito, prioritariamente o quartzo e os feldspatos. Assim sendo, a LOE se converte em método de datação absoluta de eventos deposicionais. Os autores mostram também que a abrangência temporal vai desde cerca de 100 anos ap. até 1Ma, dependendo dos níveis de saturação do material analisado, portanto o método da LOE se presta para a datação de eventos deposicionais ocorridos ao longo do Quaternário; desde eventos climáticos regionais de grande magnitude (mudanças nos padrões de circulação regional), eventos tectônicos que afetaram a rede de drenagem (inversões e capturas por soerguimento das cabeceiras), até episódios erosivos recentes, desencadeados por alterações nos padrões de uso do solo.

Os métodos de datação por luminescência correspondem a técnicas baseadas no acúmulo de cargas radioativas produzidas por uma população de elétrons aprisionados em minerais cristalinos. Estes métodos são capazes de estabelecer o período de tempo transcorrido desde que a população aprisionada de elétrons foi liberada pela última vez. O evento de liberação da carga acumulada para os materiais sedimentares é o instante em que este material foi exposto à luz diurna pela última vez, antes de ser recoberto por novo episódio deposicional. A técnica se impôs a partir da década de 1980 e das contribuições de Huntley *et al.* (1985; 1988). A descoberta mais significativa foi, sem dúvida, a da possibilidade de medir o sinal de luminescência diretamente relacionado à carga da população de elétrons aprisionada no cristal, mediante estímulo luminoso, assim definindo o próprio método da LOE (Luminescência Opticamente Estimulada).

A família dos métodos de datação baseados na luminescência tem o seu mecanismo de operação assentado sobre o decaimento radioativo. Eles medem um sinal que se relaciona com a transferência de elétrons, a partir de defeitos inerentes aos materiais cristalinos semicondutores, sobretudo o quartzo e o feldspato.

### 3. HIPÓTESE E OBJETIVOS

O presente trabalho parte da concepção de que as variáveis físicas: drenagem, litologia, solos e relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu/SP permitem a identificação e classificação, de acordo com o grau de fragilidade, de unidade geossistêmicas da área em questão.

Considerando-se as mudanças climáticas a partir do Pleistoceno (13.000 – 18.000 A.P.), estabelecidas por Damuth & Fairbridge (1970), e tomando como base a análise sistêmica, os geossistemas representados por unidades físico-espaciais individualizadas, tiveram sua formação, transformação e evolução, baseadas em organizações espaciais com diferentes graus de fragilidade ambiental. Assim, unidades geossistêmicas frágeis teriam sua gênese relacionada a ambientes secos com cobertura vegetal de cerrado que evoluíram para ambientes úmidos holocênicos, mantendo mesmo tipo de vegetação (cerrado).

O objetivo geral do presente trabalho, utilizando método de datação absoluta de solos em formas ou superfícies geomorfológicas de áreas de cerrado, é estabelecer relação das condições climáticas pretéritas com a formação dos solos característicos, correlacionando origem desse tipo de vegetação e fragilidade dos geossistemas.

Os objetivos específicos são:

1. Delimitar unidades geossistêmicas da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu/SP;
2. Determinar a fragilidade relativa das unidades;
3. Analisar material cartográfico disponível e realizar trabalhos de campo de reconhecimento, para levantar elementos que permitam selecionar áreas relativas a cerrados em superfícies geomorfológicas e terraços fluviais;
4. Datar solos das superfícies e terraços escolhidos, e discutir a idade no contexto climático pretérito.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 – A Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu

A Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu (Figura 4.1) compreende uma área total de 17460 km<sup>2</sup>, dos quais 14653 km<sup>2</sup> estão localizados na porção nordeste do estado de São Paulo. Tem formato aproximadamente retangular e se estende no sentido sudoeste – noroeste.

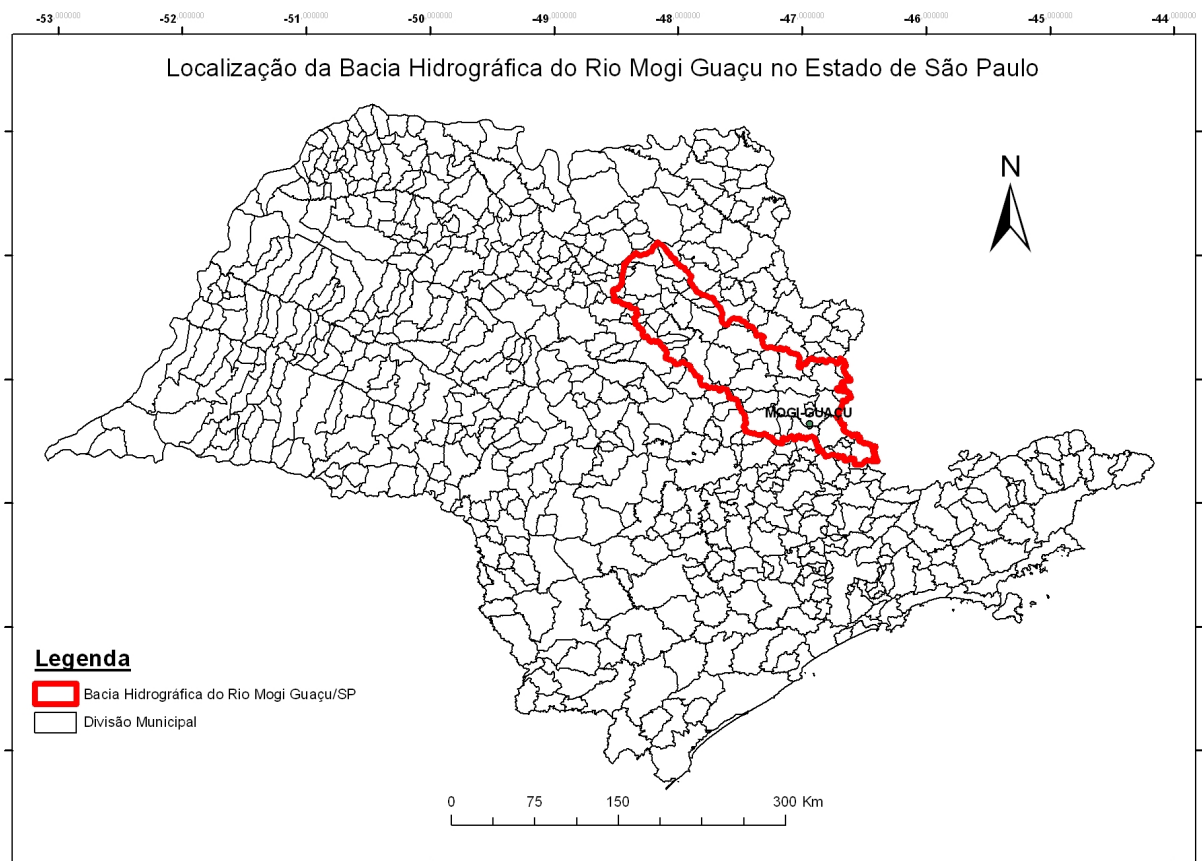


Figura 4.1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu/SP

Zancopé e Perez Filho (2006) destacam que o Rio Mogi Guaçu nasce no Morro do Curvado, no município de sul-mineiro de Bom Repouso, numa altitude aproximada de 1.510 m e localizado entre as coordenadas 22°30'S e 46°08'W, na região da Serra da Mantiqueira, próximo ao limite interestadual São Paulo - Minas Gerais, no Sudeste Brasileiro. Após escoar longitudinalmente por aproximados 530 Km, deságua no Rio Pardo a 483 m acima do nível médio do mar entre as coordenadas 20°53'S e 48°11'W, no NE do estado paulista.

A Lei estadual de nº 7.663 de 1991 estabelece os objetivos, princípios, diretrizes e instrumentos da Política Estadual de Recursos Hídricos, apresentando o suporte para a constituição dos Comitês de Bacias Hidrográficas, no contexto do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Para assegurar transparência e definição de co-responsabilidades, essa lei determina o emprego de mecanismos de participação paritária do Estado, dos Municípios e da sociedade civil e a elaboração de Planos de recursos hídricos e a publicação anual de relatório sobre a situação dos recursos hídricos.

A implantação oficial do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu (CBH-Mogi) aconteceu em 1996, correspondendo à Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos 09 (UGRHI 09). O primeiro Relatório da Situação dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu foi publicado no ano de 1999, seguindo o que determina o artigo 30 da lei 7.663, sob a coordenação geral da Secretaria Executiva do CBH-Mogi.

Sobre o planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, adotando-se a bacia hidrográfica como unidade físico-territorial básica, o CBH-Mogi (2008) mostra que “existem dificuldades para a adoção irrestrita desse princípio porque não há coincidência das divisas políticoadministrativas com os divisores de águas. Observa-se que as inter-relações políticas, sociais e econômicas entre regiões e comunidades não respeitam nem as divisas nem os divisores”.

#### 4.1.1 – Limites administrativos e zoneamento

No Estado de São Paulo, a Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu se estende por 58 municípios, sendo que 38 deles têm suas sedes localizadas na área da Bacia e os outros 20 têm partes de suas áreas localizadas na Bacia e suas sedes em outras bacias hidrográficas (Figura 4.2 e Tabela 4.1).

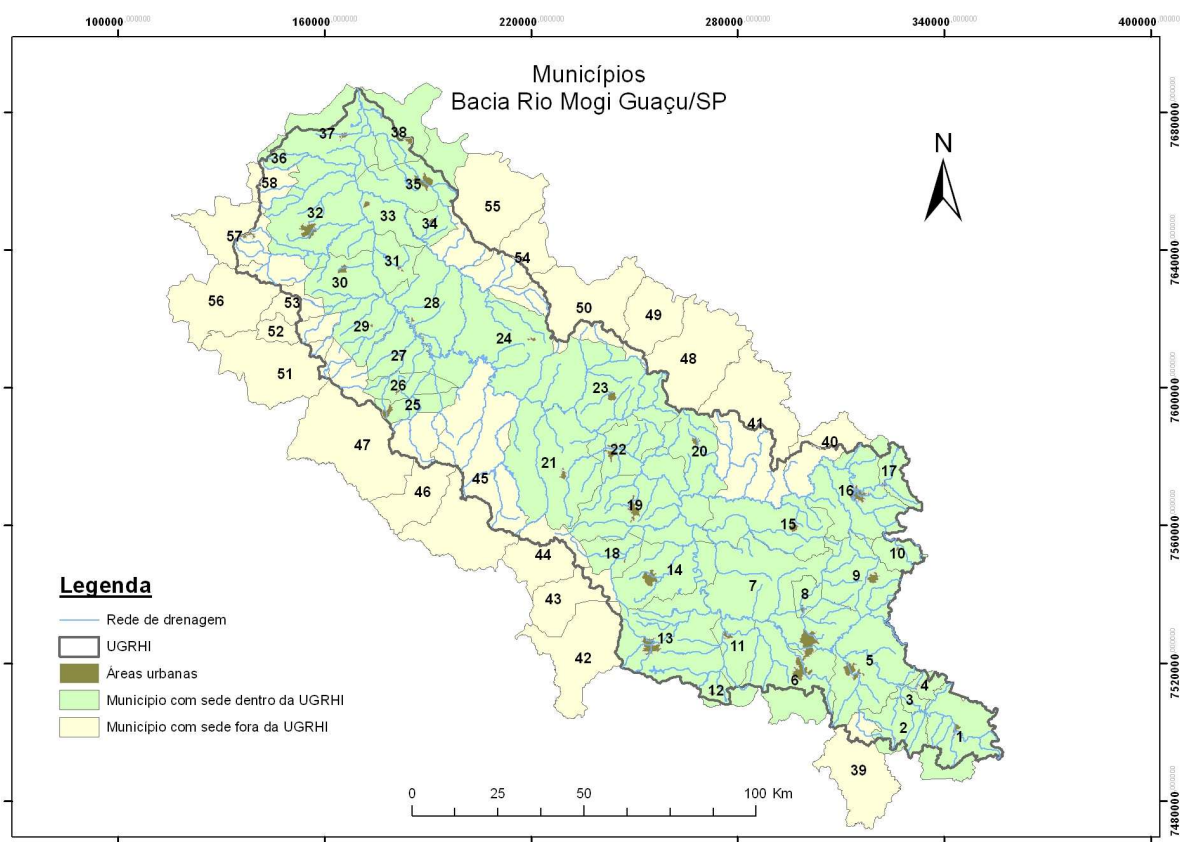


Figura 4.2 – Municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu/SP (Adaptado de: CBH-MOGI, 2008)

Tabela 4.1 – Municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu/SP

| Municípios com sede dentro da bacia |                               |                                 |                   | Municípios com sede fora da bacia |                            |
|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| 1 – Socorro                         | 11 – Conchal                  | 21 – Descalvado                 | 31 – Pradópolis   | 39 – Amparo                       | 49 – Santa Rosa de Viterbo |
| 2 – Serra Negra                     | 12 – Engenheiro Coelho        | 22 – Porto Ferreira             | 32 – Jaboticabal  | 40 – Vargem Grande do Sul         | 50 – São Simão             |
| 3 – Lindóia                         | 13 – Araras                   | 23 – Santa Rita do Passa Quatro | 33 – Barrinha     | 41 – Casa Branca                  | 51 – Matão                 |
| 4 – Águas de Lindóia                | 14 – Leme                     | 24 – Luís Antônio               | 34 – Dumont       | 42 – Rio Claro                    | 52 – Dobrada               |
| 5 – Itapira                         | 15 – Aguaí                    | 25 – Américo Brasiliense        | 35 – Sertãozinho  | 43 – Corumbataí                   | 53 – Santa Ernestina       |
| 6 – Mogi-Mirim                      | 16 – São João da Boa Vista    | 26 – Santa Lúcia                | 36 – Taquaral     | 44 – Analândia                    | 54 – Cravinhos             |
| 7 – Mogi-Guaçu                      | 17 – Águas da Prata           | 27 – Rincão                     | 37 – Pitangueiras | 45 – São Carlos                   | 55 – Ribeirão Preto        |
| 8 – Estiva Gerbi                    | 18 – Santa Cruz da Conceição  | 28 – Guataporá                  | 38 – Pontal       | 46 – Ibaté                        | 56 – Taquaritinga          |
| 9 – Espírito Santo do Pinhal        | 19 – Pirassununga             | 29 – Motuca                     |                   | 47 – Araraquara                   | 57 – Monte Alto            |
| 10 – Santo Antônio do Jardim        | 20 – Santa Cruz das Palmeiras | 30 – Guariba                    |                   | 48 – Tambau                       | 58 – Taiúva                |

De acordo com o Relatório de Situação 2008-2011, elaborado por CBH-Mogi (2008), em 1995 a Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu foi inicialmente subdividida em compartimentos econômico-ecológicos no "Macrozoneamento das Bacias dos Rios Mogi Guaçu, Pardo e Médio-Grande" (SMA, 1995). Esses compartimentos continham as sub-bacias contendo as zonas urbanas de maneira parcial ou total; compreendiam os fluxos de comércio e serviços entre as cidades. Possuíam relativa homogeneidade quanto ao uso do solo e utilização da água e relativa homogeneidade dos elementos do meio biótico (vegetação) e abiótico, principalmente quanto às formações geológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas.

Em 2008, na execução da atualização do Plano de Bacia, foram propostas mudanças nos limites dos compartimentos (Figura 4.3). Foi realizado um ajuste dos limites do compartimento Alto Mogi para que se possa representar o trecho crítico da bacia, no qual é desenvolvido o Projeto Estiagem, coordenado pela CETESB Regional Pirassununga.

Foram alterados também nessa atualização os limites entre Médio Mogi (antigo Médio Mogi Superior) e Baixo Mogi (Antigo Médio Mogi Inferior) para que o seu limite coincidisse com os divisores de água dos principais afluentes do rio Mogi Guaçu naquela área; assim, a única bacia cujo rio é fragmentado é a do próprio rio Mogi Guaçu.

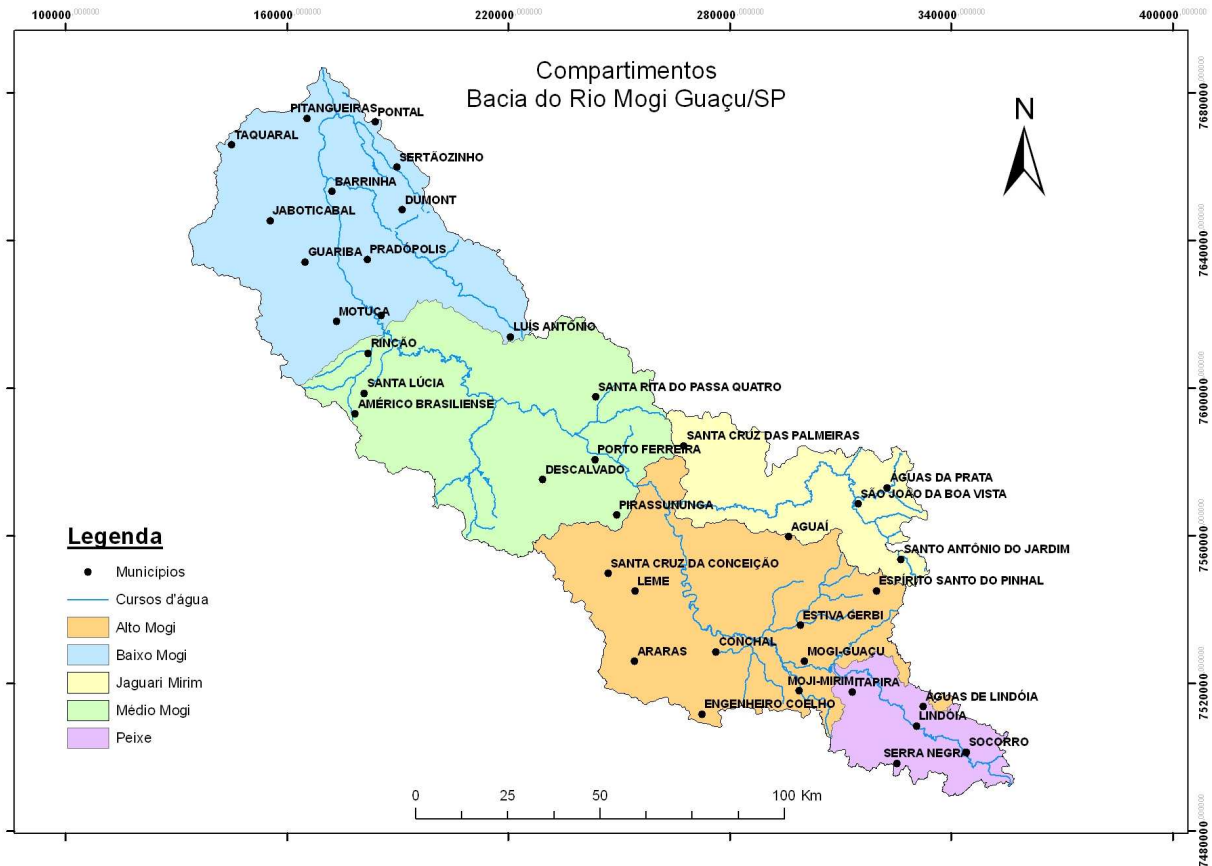


Figura 4.3 – Compartimentos administrativos da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu atualizados em 2008 (Fonte: CBH-Mogi, 2008)

#### **4.1.2 – Aspectos geomorfológicos**

Segundo Zancopé (2008), a nascente do Rio Mogi Guaçu e todo seu alto-curso correm sobre o Planalto de Serra Negra-Lindóia, do Complexo Cristalino do Pré-Cambriano, com predomínio de granitos, gnaisses, quartzitos e migmatitos, solos Podzólicos Vermelho-Amarelos (Argissolos Vermelho-Amarelos) e Cambissolos com modelado de cristas e morros de topos convexos, segundo Ross e Moroz (1997).

Ainda de acordo com Zancopé (2008), na maior parte do território paulista, o Rio Mogi Guaçu escoia sobre as rochas da Bacia Sedimentar do Paraná, lito-estrutura que o sustenta até a foz, atravessando a Depressão Periférica Paulista com predomínio de arenitos finos, argilitos e folhelhos e de Latossolos Vermelho-Amarelos, Latossolos Vermelho-Escuros (Latosolos Vermelhos) e Podzólicos Vermelho-Amarelos (Argissolos Vermelho-Amarelos), com vertentes convexas e topos aplanados, segundo Ross e Moroz (1997). Este trecho compreende o médio-curso, entre os municípios paulistas de Mogi Guaçu e Porto Ferreira.

Entre os municípios de Descalvado, Porto Ferreira e Santa Rita do Passa Quatro, aquele rio transpõe as cuestas do Planalto Ocidental Paulista, para entrar em seu baixo-curso, correndo sobre o Planalto Ocidental Paulista em leitos predominantemente de basaltos, solos da classe Latossolo Roxo (Latossolo Vermelho) e o relevo variando de vertentes plano-convexas a convexas de topos aplanados baixos a médios, de acordo com Ross e Moroz (1997) (Figura 4.4).

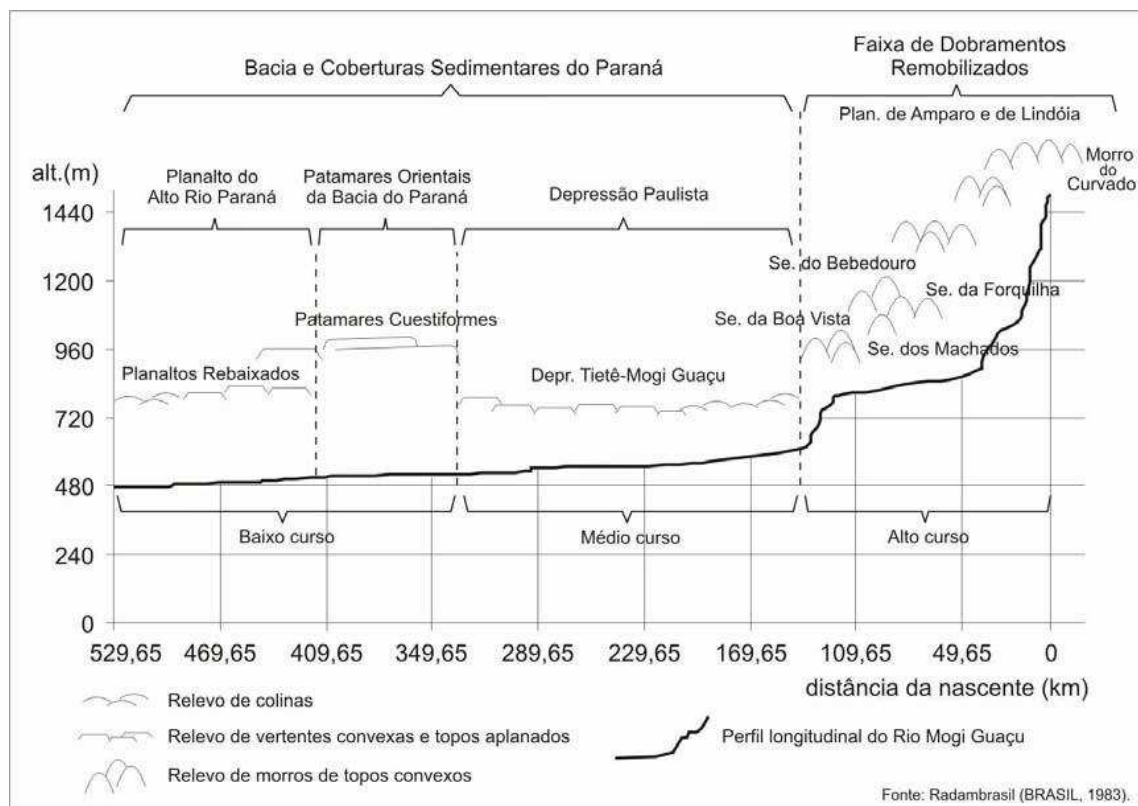


Figura 4.4 – Compartimentos geomorfológicos da Bacia do Mogi Guaçu (Fonte: Zancopé, 2008)

## 4.2 – Delimitação e análise da Bacia

O primeiro passo para início das análises propostas foi a determinação do limite espacial da Bacia Hidrográfica. Tal objetivo foi alcançado com a obtenção, junto ao Comitê da Bacia do Rio Mogi Guaçu (CBH-MOGI), de dados sobre a distribuição da sua

rede de drenagem. Arquivos digitais vetoriais em formato shapefile foram fornecidos e, a partir do uso do programa computacional ArcGIS versão 9.3, obtiveram-se as coordenadas referentes aos limites espaciais da bacia. Os dados de tais arquivos são provenientes da digitalização de cartas topográficas em escala 1:50.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (CBH-MOGI, 2008). A bacia delimitada em formato vetorial também serviu para recorte espacial de informações provenientes de outras fontes.

A análise do relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu foi efetuada a partir da elaboração de mapa com as curvas de nível da área considerada, empregando mosaicos de dados SRTM (modelos digitais de elevação, com aproximadamente 90 metros de resolução espacial, originários da missão de mapeamento do relevo terrestre SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*), disponibilizados pelo projeto “Brasil em Relevo”, da Embrapa Monitoramento por Satélite, responsável por corrigir e padronizar os dados brutos SRTM, eliminando falhas, sombras e distorções<sup>6</sup>.

Para a área da bacia hidrográfica, foi necessário baixar 5 dados SRTM compatíveis com as folhas 1:250.000 do IBGE: SF-22-X-B; SF-22-X-D; SF-23-V-C; SF-23-Y-A; SF-23-Y-B, as quais compuseram um mosaico elaborado no programa computacional ArcGIS 9.3 através da ferramenta chamada *Mosaic*. Ainda no mesmo programa, foi recortada a área da bacia, anteriormente elaborada, obtendo-se os dados SRTM referentes à altimetria da Bacia Hidrográfica. Com a ferramenta de elaboração de curvas de nível disponibilizada pelo programa (*Contour*), geraram-se curvas equidistantes em 90 metros. Os dados referentes ao relevo da área de estudo foram aprimorados em etapa seguinte, com dados liberados para uso público no final do mês

---

<sup>6</sup> “O projeto Brasil em relevo utilizou como fonte primária os modelos digitais de elevação, com aproximadamente 90 metros de resolução espacial, originários da missão de mapeamento do relevo terrestre SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), desenvolvido pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*) dos Estados Unidos no ano 2000. Os dados obtidos pelo mapeamento foram disponibilizados pelo USGS Eros Data Center (*United States Geological Survey*). Os MDEs foram gerados por interferometria de radar. Neste processo, o sinal emitido é recebido por duas antenas separadas por uma distância fixa (60 m), permitindo assim o cálculo da elevação da superfície, com uma acurácia vertical absoluta de 16 metros (90% confiança).

Os dados originais foram obtidos em formato raster, com resolução radiométrica de 16 bits, em formato HGT, projeção geográfica, elevações referenciadas para o geóide WGS84 EGM96 e datum horizontal WGS84. Também foram utilizados como fonte de informações, os modelos digitais de elevação da América do Sul derivados do SRTM e pós-processados pela FAO/UNEP (*Food Agriculture Organization/United Nations Environment Programme*), no âmbito do programa GLCN (*Global Land Cover Network*). Os pesquisadores da Embrapa Monitoramento por Satélite baixaram os dados brutos do SRTM do site da NASA e fizeram um cuidadoso trabalho de correção e padronização, eliminando falhas, sombras e distorções”. (MIRANDA, 2005).

de junho de 2009 pelo serviço espacial americano (NASA) e japonês (METI), referentes ao projeto *ASTER Global Digital Elevation Model* (GDEM), recém concluído, e que tem cerca de 90% do globo coberto por modelos digitais de elevação com 30 metros de resolução espacial, aparentemente com várias vantagens em relação ao DEM anterior do SRTM, de 90 metros. Dessa forma, foi possível refinar o mapa de altimetria da área de estudo, com aprimorada resolução espacial. Seguindo as etapas já explicadas anteriormente, foi elaborado mapa altimétrico com curvas de nível de 30 metros de eqüidistância.

Para que fosse possível a visualização das condições altimétricas da área estudada, elaborou-se também um Modelo Digital de Elevação do Terreno, utilizando-se o aplicativo de criação de TIN, do módulo de análise 3D do *software* ArcGIS versão 9.3, o qual permite tal visualização a partir dos dados de altimetria fornecidos pelo SRTM.

Os dados relativos à litologia da área de estudo foram obtidos em Mapa Geológico disponibilizado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), no sistema Geobank, em formato digital vetorial (shapefile), em escala 1:750.000, correspondente ao Estado de São Paulo. Desse mapa foram obtidas as camadas de informação referentes à litologia da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu. Compôs-se, assim, o Mapa da litologia da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu (Figura 4.5).

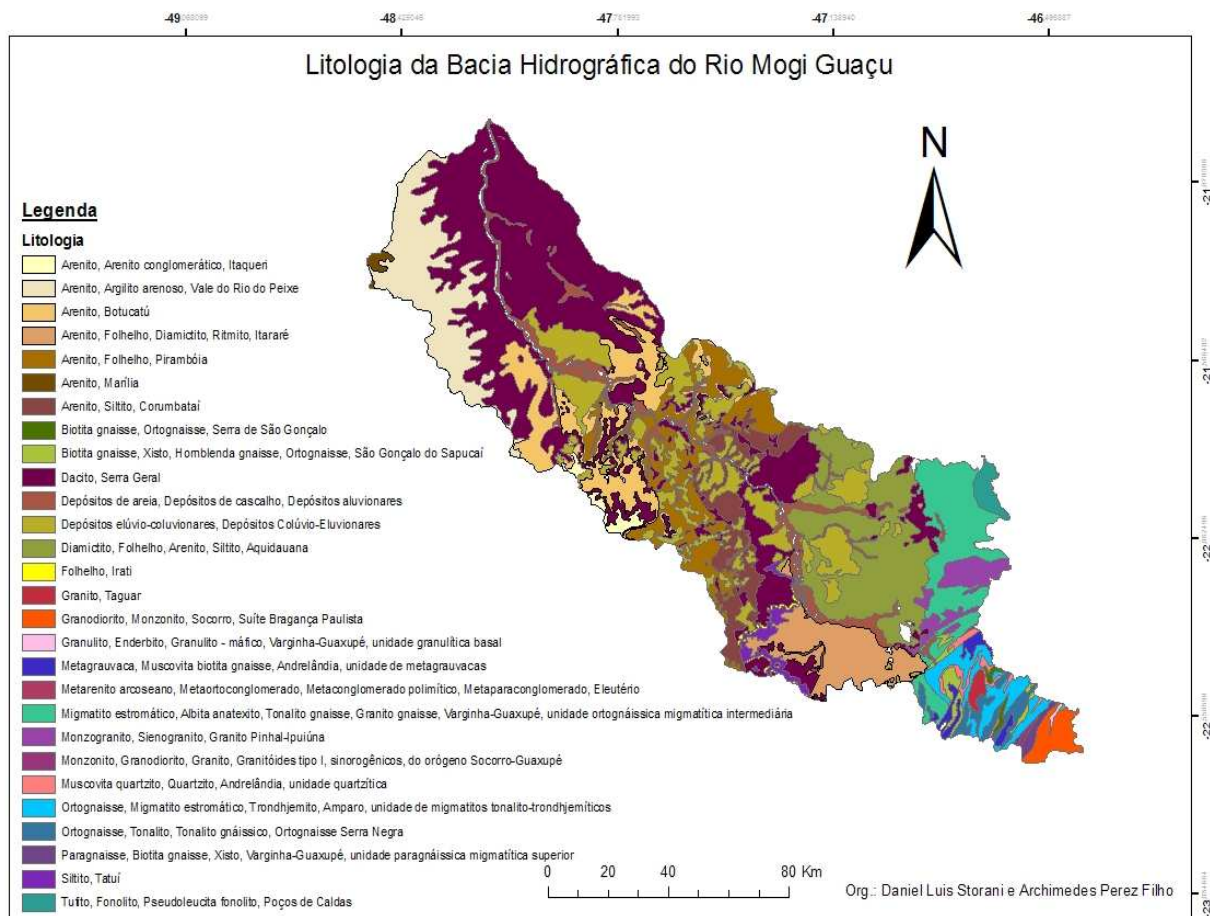


Figura 4.5 – Litologia da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu/SP (Fonte: CPRM, s/d).

A rede de drenagem da área foi obtida no Plano da Bacia, que é “o relatório de planejamento definido pela legislação, que orienta a gestão de uma bacia hidrográfica, no uso, recuperação, proteção e conservação dos recursos hídricos” (CBH-MOGI, 2008), elaborado pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu. Os arquivos vetoriais em formato shapefile continham a drenagem da área da bacia, digitalizada a partir das cartas topográficas em escala 1:50.000 do IBGE (Figura 4.6). Com uso do software ArcGIS pode-se elaborar mapa temático de rede de drenagem da Bacia.

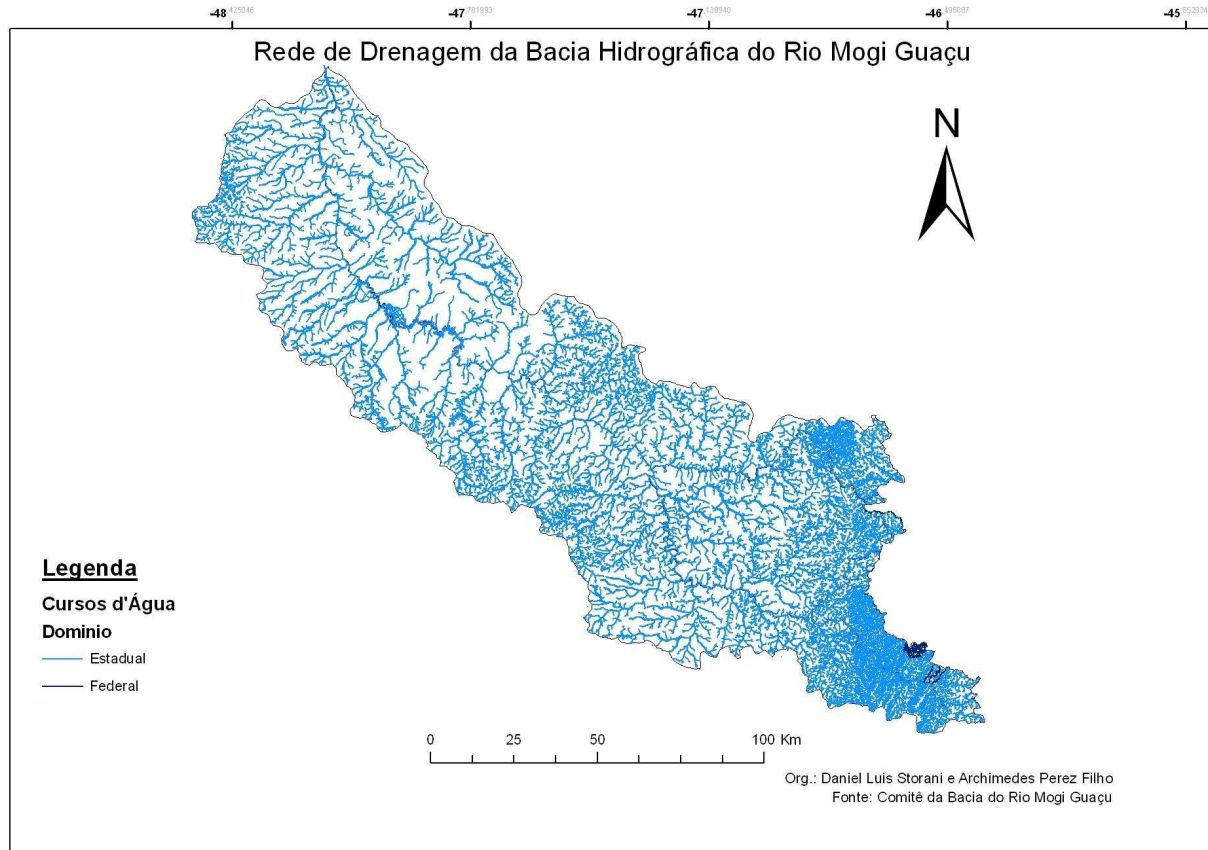
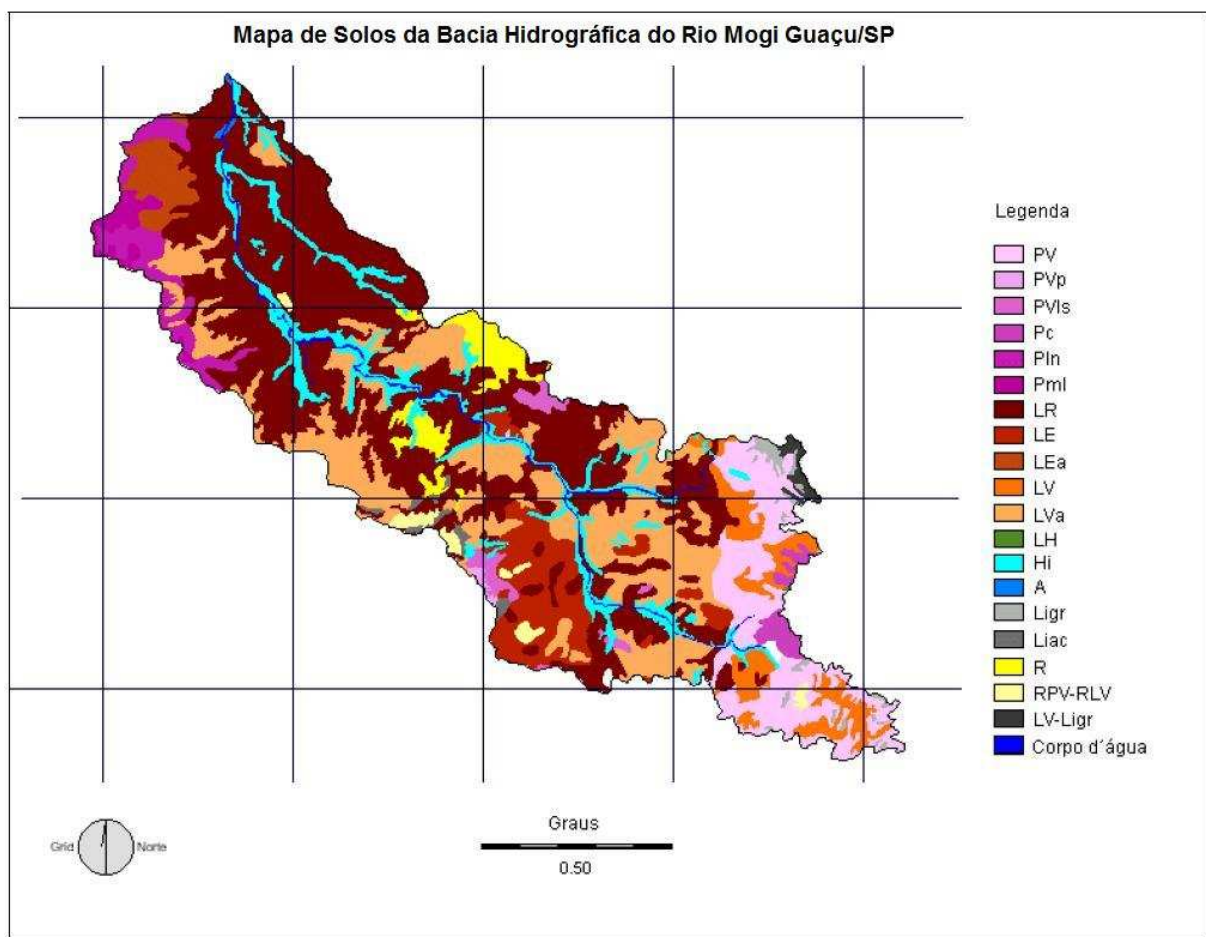


Figura 4.6 – Rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu/SP (Adaptado de: CBH-Mogi, 2008).

A distribuição de solos pela bacia foi analisada através de mapa que também compõe o Plano da Bacia anteriormente citado, disponível em figura anexa ao documento citado (Figura 4.7). Os dados referentes à vegetação nativa (Figura 4.8) e clima (Figura 4.9) também tiveram como fonte o mesmo Plano.



| <b>Legenda</b>           | <b>Solo</b>                  |
|--------------------------|------------------------------|
| PV; PVp; PVls            | Argissolos vermelho-amarelos |
| Pc; Pln; Pml             | Argissolos vermelhos         |
| LR; LE; Lea; LV; Lva; LH | Latossolos                   |
| Hi                       | Gleissolos                   |
| A                        | Neossolos flúvicos           |
| Ligr                     | Neossolos litólicos          |
| Liac                     | Chernossolos rëndzicos       |
| R; RPV-RLV               | Neossolos quartzarênicos     |

Figura 4.7 – Mapa de Solos da Bacia do Rio Mogi Guaçu (Fonte: CBH-MOGI, 1999)

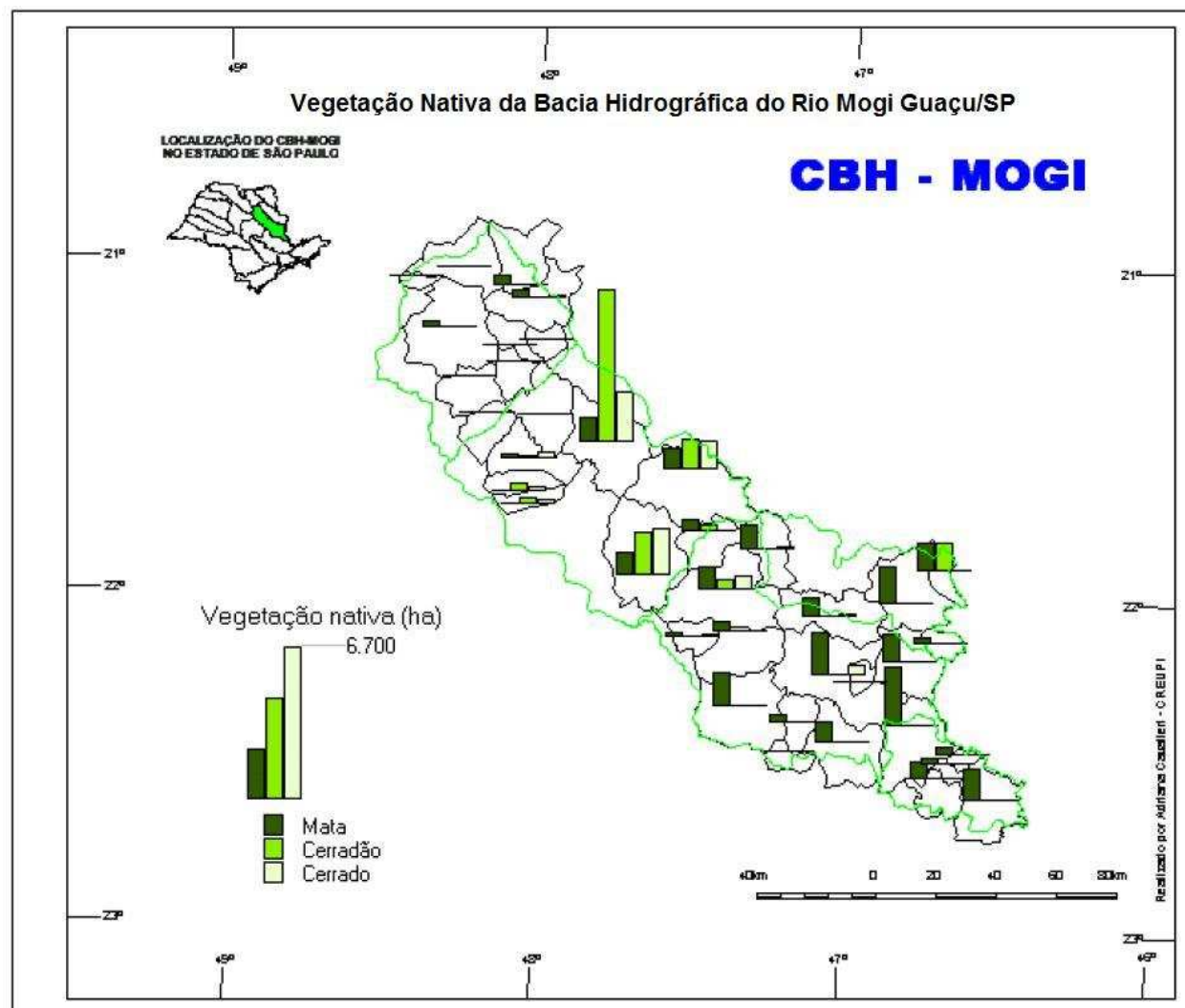


Figura 4.8 – Mapa da Vegetação Nativa da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu por município  
(Fonte: CBH-MOGI, 1999)

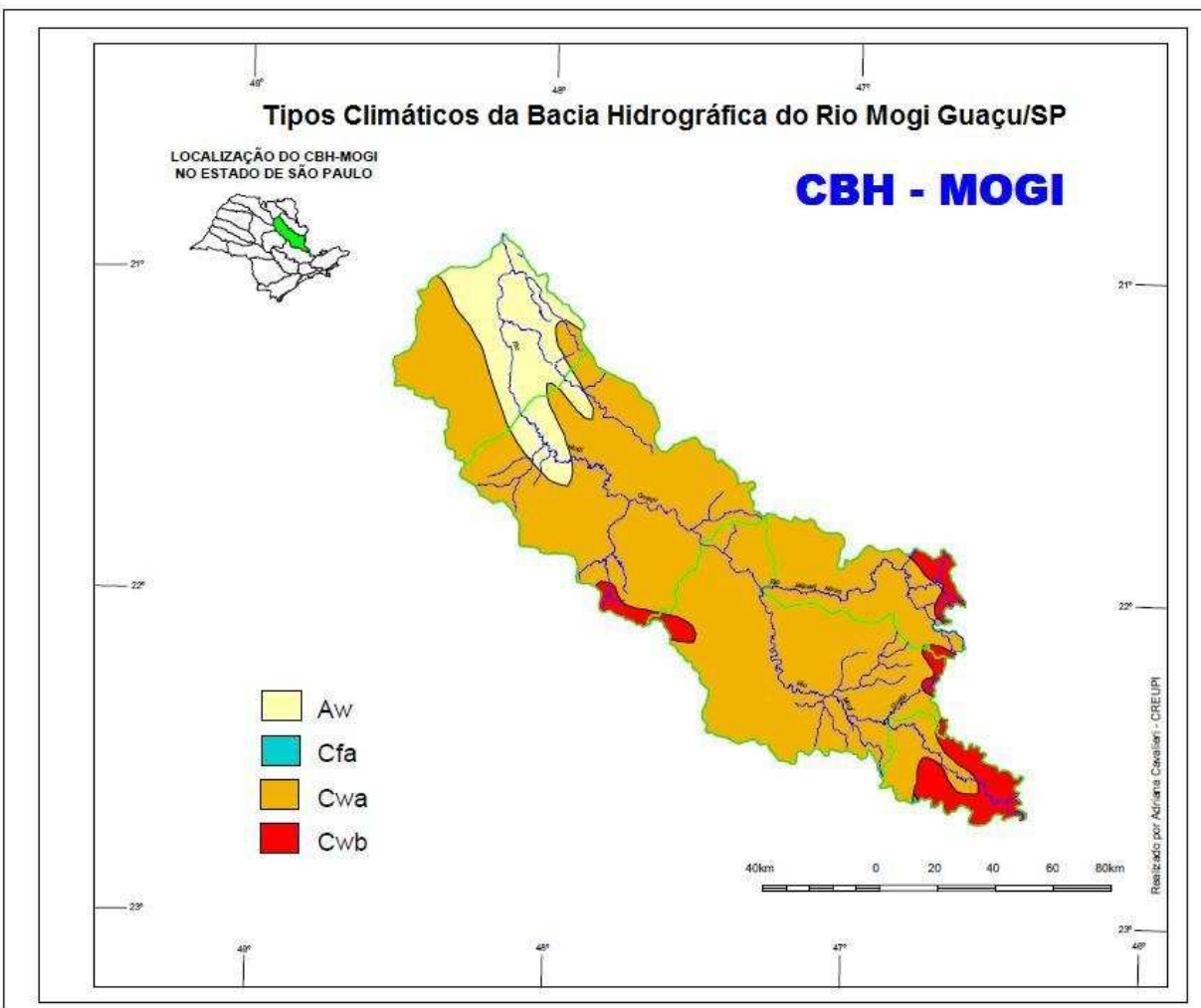


Figura 4.9 – Mapa dos Tipos Climáticos (Sistema Internacional de Köppen) da Bacia do Rio Mogi Guaçu (Fonte: CBH-MOGI, 1999).

#### 4.2.1 – Delimitação das Unidades Geossistêmicas da Bacia Hidrográfica do Mogi Guaçu

A delimitação das unidades geossistêmicas teve como ponto de partida e base a análise da rede de drenagem da área da bacia, observando-se a quantidade de cursos

d'água, assim como a distribuição e densidade. A partir das diferenças encontradas na drenagem de cada região, analisou-se o relevo, a litologia, os tipos de solo e por fim, clima e vegetação. A sobreposição dos dados se deu por meio do *software* ArcGIS versão 9.3

Para chegar à divisão da bacia em unidades geossistêmicas, foram observadas condições similares de cada atributo ambiental que, combinadas, davam origem a unidades únicas e explicavam a condição observada nos mapas, imagens de satélite e nos trabalhos de campo de reconhecimento realizados. Área com drenagem similar e que apresentasse relevo, solo, litologia, clima e vegetação únicos e correspondentes, deu origem à unidade delimitada, respeitando aproximações necessárias por conta da escala de análise.

A partir da elaboração do mapa de Unidades, elas foram descritas pelo detalhamento das componentes naturais dos geossistemas, baseando-se nos dados levantados e anteriormente citados. Além da descrição, elaborou-se um quadro sintético com a caracterização de cada variável considerada na delimitação das unidades, e suas correspondentes fragilidades relativas.

Depois de delimitadas as Unidades, foi atribuído a cada uma delas um grau de fragilidade relativa, prosseguindo-se com a escolha dos pontos de coleta de amostras de solo para datação por Luminescência Opticamente Estimulada (LOE).

Para elaboração do grau de fragilidade, foram estudados os elementos ambientais de todas as unidades e considerados aqueles que se destacassem com maior propensão à fragilidade ou alteração. A determinação do grau da fragilidade de cada unidade foi relativa, ou seja, resultado da comparação entre as unidades da bacia e seus componentes ambientais.

#### **4.2.2 – Escolha dos pontos de coleta de amostras para datação**

Para atingir o objetivo proposto pelo trabalho, as áreas de interesse para coleta de amostras de solo para datação deveriam apresentar como característica a presença de vegetação de cerrado sem interferência antrópica aparente. Isso porque o solo

correspondente a essa forma de vegetação pode trazer evidências sobre as condições de surgimento ou manutenção dela. Além disso, era de interesse realizar coletas em áreas com trabalhos realizados que envolvessem a descrição cronológica de formação da paisagem, para que fosse possível discussão posterior, com confirmação ou não das datações relativas levantadas. Por fim, foi de interesse manter a análise restrita à província geomorfológica da Depressão Periférica Paulista, por conta das relações já estabelecidas a respeito de sua elaboração ao longo do Quaternário.

De acordo com Zancopé (2009), atividades tectônicas e estruturas geológicas modificam o gradiente de um rio, desenvolvendo convexidades ou concavidades no perfil longitudinal, segundo o tipo e a dinâmica da estrutura envolvida. Estas anomalias provocariam alterações no transporte e na morfologia do canal nos trechos sobre a estrutura movimentada, tanto a montante quanto a jusante da zona deformada. Além disso, litologias mais resistentes à erosão ao longo dos cursos d'água funcionariam como soleiras para níveis de base locais, atuando de maneira similar. Menciona também que mudanças climáticas também podem afetar a forma do perfil longitudinal, por influenciarem a magnitude e frequência das vazões, sendo que o rio ajusta os processos de erosão, transporte e deposição e, conseqüentemente, a forma do perfil, para atender as novas condições do clima. Assim, o desenvolvimento de níveis de terraços fluviais teria relação direta com esses ajustes.

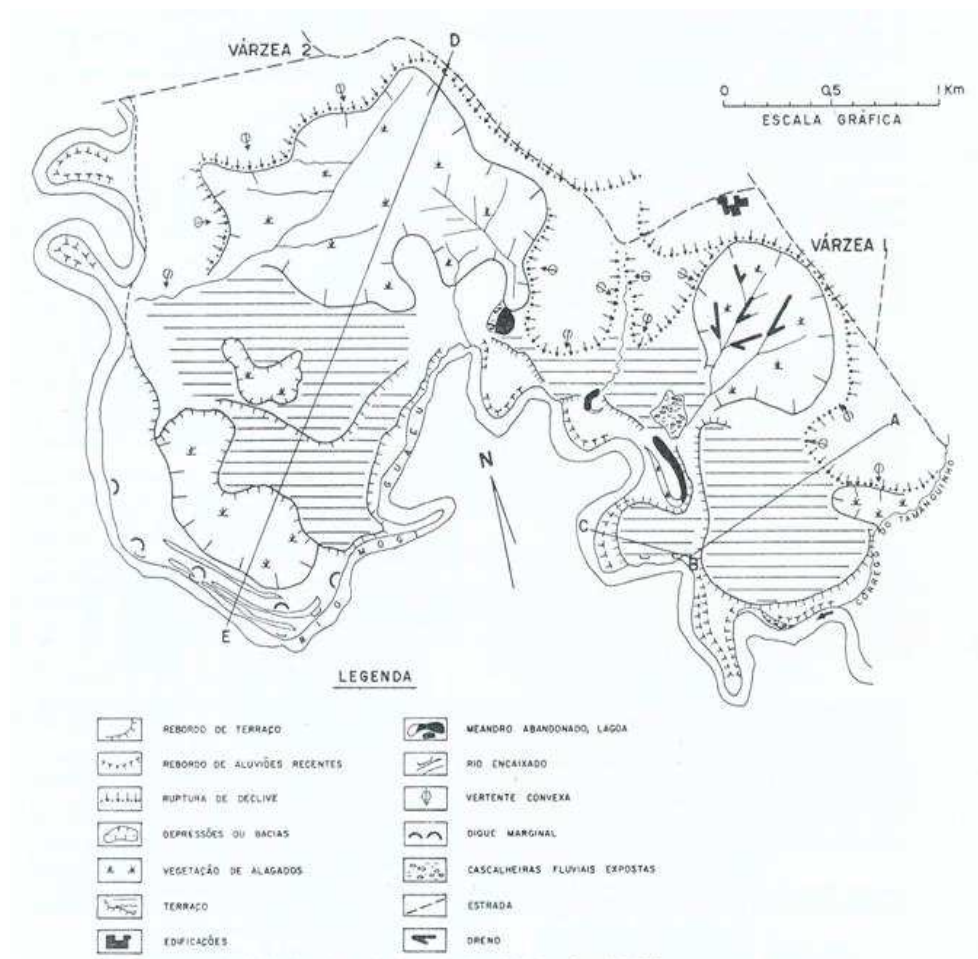
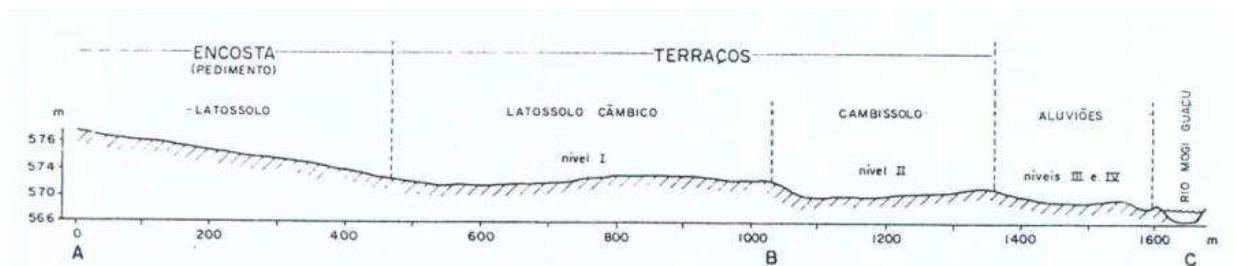
O autor citado mostra também que anomalias no perfil afetam a morfologia dos canais fluviais, classificando-os em três categorias: retilíneos, entrelaçados e meandrantos. Os canais meandrantos apresentam nítido processo de migração das curvas.

Em linhas gerais, Zancopé (2009) mostra que anomalias na forma do perfil longitudinal do Rio Mogi Guaçu têm relações com mudanças na morfologia do canal ao longo do seu curso e nos processos de migração dos meandros. Analisou que as planícies fluviais da Fazenda Campininha (no município de Mogi Guaçu/SP) e de Jataí (no município de Luiz Antônio/SP) apresentam meandramentos de elevada sinuosidade e uma grande profusão de formas de relevo resultantes da migração do canal, como meandros abandonados e paleo-canais. Observando o perfil longitudinal e suas anomalias, tem-se que, no caso das planícies fluviais de Jataí, elas estão ligadas as

condições litológicas locais: o padrão de Meandros de Jataí escoia sobre arenitos finos à médios (Formação Botucatu), altamente friáveis. Isso explicaria, em parte, o desenvolvimento do padrão do canal nesse trecho sendo que, a jusante, o Rio Mogi Guaçu escoia sobre os derrames basálticos da Formação Serra Geral. A presença dessa litologia de maior grau de resistência, em relação ao trecho anterior, funciona então como soleira, com a formação de um nível de base local para todo o meandramento (ZANCOPÉ; PEREZ FILHO, 2005). A anomalia do trecho da Fazenda Campininha representaria um ajuste do perfil longitudinal por meio do entalhamento das rochas paleozóicas menos resistentes. Esse ajuste promoveria modificações na morfologia e sinuosidade do canal no trecho. O entalhamento promoveria encaixamento dos meandros num trecho seguinte e promoveria aumento do gradiente, causando aumento da energia de drenagem, conseqüente encaixamento da faixa meândrica e aumento da sinuosidade. Além disso, é mencionada a influência das estruturas geológicas e feições estruturais da bacia na dinâmica fluvial e, conseqüentemente, no perfil longitudinal do Rio Mogi Guaçu, e como as áreas de planícies fluviais têm relação com essas características.

A área da Fazenda Campininha foi escolhida para análise por já ter sido citada em diversos trabalhos que analisaram suas características (PEREZ FILHO *et al.*, 1980; ZANCOPÉ, 2008, 2009). Nesse local, foram escolhidos pontos relacionados aos níveis de terraços e pedimento identificados por Perez Filho *et al.* (1980). A escolha levou em consideração a localização da área delimitada como Unidade Geossistêmica 7. Tal escolha também levou em consideração a localização na província geomorfológica da Depressão Periérica, onde os trabalhos realizados por Perez Filho (1987) e Penteado (1969) caracterizam relações entre níveis geomorfológicos e oscilações climáticas Pleistocênicas. A Fazenda Campininha faz parte da Estação Ecológica Mogi Guaçu e também da Estação Experimental de Mogi Guaçu, ambas sob responsabilidade da Divisão de Florestas e Estações Experimentais (DFEE) do Instituto Florestal do Estado de São Paulo.

O perfil A-B-C elaborado e analisado por Perez Filho *et al.* (1980) compreende um nível de encosta (ou pedimento) entre 574 e 577 metros de altitude, e dois níveis de terraço, além do aluvião (Figuras 4.10 e 4.11).



A amostra do Ponto 4 foi coletada no terraço de nível II do perfil A-B-C (Figuras 4.10 e 4.12), a uma altitude de 572 metros; nesse local, o solo foi classificado como Cambissolo, com drenagem moderada, com textura média em todo o perfil, com estrutura subangular moderada no horizonte B, o qual não apresenta vestígios de sedimentação recente, com argila de atividade baixa e quantidade relativamente elevada de minerais primários.

A amostra do Ponto 5 foi coletada no terraço de nível I, a uma altitude de 575 metros (Figura 4.12), onde verificou-se a presença de Latossolo Vermelho-Amarelo Câmbico, de textura média, com alta saturação de alumínio e profundos. Apresentam significativo gradiente textural, estrutura subangular franca e, principalmente, alguns minerais primários facilmente intemperizáveis na fração areia. O gradiente textural e a cerosidade não são suficientes para caracterizar o horizonte B textural, e a quantidade de minerais, inferior a 3%, não é suficiente para caracterizar o horizonte B incipiente (ou horizonte câmbico).

Ainda no mesmo perfil, a amostra do Ponto 3 foi coletada no nível de pedimento, a 600 metros de altitude (Figura 4.12), onde se encontra um Latossolo Vermelho-Amarelo, de textura média, alta saturação de alumínio, com profundidade superior a 2 metros e boa drenagem. O perfil apresenta horizonte B com características morfológicas típicas de Latossolos, tais como transição difusa entre horizontes, pequeno gradiente textural, estrutura com aspecto maciço e poroso *in situ*, alta porosidade e friabilidade

Além dos pontos acima selecionados, coletou-se amostra (Ponto 2) na mesma Estação Ecológica, em área de preservação permanente, onde a vegetação de cerrado não sofreu alteração antrópica. Esse ponto corresponde a uma altitude de 660 metros, com solo pertencente à Unidade Coqueiro (Levantamento Pedológico semidetalhado do estado de São Paulo: quadrícula de Araras – Oliveira *et al.*, 1982), sendo descrito como Latossolo Vermelho-Amarelo álico, com horizonte A moderado, textura média do horizonte B, com teor de argila inferior a 20%, com predominância de areia grossa, e horizonte B com estrutura subangular fraca.

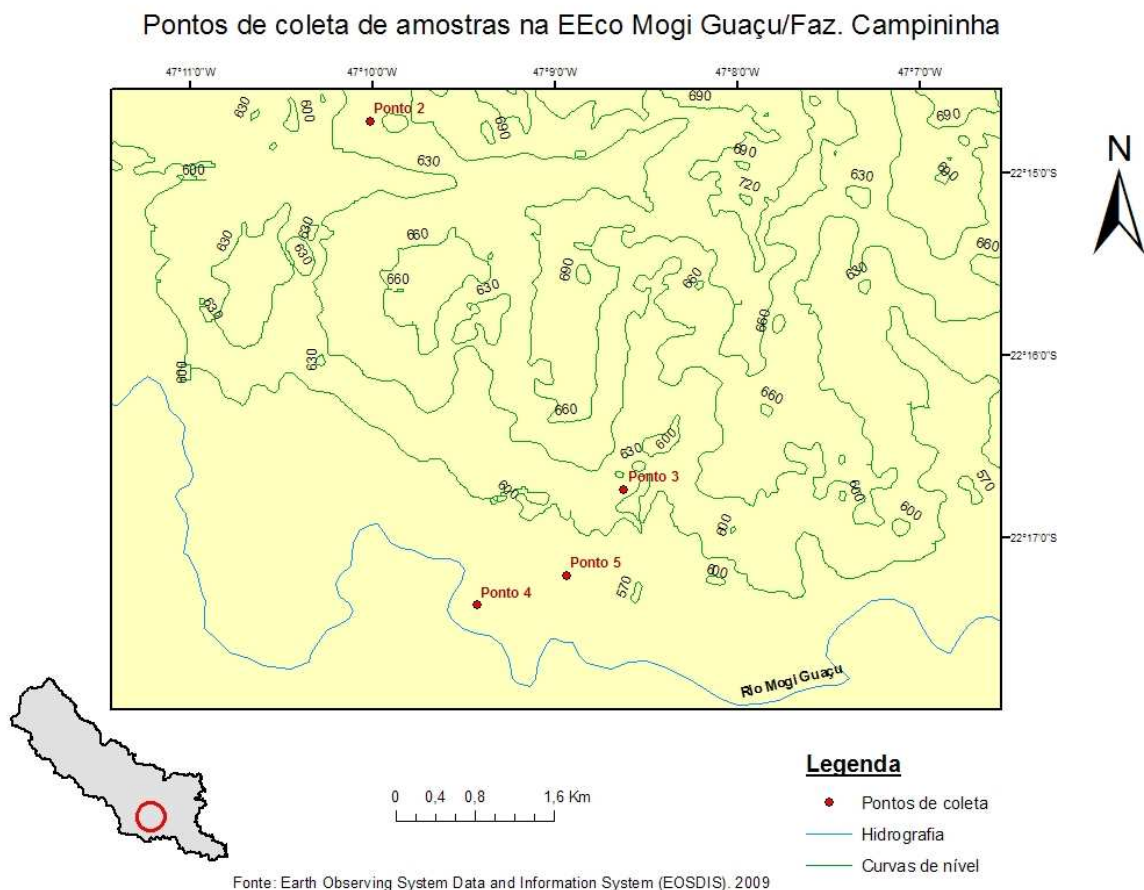


Figura 4.12 – Localização dos pontos de coleta de amostras de solo na Fazenda Campininha, em Mogi Guaçu/SP

Foi também escolhido ponto e coletada amostra no Horto Florestal do município de Mogi Mirim/SP, onde há presença de cerrado preservado sobre Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com horizonte A húmico, com textura argilosa média. O Horto Florestal de Mogi Mirim corresponde à Estação Experimental Mogi Mirim, também sob responsabilidade da Divisão de Florestas e Estações Experimentais (DFEE) do Instituto Florestal do Estado de São Paulo. A coleta foi realizada em superfície a 650 metros de altitude, em área pertencente à Unidade Geossistêmica 3, que tem suas características detalhadas no capítulo Resultados e Discussões deste trabalho (Figura 4.13).

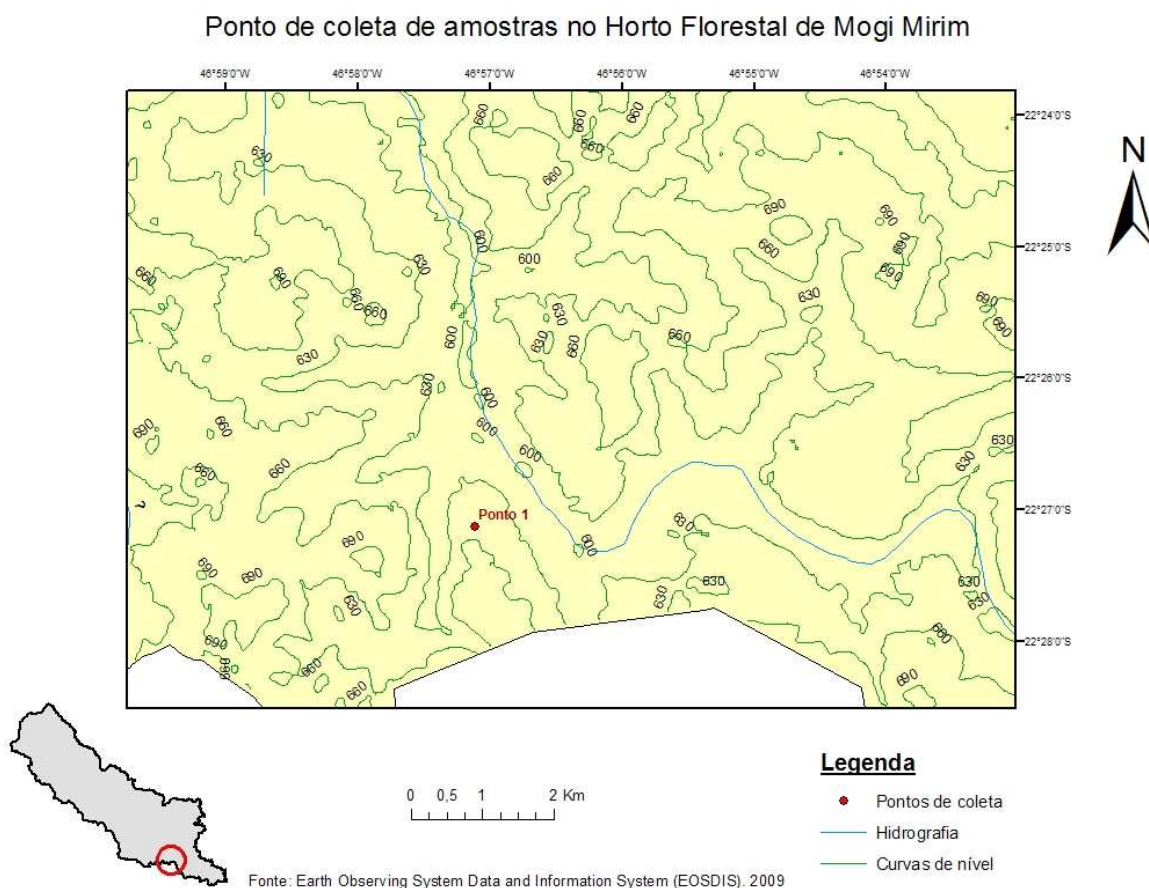


Figura 4.13 – Localização dos pontos de coleta de amostras de solo no Horto Florestal de Mogi Mirim/SP

Foram também realizadas coletas na Estação Ecológica Jataí, em vertentes estudadas por Quaresma (2008) (Figuras 4.14 e 4.15), onde também existe predominância da vegetação de cerrado. Neste local, foram selecionados 4 pontos. Zancopé (2008) mostra que nesse local também há predomínio de planícies fluviais do Rio Mogi Guaçu, com meandros, por conta das estruturas geológicas e feições estruturais da área. A Estação Ecológica de Jataí localiza-se no município paulista de Luiz Antônio, na transição entre a Depressão Periférica e o Planalto Ocidental. Caracteriza-se como área de preservação, onde há pontos cobertos por vegetação de cerrado sem histórico de alteração antrópica. Na divisão de Unidades Geossistêmicas

proposta, corresponde à Unidade 5, que tem características explicadas no próximo capítulo. Essa área de coleta de amostras de solo corresponde à Estação Experimental Luiz Antônio, também sob responsabilidade da Divisão de Florestas e Estações Experimentais (DFEE) do Instituto Florestal do Estado de São Paulo.

Amostra coletada no Ponto 9 está representada por um Latossolo Vermelho, com caráter álico, de textura média, com 20% de argila, a uma altitude de 600 metros de altitude, correspondendo ao primeiro ponto da vertente A de Quaresma (2008).

Na mesma área, na porção inferior da vertente B, foi coletada amostra a uma altitude de 535 metros (Ponto 6), recoberta por Neossolo Quartzarênico, com textura de 96,7% de areia, e presença de alumínio.

O Ponto 7, está localizado na vertente B estudada por Quaresma (2008), a 557 metros de altitude, onde predomina Neossolo Quartzarênico, com 10,4% de argila.

O Ponto 8 caracteriza-se por estar localizado a uma altitude de 580 metros e encontra-se sobre Neossolos Quartzarênicos, com 16% de argila e 79,5% de areia, a uma altitude de 580 metros.

A vantagem de realizar coleta de amostras de solos em áreas institucionalmente preservadas, como nas três áreas escolhidas no presente trabalho, está no fato da interferência antrópica ser menor ou inexistente, tanto na vegetação quanto no solo, possibilitando datações que apresentam resultados mais confiáveis.

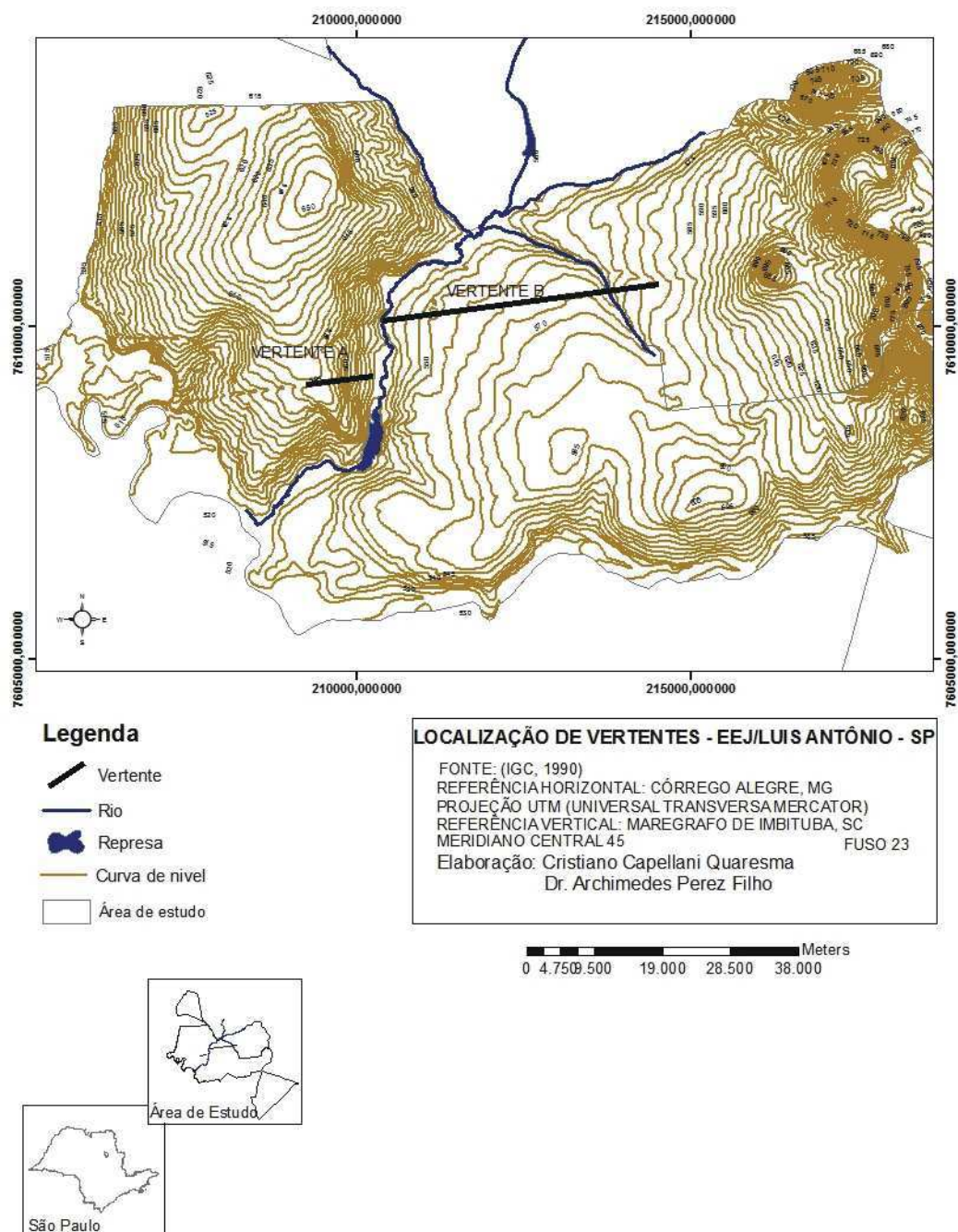


Figura 4.14 – Localização das vertentes citadas na Estação Ecológica de Jataí (Fonte: Quaresma, 2008)

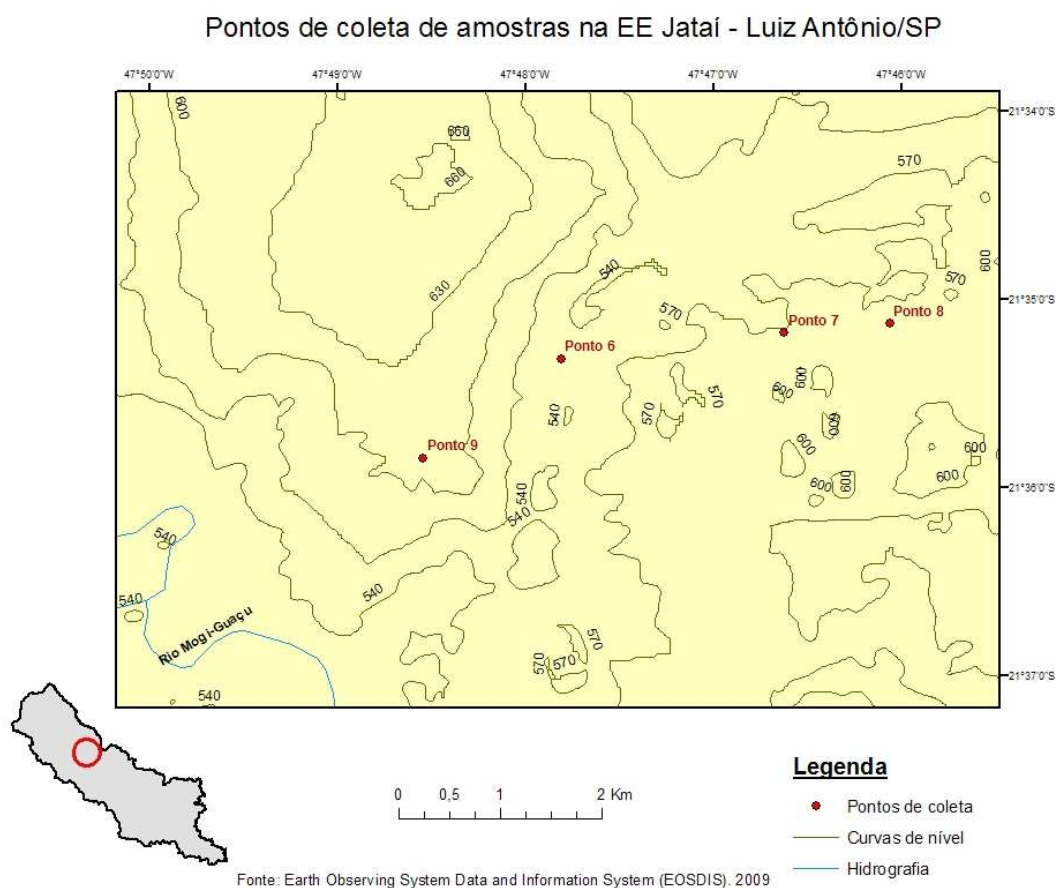


Figura 4.15 – Localização dos pontos de coleta de amostras de solo na Estação Ecológica de Jataí, em Luiz Antônio/SP.

A área selecionada na Estação Ecológica de Jataí corresponde, de acordo com o Mapa de Unidades Geossistêmicas previamente elaborado e apresentado no próximo capítulo, à Unidade 5, onde é possível encontrar declividades relativamente acentuadas e, por isso, o nível de fragilidade é considerado acentuado.

### 4.2.3 – Coleta e datação de amostras de solos

Para a coleta de amostras de solos anteriormente determinados, levou-se em consideração também características de onde o solo não tivesse sido remexido por construções ou abertura de estradas. Foram abertas trincheiras com aproximadamente 80 cm de profundidade, e um metro de largura (Figura 4.16).

A coleta de amostra se dá com o tubo de PVC limpo e de cor escura (para evitar entrada de luz solar). O tubo de PVC, com aproximadamente 60 centímetros de comprimento e seis centímetros de diâmetro foi enterrado horizontalmente a uma profundidade de 60 cm no solo, utilizando-se de um martelo de borracha para bater na ponta exposta e para que ele fosse completamente enterrado (Figura 4.17). Depois de o tubo estar completamente preenchido, a ponta exposta é fechada com a tampa (*cap* de PVC) de forma que não haja mais exposição à luz.

O tubo é cuidadosamente retirado do solo, envolvido em saco plástico preto, e a ponta retirada também é fechada com outra tampa. Lacraram-se as pontas com fita plástica adesiva, e o tubo recebe o nome do ponto de coleta, indicando-se também a direção de inserção do tubo no solo, seguindo recomendações do laboratório de análise.



Figuras 4.16 e 4.17 – Limpeza e de área para coleta e tubo de PVC enterrado no solo a ser datado

As amostras de solo foram submetidas à datação por LOE (Luminescência Opticamente Estimulada) no Laboratório de Vidros e Datação na Faculdade de Tecnologia de São Paulo.

A seguir são citadas em detalhe as metodologias e fórmulas usadas para datação por meio de LOE, e fornecidas pelo Laboratório de Vidros e Datação:

#### A) Preparação das amostras

Os tubos são abertos em ambiente de luz vermelha na extremidade interna de inserção que deve ser indicada. Posteriormente passam por um tratamento químico com  $\text{H}_2\text{O}_2$ , HF (20%) e finalmente HCl (20%), sendo que as lavagens intermediárias são efetuadas com água destilada. Após tratamento químico as amostras são secas e peneiradas separando em uma fração granulométrica na faixa de 100-160  $\mu\text{m}$  (100-60 Tyler), obtendo assim material Natural (quartzo/feldspato) isentos de materiais orgânicos e/ou metais pesados, e com granulometria bem homogênea.

#### B) Preparação das amostras para análise de TL/OSL

A partir da amostra de material Natural é separada uma porção que é submetida à radiação solar por um período de aproximadamente 20 dias para decaimento Residual (TL/OSL). Desta porção são separadas várias amostras que são irradiadas (fonte de  $^{60}\text{Co}$  (455Ci)) em várias doses pré-definidas (Gy), que devem estar próximas a dose acumulada Natural para montagem da curva de calibração.

#### C) Determinação da Dose Acumulada Natural

Equipamento utilizado: TL/OSL Automated Systems, Model 1100-series Daybreak Nuclear Instruments Inc. O método de regeneração total é usado para determinar a dose acumulada da amostra, neste método são medidas as intensidades de LOEnat e as LOEres + irradiação (estes últimos com doses pré estabelecidas de radiação ionizante conhecidas), o sinal de LOE é obtido através de excitação por leds azuis e a medida se dá em uma temperatura de 120°C. O ajuste dos pontos experimentais da LOE são extraídos através da área da curva de decaimento e sua

extrapolação nos fornece o valor da dose acumulada (em Gy) quando comparado com os valores de doses conhecidas.

#### D) Determinação da Dose Anual

Equipamento utilizado: Canberra Inspector Portable Spectroscopy Workstation (detector: NaI – TI). As amostras sem nenhum tratamento são colocadas em um recipiente plástico (dimensões: 5 cm de diâmetro e 2 cm de altura) em um espectrômetro (já citado acima) para coleta de dados por 24 horas, este equipamento faz uma varredura completa de energia e nos fornece uma relação de Contagem versus Energia.

Após a coleta de dados, a partir do gráfico de Contagem versus Energia são extraídos os valores de intensidade de contagem referentes a energia dos elementos U (Urânio), Th (Tório), K (Potássio). Levando em conta também a radiação cósmica é então calculada a dose anual usando a equação. Finalmente temos a Idade da amostra com a relação:

$$Idade (anos) = \frac{Dose\ Acumulada\ Natural\ (Gy)}{Dose\ Anual\ (Gy/ano)}$$

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 – Resultados de análise do relevo da Bacia

São apresentados a seguir os mapas obtidos a partir das análises descritas no capítulo anterior, e que subsidiam a obtenção e análise de Unidades Geossistêmicas na Bacia do Mogi Guaçu no Estado de São Paulo.

O mapa altimétrico com curvas de nível de 30 metros de eqüidistância (Figura 5.1) apresenta resolução espacial de 30 metros, e é uma evolução em relação aos dados disponíveis até então, como explicado anteriormente.

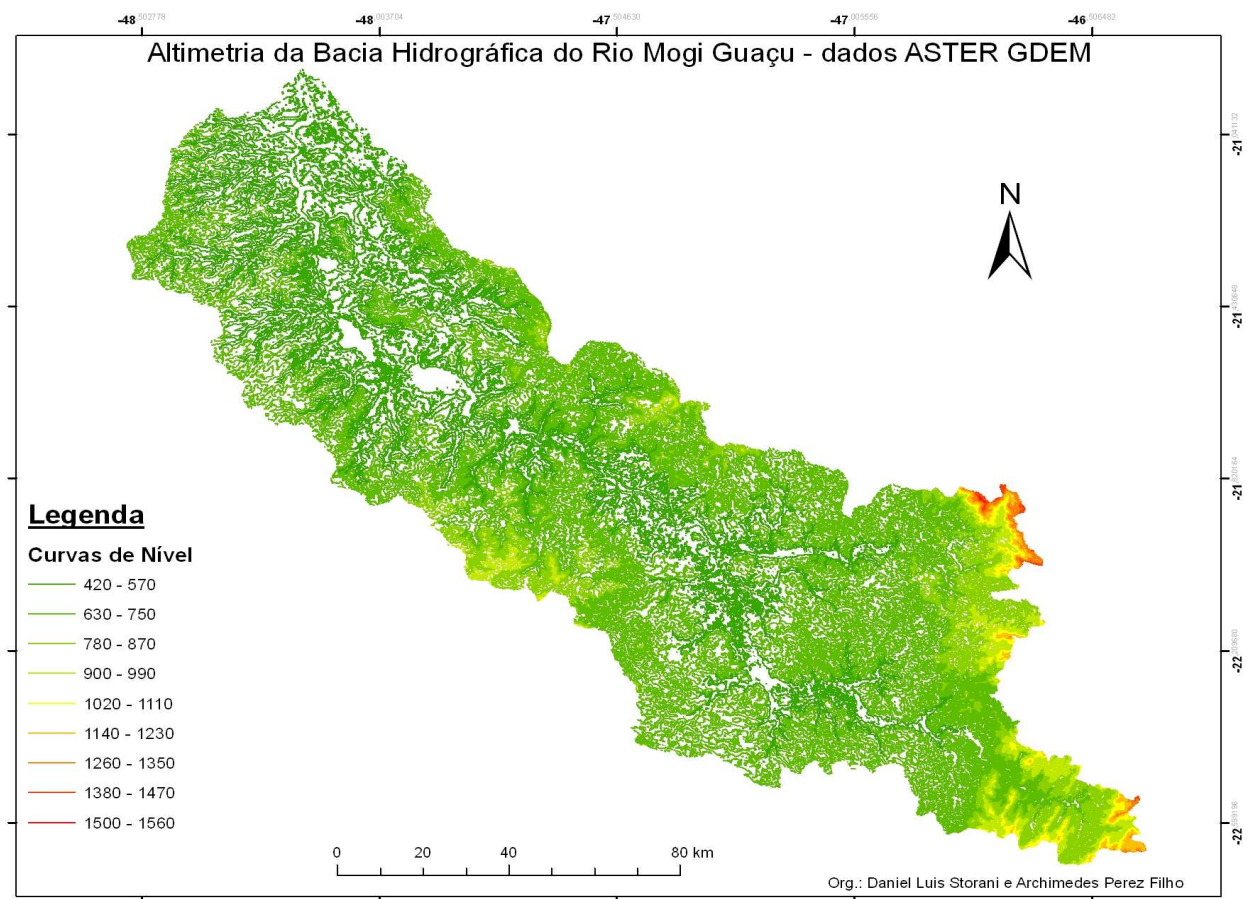


Figura 5.1 – Mapa altimétrico da Bacia Hidrográfica do Mogi Guaçu/SP, elaborado a partir de dados SRTM (Adaptado de: *Earth Observing System Data and Information System – EOSDIS*, 2009).

A partir da altimetria da Bacia, e como já foi explicado anteriormente, foi gerado Modelo Digital do Terreno em *software* específico, obtendo-se mapa específico, também utilizado na delimitação das Unidades Geossistêmicas (Figura 5.2).

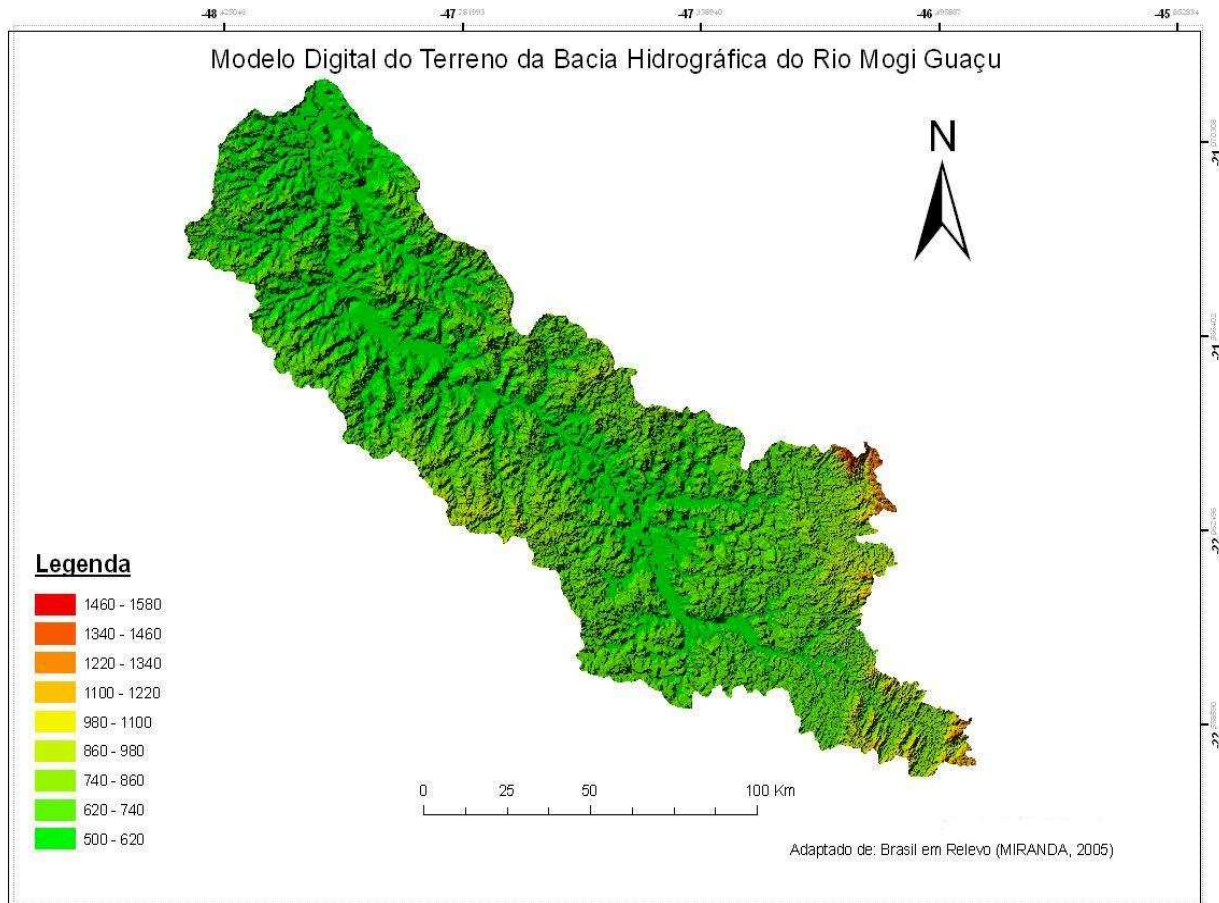


Figura 5.2 – Modelo Digital do Terreno da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu/SP, elaborado a partir de dados altimétricos obtidos por meio de dados SRTM.

## 5.2 – Unidades Geossistêmicas da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu

Como explicado anteriormente, os dados obtidos no Plano da Bacia Hidrográfica do Mogi Guaçu (CBH-MOGI, 2008) e os dados referentes à altimetria da área possibilitaram a delimitação de Unidades Geossistêmicas (Figura 5.3) e posterior discussão quanto à suas características e fragilidades relativas (Tabela 5.1).

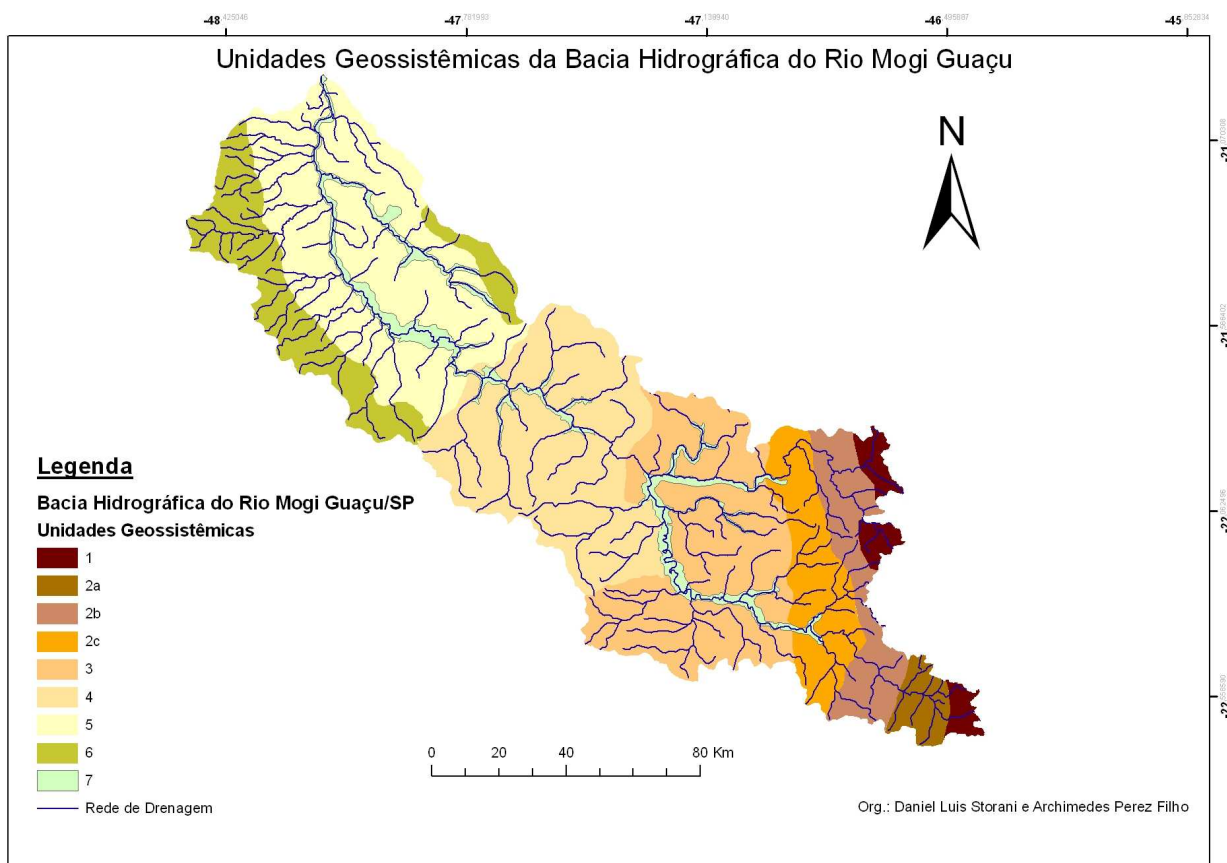


Figura 5.3 – Mapa das Unidades Geossistêmicas da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu.

Como explicado anteriormente, para elaboração do grau de fragilidade, foram estudados os elementos ambientais das unidades obtidas e considerados aqueles que se destacassem com maior propensão à alteração. A determinação do grau da fragilidade de cada unidade foi elaborada de forma relativa, ou seja, deu-se como resultado da comparação entre as unidades da bacia e seus componentes ambientais (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 – Quadro sintético das Unidades Geossistêmicas da Bacia do Rio Mogi Guaçu/SP

| Unidade | Drenagem                                                                        | Relevo                                                                | Solos                                                        | Litologia                                                 | Clima                                                                                       | Vegetação original          | Fragilidade relativa                                                          |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 1       | Densa, dendrítica                                                               | Declividades relativamente acentuadas                                 | Argissolos, Cambissolos, Neossolos Litólicos                 | Granodiorito, Monzonito, rochas ígneas                    | Cwb - Clima subtropical de altitude, com inverno seco e verão ameno                         | Mata atlântica              | Fragilidade acentuada - declividades e solos rasos                            |
| 2a      | Densa, dendrítica                                                               | Declividades relativamente menos acentuadas do que na Unidade 1       | Latossolos, Argissolos vermelho-amarelos.                    | Granitos, gnaisses                                        | Cwb - Clima subtropical de altitude, com inverno seco e verão ameno                         | Mata - traços de cerrado    | Fragilidade baixa                                                             |
| 2b      | Densa, menos dendrítica do que subunidade 2a                                    |                                                                       |                                                              |                                                           |                                                                                             |                             |                                                                               |
| 2c      | Canais mais longos do que subunidade 2b                                         |                                                                       |                                                              |                                                           |                                                                                             |                             |                                                                               |
| 3       | Drenagem menos densa do que Unidades anteriores, grandes planícies de inundação | Pouca variação altimétrica (600 - 700 m)                              | Latossolos de textura média a argilosa                       | Arenitos, siltitos                                        | Cwb - Clima subtropical de altitude, com inverno seco e verão ameno                         | Predominância de cerrado    | Fragilidade média - vegetação retirada/ação antrópica acentuada               |
| 4       | Mais densa e dendrítica do que na Unidade 3                                     | Ondulado, suavemente ondulado                                         | Latossolos arenosos, Latossolo vermelho-amarelo fase arenosa | Arenitos, argilitos. Formações Botucatu/Pirambóia         | Cwa - Clima subtropical de inverno seco/verão quente                                        | Predominância de cerrado    | Fragilidade acentuada - Solos (arenosos)                                      |
| 5       | Rios mais extensos, menos sinuosos                                              | Altimetria entre 500 e 650 m, declividades relativamente acentuadas   | Latossolos com textura argilosa ou muito argilosa            | Basaltos, arenitos, depósitos elúvio-coluvionares         | Cwa, com transição para Aw (Clima tropical, com inverno seco e temperaturas acima de 18º C) | Mata, cerrado e cerrado     | Fragilidade acentuada - declividade de vertentes; vegetação original retirada |
| 6       | Drenagem mais densa do que na Unidade 5                                         | Altimetria entre 600 e 650m, declividade mais acentuada que Unidade 5 | Argissolos                                                   | Arenitos, siltitos, argilitos e calcários. Formação Bauru | Cwa - Clima subtropical de inverno seco/verão quente                                        | Cerradão, mata              | Fragilidade baixa                                                             |
| 7       | Planícies holocênicas de inundação do Rio Mogi Guaçu                            | Áreas planas, declividade relativamente baixas                        | Solos aluviais, Gleis Húmicos e Orgânicos                    | Diversos contextos geológicos                             | Diversos tipos climáticos                                                                   | Diversos contextos vegetais | Fragilidade alta - vegetação ciliar retirada; ocupação margens rios           |

A unidade geossistêmica 1 corresponde à porção localizada no extremo sudeste da bacia, no Planalto Atlântico cristalino, no município de Socorro. Também comporta mais duas áreas descontínuas: municípios de Águas da Prata e Santo Antônio do

Jardim. Observa-se, nessa unidade, de acordo com mapa geológico do CRPM, litologia predominantemente composta por Granodiorito (rocha ígnea plutônica semelhante ao granito, mas contendo mais plagioclásio do que feldspato alcalino, além de quartzo e biotita) e Monzonito (rocha ígnea intrusiva também rica em plagioclásio e feldspato potássico). Estão presentes solos classificados como Argissolos (solos de textura média a argilosa, havendo diferenciação marcante seus horizontes, relativamente férteis), Cambissolos (não muito profundos, ainda em desenvolvimento e com fertilidade variável) e Neossolos Litólicos (solos novos, pouco desenvolvidos e com fase pedregosa). Nessa unidade, nas proximidades do alto curso do Rio Mogi Guaçu, a drenagem observada é considerada relativamente densa e dendrítica. O relevo, com declividades relativamente acentuadas, tem relação com a drenagem e os tipos de solos presentes na unidade, sendo estes relativamente pouco desenvolvidos por conta da característica ondulada e montanhosa da região. O clima se caracteriza como mesotérmico de inverno seco, com temperaturas do mês mais quente que oscilam entre 22 °C e 24 °C, e pluviosidade variando entre 1300 e 1700 mm. Como vegetação original, têm-se o predomínio de mata, com ausência total de cerrado ou cerrado.

Seguindo em direção à noroeste, ainda na porção sudeste da bacia, encontra-se o início da unidade geossistêmica 2, ainda no Planalto Cristalino, que se estende até a área dos municípios de São João da Boa Vista, Espírito Santo do Pinhal e Itapira. Nessa unidade, dividida em 3 sub-unidades (2a, 2b e 2c), as características litológicas são semelhantes à unidade anteriormente descrita, predominando granitos e gnaisses. Os solos também são de desenvolvimento relativamente semelhante aos solos da unidade 1. O relevo continua tendo declividades acentuadas, mas que diminuem quanto mais à noroeste. O que gerou a diferenciação dessa unidade (e suas subunidades) foram as características da drenagem, notadamente mais densa e dendrítica. A subunidade 2a tem drenagem mais densa do que a unidade 1. A unidade 2b, localizada na porção com maiores declividades, tem a maior densidade de drenagem. A unidade 2c apresenta, entre as três subunidades da unidade geossistêmica 2, a menor densidade de drenagem, com canais mais longos. O clima Cwa (no Sistema Internacional de Köppen) mesotérmico tem inverno seco, com temperatura média do mês mais frio inferior a 18 °C e a do mês mais quente ultrapassando 22 °C, com

variação pluviométrica entre 1100 e 1700 (com mês mais seco não tendo mais do que 30 mm no total de chuvas). O tipo de vegetação original é predominantemente de mata, com alguns traços de cerrado.

A unidade 3 compreende uma faixa que se estende pelas áreas aproximadas dos municípios de Conchal, porção oeste de Mogi Guaçu, Araras, Leme, Santa Cruz das Palmeiras, porção sul de Casa Branca e porção leste de Pirassununga. Quanto à litologia, compreende área com predomínio de arenitos e siltitos, o que se confirma no mapa geológico do CRPM. Localizada na Depressão Periférica Paulista, essa unidade geossistêmica tem relevo com declividades relativamente baixas a médias (entre 6 e 12%), e pouca variação altimétrica (entre 600 e 700 metros de altitude). Os solos da área compreendida pela unidade 3 são profundos: latossolos de textura média a argilosa, mais desenvolvidos quando comparados aos solos das unidades anteriormente descritas. A drenagem se apresenta de forma menos densa, as planícies de inundação são maiores e os rios têm maiores extensões. Essa unidade ainda apresenta o clima mesotérmico da unidade anterior, o qual tem a estação mais seca entre abril e setembro, no entanto, por estar mais a oeste, tem menores índices de pluviosidade. A vegetação original de mata predominante apresenta maior participação de áreas de cerrado.

A unidade geossistêmica 4, localizada nas porções centrais da bacia, compreendida pelas áreas dos municípios de Luis Antônio, porção norte de São Carlos, Santa Rita do Passa Quatro, porção sudeste de São Simão e porção norte de Analândia, está na zona das cuestas basálticas paulistas, correspondendo às Formações Botucatu/Pirambóia, apresentando assim como litologia arenitos, argilitos e alguns pontos com conglomerados. Há, nessa área, predomínio de latossolos arenosos e outros solos arenosos (muito suscetíveis à erosão). Além de algumas manchas de latossolos roxos, encontram-se especificamente grandes manchas de Latossolo Vermelho Amarelo fase arenosa, que são arenosos, areno-barrentos e muito pobres em nutrientes. O relevo apresenta a característica de ser ondulado a suavemente ondulado, com declividades médias (por volta de 12%). A vegetação original predominante é o cerrado. A drenagem se apresenta mais densa e dendrítica do que na unidade 3. Tem, ainda, o tipo climático Cwa, com chuvas anuais entre 1100 e 1700 mm,

tendendo a apresentar menor quantidade de chuva de leste para oeste. Nessa área, o tipo da vegetação original predominante deixa de ser a mata, e passa a ser o cerradão e o cerrado, mas com ainda expressiva presença do primeiro tipo citado.

A delimitação da unidade geossistêmica 5 levou em conta a drenagem mais escassa e com rios mais extensos, menos sinuosos. Situa-se nas áreas dos municípios de Araraquara, Guataporã, Pradópolis, Guariba, Barrinha, Dumont, Sertãozinho, Pitangueiras, Pontal, leste de Taiúva e norte de São Carlos, no contexto da Formação Serra Geral (província magmática relacionada aos derrames e intrusivas que recobrem parte da Bacia do Paraná, constituída predominantemente por basaltos). Além de basaltos, a litologia é composta por áreas menos expressivas de arenitos e depósitos elúvio-coluvionares. O relevo se apresenta com declividades relativamente mais acentuadas, entre 6 e 9%, com altimetrias variando entre 500 e 650 metros aproximadamente, no contexto do Planalto Ocidental Paulista à oeste e das Cuestas Basálticas ao centro e leste da unidade. Quanto aos solos, são encontrados latossolos com textura argilosa ou muito argilosa. A maior parte da unidade apresenta latossolos roxos, que são solos bem drenados, com sequência de horizontes A-B-C e pouca diferenciação entre os horizontes, tendo coloração arroxeada, argilos, muito porosos e profundos, com saturação de bases e fertilidade variáveis. Originam-se das rochas eruptivas básicas do contexto litológico da unidade. Originalmente, a vegetação era de floresta ou cerrado, dependendo da fertilidade natural dos solos. Mais à oeste da unidade há predominância de cerradão. Nessa região o clima é uma transição entre o tipo Cwa antes descrito, para o tipo Aw, tropical com estação chuvosa no verão e seca no inverno, com índices pluviométricos variando entre 1100 e 1300 mm, com estação seca entre maio e setembro e mês mais seco julho.

A unidade 6 está situada à oeste do baixo curso do Rio Mogi Guaçu, nas porções à leste dos municípios de Taquaritinga e Monte Alto, extremo oeste de Jaboticabal, porções norte de Araraquara, porção norte de Ibaté, porções leste de Dobrada e Santa Ernestina. Está sob o Planalto Ocidental Paulista, se estendendo do que se chamou de Planalto de Monte Alto – caracterizado originalmente por Almeida (1964) para descrever o relevo existente na região de Monte Alto e Jaboticabal, e que ocupa os divisores dos rios Tietê, Turvo e Mogi-Guaçu – até o norte do município de Ibaté. À

leste do Rio Mogi Guaçu, em seu baixo curso, essa unidade também ocupa a porção oeste do município de São Simão, Cravinhos e pequena parte de Ribeirão Preto. Nessa unidade, há predomínio da Formação Bauru, constituída de arenitos, siltitos, argilitos e calcários, o que dá origem a argissolos (antigamente chamados de Podzólicos Vermelho-Amarelo variação Lins e Marília), sendo eles normalmente férteis, superficialmente arenosos, com sequência de horizontes A-E-B-C e nítida diferenciação textural entre os horizontes E e B. O clima é caracterizado pelo tipo Cwa mesotérmico, com pluviosidade entre 1100 e 1700 mm, tendendo ao menor valor, com mês mais frio tendo temperaturas inferiores à 18 °C e mês mais quentes com médias entre 22 e 24 °C.

Constituída pelas planícies de inundação holocênicas do Rio Mogi Guaçu, delimitou-se a Unidade 7, encontrando-se principalmente areias, argilas, cascalhos, arenitos, sendo áreas planas, com declividade entre 3 e 4 %, nos distintos contextos geológicos da Bacia. Essa unidade corta quase toda a Bacia, seguindo o curso do canal principal (Rio Mogi Guaçu), exceto em algumas áreas adjacentes à Unidade 4, onde o rio encontra-se encaixado nas rochas, por conta das características da geologia da região. O clima também varia no sentido Alto-Baixo curso do rio, passando de um tipo climático com índices entre 1300 e 1700 mm (com julho sendo o mês mais seco e frio) para um tipo climático tropical com índices pluviométricos entre 1100 e 1300 mm, com julho tendo a menor intensidade de chuvas.

Para estabelecer os níveis de fragilidade relativa das Unidades Geossistêmicas, tornou-se necessário entender a relação entre as variáveis físicas que compõem cada um desses sistemas. Assim, esse critério aponta em que sentido a unidade apresenta maior fragilidade, ou seja, qual componente do sistema está mais suscetível a interferências externas, de novos *inputs* de energia ou matéria, ou de sistemas adjacentes (o antrópico, por exemplo), que podem resultar em desequilíbrio em seu funcionamento.

Na Unidade 1 considerou-se que a fragilidade do Geossistema estava relacionada à relação entre a declividade relativamente acentuada da área e a pouca profundidade da maior parte dos solos. Já na Unidade 2 não se destaca nenhuma fragilidade aparente, em nenhuma de suas subunidades. Para a Unidade 3 destaca-se

a grande ocupação urbana nos municípios da área e influência antrópica sobre as terras, rios e vegetação, resultando numa fragilidade média. Na Unidade 4 estabeleceu-se uma fragilidade acentuada, por conta do predomínio de solos arenosos e muito suscetíveis a erosão. Para a Unidade 5 destaca-se também uma fragilidade acentuada, com a presença de clima relativamente mais quente, e retirada de boa parte da vegetação natural. Na Unidade 6 tem-se uma fragilidade baixa, não sendo possível observar nenhuma ameaça aparente ao equilíbrio do funcionamento do geossistema. À Unidade 7 pertencem as áreas mais problemáticas em relação ao uso e ocupação das terras tendo em vista sua dinâmica hidrológica. São terras, em sua maioria, reservadas à preservação ambiental e com o uso agrícola restrito à níveis de terraços holocênicos, onde os solos são mal-drenados. Trata-se de área de maior complexidade ambiental, sendo necessário estudo detalhado para cada local a ser utilizado.

### **5.3 – Resultados da datação dos solos dos pontos selecionados**

As áreas consideradas frágeis, e de interesse para a análise proposta, estão caracterizadas pela predominância de solos de textura média ou arenosa, cobertos por feições de cerrado, e representam áreas da Superfície Mogi Mirim (PEREZ FILHO, 1987) ou terraços do Rio Mogi Guaçu (PEREZ FILHO *et al.*, 1980).

As amostras de solo coletadas foram submetidas à datação por LOE Laboratório de Vidros e Datação, da FATEC em São Paulo/SP, sob coordenação da Profa. Dra. Sonia Hatsue Tatumí. Os resultados apresentados foram:

Tabela 5.2 – Resultado das datações absolutas por LOE das amostras de solo coletadas nos pontos escolhidos

| Ponto   | Localização                                | Dose Anual ( $\mu\text{Gy/ano}$ ) | Dose Acumulada (gy) | Idade (anos)       |
|---------|--------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------|
| Ponto 1 | Horto - Mogi mirim - 650 m                 | $1.770 \pm 100$                   | 9,5                 | $5.400 \pm 570$    |
| Ponto 2 | Faz. Campininha - Un. Coqueiro - 660 m     | $1.700 \pm 120$                   | 16,2                | $9.500 \pm 1.130$  |
| Ponto 3 | Faz. Campininha - pedimento - 600 m        | $1.510 \pm 70$                    | 5,5                 | $3.650 \pm 330$    |
| Ponto 4 | Faz. Campininha - Terraço nível II - 572 m | $1.760 \pm 160$                   | 2                   | $1.150 \pm 160$    |
| Ponto 5 | Faz. Campininha - Terraço nível I - 575 m  | $3.510 \pm 250$                   | 6,6                 | $1.900 \pm 225$    |
| Ponto 6 | EEJataí - vertente B 535 m                 | $1.500 \pm 145$                   | 4,5                 | $3.000 \pm 440$    |
| Ponto 7 | EEJataí - vertente B 557 m                 | $1.400 \pm 125$                   | 5,5                 | $4.000 \pm 550$    |
| Ponto 8 | EEJataí - vertente B 580 m                 | $1.400 \pm 140$                   | 15                  | $10.650 \pm 1.200$ |
| Ponto 9 | EEJataí - vertente A 600 m                 | $1.500 \pm 160$                   | 20                  | $13.000 \pm 1.500$ |

#### 5.4 – Idades dos solos e superfícies geomorfológicas na Fazenda Campininha, Mogi Guaçu/SP

Do estudo realizado na área da Fazenda Campininha, e relativo às idades dos solos encontrados, verificou-se que o terraço de nível II, segundo Perez Filho *et al.* (1980), apresenta um Cambissolo com presença de muito material primário, tem idade de aproximadamente 1.150 anos de acordo com a datação absoluta realizada, ao mesmo tempo em que o terraço do nível I com Latossolo Câmbico, tem idade aproximada de 1.900 anos. É possível questionar a origem de ambos os solos, já que o Latossolo Câmbico apresenta como característica, na área descrita, a presença de materiais primários, mas em menor quantidade do que o Cambissolo. Além disso, a

evolução desse perfil poderia ser explicada por conta da dinâmica fluvial do Rio Mogi Guaçu, que tendo se alterado pelas oscilações nas condições climáticas ao longo do tempo, ou por atividades neotectônicas, possibilitou o estabelecimento de diferentes tipos de solo ao longo dos seus períodos de cheia e consequente deposição de material.

De acordo com Christofolletti (1974), terraços fluviais representam antigas planícies de inundação que foram abandonadas e, morfologicamente, surgem como patamares aplainados, de largura variada, limitados por uma escarpa em direção ao curso d'água. No caso de terraços compostos por materiais relacionados à antiga planície de inundação, são designados terraços aluviais. De acordo com o autor, esses terraços situam-se a determinada altura acima do curso do rio atual, que não tem mais capacidade para recobri-los em épocas de cheia. O abandono das planícies de inundação (preenchimento deposicional em vale previamente entalhado) pode ser explicado por oscilação climática, que provoca diminuição no débito com consequente formação de nova planície de inundação, em nível mais baixo, embutida na anterior. É possível também que grande parte da planície de inundação anterior, ou sua totalidade, possa ser removida antes ou durante a formação de nova planície, principalmente quando se trata de vales estreitos, sem potencial para desenvolvimento lateral. Há ainda a possibilidade de formação de terraço encaixado, ou planície de inundação em nível mais baixo acompanhada de nova fase erosiva sobre o embasamento rochoso do fundo do vale, como resultado de movimentos tectônicos, abaixamento do nível de base ou modificações no potencial hidráulico do rio.

Assim, levando-se em consideração os resultados das datações nos dois níveis de terraço (Pontos 4 e 5), é possível pressupor a existência de uma relação entre as idades atribuídas a eles e as oscilações climáticas. Com base no levantamento da literatura feito, a incisão ou entalhe dos canais verifica-se em períodos de condições climáticas mais úmidas, enquanto que a constituição do terraço corresponderia a períodos de clima mais seco. Assim sendo, a partir das datações absolutas obtidas, e relacionando a origem de terraços fluviais com períodos de clima seco, pode-se considerar o predomínio de um período seco há aproximadamente 1.900 anos, seguido de um período úmido, que causou a diferenciação dos níveis de terraço com

entalhamento do canal fluvial, e possibilitou o desenvolvimento das características pedológicas dos solos, sendo este período seguido por outra fase seca, predominando há pelo menos 1.150 anos. Para a Bacia Hidrográfica do Mogi Guaçu, Perez Filho (1987) correlaciona os níveis de terraço entre 560 e 580 metros ao Pleistoceno Superior (T1 e T2). O resultado das datações absolutas realizadas, no entanto, nos permite levantar discussões quanto essa associação. Os solos datados entre 1.150 e 1.900 anos corresponderiam, na escala de tempo geológico, a um período muito recente. Apesar de Penteado (1969) generalizar um período quente e úmido para a história recente da região (Anexo 1), é possível considerar a existência de oscilações climáticas, para duas fases mais secas, nos períodos correspondentes as idades dos solos dos níveis I e II de terraços. A análise do período recente, no entanto, não pode desconsiderar que atividades neotectônicas possam ter existido e que, alterando níveis de base locais, tenham causado alterações na dinâmica do rio. O resultado da associação desses fatores poderia resultar nas condições atuais do terraço analisado.

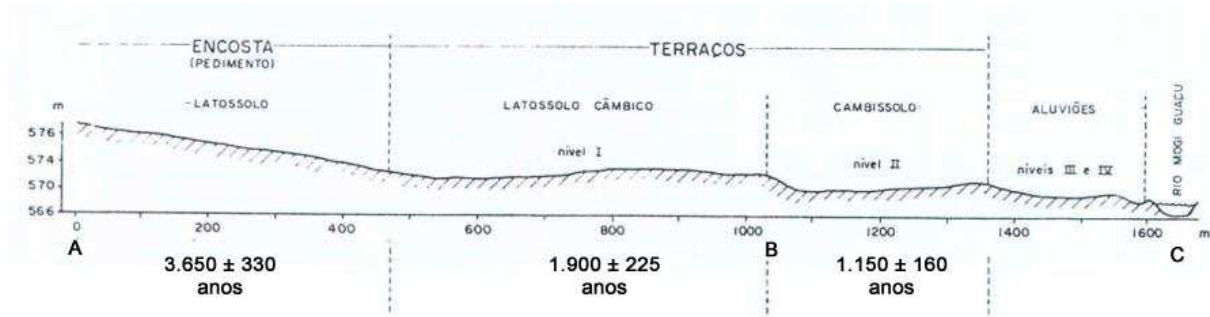


Figura 5.4 – Perfil A-B-C na planície de inundação do rio Mogi Guaçu/SP com os resultados das datações por LOE (Adaptado de: Perez Filho *et al.*, 1980)

As datações absolutas confirmam idéia dos autores Perez Filho *et al.* (1980) de que a cronologia dos solos segue a seguinte ordem: o solo do terraço nível II seria mais novo do que o solo do terraço nível I, e este mais novo do que o solo encontrado no pedimento (Figura 5.4). Eles explicam que para relacionar propriedades do solo com

idade das superfícies geomorfológicas poderia levar-se em consideração as características do solo indicativas do índice de intemperismo: relação silte/argila e capacidade de troca de argila. Assim, solos mais intemperizados apresentariam valores menores desses parâmetros, o que se observa na datação relativa realizada pelos autores. No perfil escolhido, a drenagem pouco varia e, nos níveis de terraço, possivelmente foram depositados sedimentos semelhantes transportados pelo Rio Mogi Guaçu. Permite, portanto a idéia de evolução dos solos que agora foi confirmada.

Quanto ao nível que Perez Filho *et al.* (1980) classificaram como pedimento, a uma altitude de aproximadamente 600 metros, encontrou-se solo com idade de aproximadamente 3.650 anos (Ponto 3), permitindo-se estabelecer uma nova relação com a oscilação seca de número 3 do quadro Anexo (adaptado de Penteado, 1969). No entanto, tal literatura relaciona os pedimentos inferiores a um período próximo ao Pleistoceno Superior.

De acordo com Casseti (2005), os pedimentos detríticos fazem referência a eventuais depósitos associados ao recuo paralelo das vertentes determinado pela morfogênese mecânica existente em condições climáticas de seca, significativa e extensa, com desenvolvimento de níveis erosivos, concordantes ou não, aos depósitos subjacentes. A desagregação mecânica ao longo do tempo geológico responde pela formação de uma superfície erosiva que, se estiver discordante do material subjacente, com presença de detrito, e recoberta por seqüência coluvial subsequente, pode ser visualizada e individualizada nas suas sucessividades. Ainda segundo esse autor, os detritos resultantes da desagregação mecânica, quando transportados por fortes chuvas torrenciais características de clima seco ou semi-árido, preenchem as irregularidades topográficas, originando pedimentos.

O pedimento da sequência analisada por Perez Filho *et al.* (1980) tem solo datado com aproximadamente 3.650 anos. Cabe aqui considerar que o LOE mostra a idade por meio da determinação da última exposição do material sedimentar à luz do sol. Assim, a elaboração do pedimento teria se dado em fase seca correspondente à oscilação número 3 determinada por Penteado (1969) (Anexo 1). No entanto, para esse tipo de formação geomorfológica, a autora considera o período do Pleistoceno Superior.

Correspondendo ao nível de 660 metros de altitude, o solo datado na Unidade Coqueiro (Levantamento Pedológico semidetalhado do estado de São Paulo: quadrícula de Araras – Oliveira *et al.*, 1982), no Ponto 2, apresenta significativa quantidade de areia, 84% (textura média), tem idade estabelecida em aproximadamente 9.500 anos (com variação de mais ou menos 1.130 anos). Nessa área, recoberta por vegetação sem indícios de alteração antrópica, é possível estabelecer relação com a superfície Mogi Mirim, citada por Perez Filho (1987), correspondente, segundo este autor, à superfície de Rio Claro (PENTEADO, 1969). De acordo com a datação relativa desses autores, as superfícies entre as altitudes de 640 a 670 metros na Depressão Periférica corresponderiam ao Pleistoceno Inferior (Neogênica II – Pd<sub>1</sub>). Analisando o quadro das oscilações climáticas do Quaternário adaptado de Penteado (1969) (Anexo 1), tem-se que a superfície de Rio Claro também estaria relacionada ao fim do Pleistoceno Inferior, um período de seca de maior intensidade no Pleistoceno. No entanto, com a datação absoluta feita, poderia ser possível associar essa altitude e superfície correspondente (Mogi Mirim) à fase seca mais recente, em transição para período mais úmido, há aproximadamente 9.500 anos, período no qual a autora descreve morfogênese mecânica dominante, com retração das florestas e seguido de período de fraca pedogênese, o que poderia explicar as características do solo encontrado atualmente.

## **5.5 – Idades dos solos e superfícies geomorfológicas na Estação Ecológica de Jataí, Luiz Antônio/SP**

Nas amostras coletadas na Estação Ecológica de Jataí, em Luiz Antônio/SP, as datações mostraram que, no Ponto 9 (Figura 5.5), correspondente a uma altitude de 600 metros, encontrou-se solo com aproximadamente 13.000 anos. Na Bacia do Mogi Guaçu, de acordo com Perez Filho (1987), esse nível altimétrico corresponderia ao nível de altos terraços pedimentares, que foram datados relativamente pelo autor como do Pleistoceno Médio. No entanto, as datações indicariam um solo correspondente ao

período final do Pleistoceno, mais próxima da oscilação seca número 5 apontada por Penteado (1969).

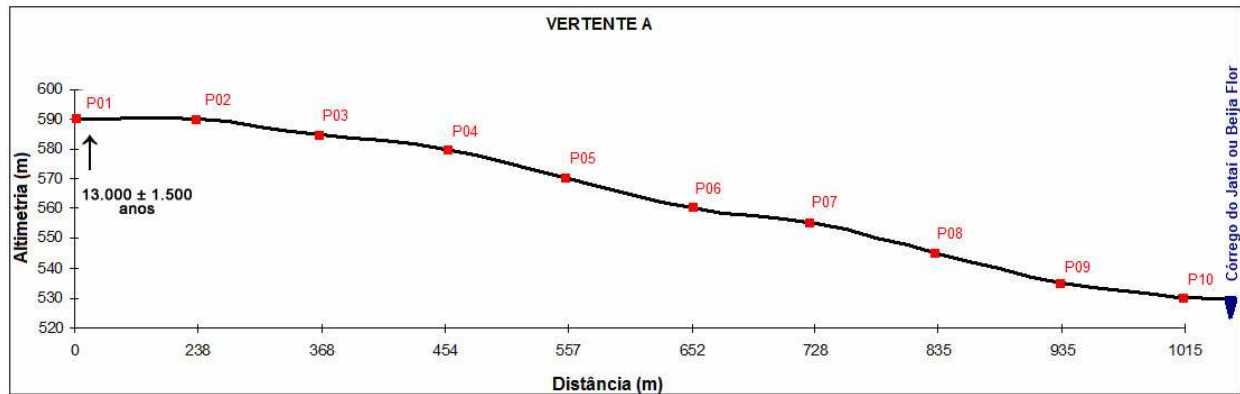


Figura 5.5 – Indicação de ponto datado em vertente da Estação Ecológica de Jataí, em Luiz Antônio/SP (Adaptado de: Quaresma, 2008).

Os solos, todos com características arenosas, presentes na segunda vertente analisada (Figura 5.6) têm datação relacionando os níveis de 535 e 557 metros à oscilação seca 3 levantada por Penteado (1969). O solo do Ponto 6 é datado com 3.000 anos aproximados, e o solo do Ponto 7 com 4.000 anos aproximados. A autora mostra que, nesse período, há retração das florestas e morfogênese mecânica. Isso poderia explicar, em parte, a presença do cerrado na área estudada e a composição do solo. De acordo com Perez Filho (1987) essas altitudes estariam mais próximas ao nível de baixos terraços, que foi datado relativamente pelo autor como sendo do Pleistoceno Superior.

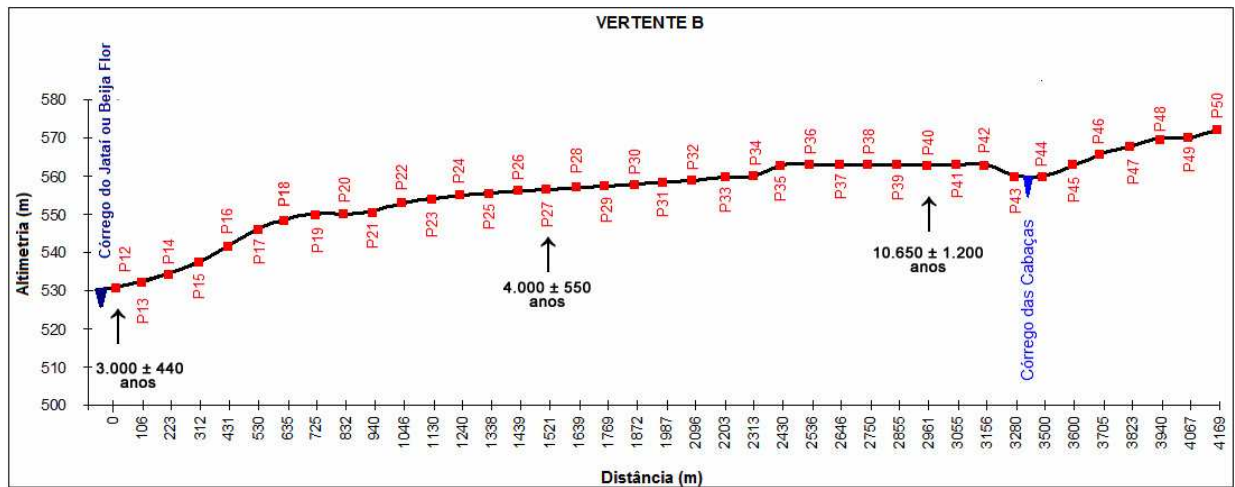


Figura 5.6 – Indicações de pontos datados em vertente da Estação Ecológica de Jataí, em Luiz Antônio/SP (Adaptado de: Quaresma, 2008).

No Ponto 8, ainda em solo arenoso e com vegetação de cerrado, a uma altitude de 580 metros, há material depositado há 10.650 anos aproximadamente. Perez Filho (1987) associa essa cota de altos terraços ao Pleistoceno Médio, o que também faz Penteadado (1969). No entanto, é permitido discutir, por conta do resultado da datação absoluta, que tal solo e superfície corresponderiam à oscilação seca de número 5 do quadro de cronologia de oscilações climáticas quaternárias (Anexo 1).

## 5.6 – Cenário regional da evolução da paisagem

Analisando o conjunto dos resultados obtidos, é possível correlacionar as idades dos solos dos Pontos 1, 2, 8 e 9, em altitudes entre 580 e 650 metros, a um período pretérito entre 6.000 e 13.000 anos. Assim, no contexto da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu, poderiam ser correspondentes à superfície Mogi Mirim, na denominação usada por Perez Filho (1987), correlativa à superfície Rio Claro de Penteadado (1969).

Estes autores consideram o período do Pleistoceno Inferior para datação relativa dessas superfícies, o que não se confirmou pelos resultados de datação absoluta realizados. Teriam relação, portanto, a um período quente e seco mais recente, o de número 5 no quadro de oscilações climáticas do Quaternário (Anexo 1), quando o processo de pedogênese é mais fraco, a erosão menos agressiva, com retração das florestas. O Ponto 1, localizado no Horto Florestal de Mogi Mirim, com idade aproximada de 5.400 anos (Pleistoceno Inferior), representaria o final da fase seca, com transição para clima mais úmido, com pequena incisão dos talwegues, numa oscilação subúmida, mas ainda de pedogênese fraca e florestas ainda não dominantes.

Pode-se entender que nesse período e nesses níveis geomorfológicos, a vegetação de cerrado teria sua existência explicada pelas condições pedológicas e climáticas dominantes. Essa vegetação representaria hoje resquícios dessas condições bioclimáticas específicas.

Quanto aos terraços do Rio Mogi na Fazenda Campininha, em Mogi Guaçu/SP, as datações mostraram relação com período mais recente do que aquele atribuído pela literatura consultada. Assim, em vez do Pleistoceno superior, pode-se correlacioná-los com oscilações climáticas pré-atuais.

Os Pontos 3, 6 e 7, de baixos terraços, ao invés do que propõem as classificações citadas, correspondem a um período pré-atual, entre aproximadamente 3.000 e 4.500 anos.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No contexto da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu, mais especificamente nas áreas analisadas da Depressão Periférica, é possível supor a existência de oscilações climáticas de períodos mais quentes e secos, que teriam favorecido o desenvolvimento de terraços fluviais em locais específicos do Rio Mogi Guaçu, além de possibilitar a existência de vegetação de cerrado. Como essas oscilações se desenvolveram em períodos determinados ao longo do tempo, em escala de tempo da natureza no caso analisado, o cenário de estabelecimento dos solos e surgimento ou adaptação da vegetação de cerrado pode ser claramente definido como unidades geossistêmicas frágeis.

Como mencionado por meio da literatura citada, é possível entender que o cerrado atualmente presente no estado de São Paulo pode ser interpretado como testemunho de um momento em que teria alcançado maior extensão. Como também discutido pela bibliografia levantada, o caráter álico dos solos explicaria porque as florestas do período úmido atual não teriam conseguido se estabelecer nessas áreas.

Propõe-se que as superfícies aplainadas e os níveis de terraço possam ser entendidos como unidades geossistêmicas, já que cada uma dessas áreas demonstraria uma íntima relação entre relevo, solos, vegetação e clima, num determinado período de tempo. A análise geossistêmica constitui portanto, com auxílio de técnicas específicas, importante ferramenta na compreensão das condições de fragilidade, além de explicar de forma satisfatória a evolução de certas paisagens.

Embora tenha havido diferenças entre as datações absolutas realizadas e as datações relativas consultadas quanto ao período relativo ao desenvolvimento da Superfície Mogi Mirim, correspondente à Superfície Rio Claro, as análises mostraram que o cerrado se estabelece sobre solo específico, em condições climáticas mais secas que a atual.

No caso dos terraços fluviais estudados, as datações permitiram inferir oscilação climática seca num período pré-atual, com desenvolvimento de nível de terraço, seguida de oscilação mais úmida, com constituição de ambiente que favoreceu novo entalhe do canal fluvial. No terraço de nível II, mais novo, de acordo com a datação

realizada, demonstra predomínio de mais um período seco. Os níveis de aluviões propostos no perfil de Perez Filho *et al.* (1980) com cobertura vegetal de floresta densa, e entalhamento do canal fluvial, confirmam a proposta de que o período atual corresponde a oscilação mais quente e úmida.

Muito embora não fosse objetivo traçado inicialmente pelo trabalho, em níveis de terraço fluvial da Fazenda Campininha, em Mogi Guaçu/SP, foi possível delimitar período aproximado de diferença entre solos adjacentes. Os resultados das datações mostraram um Cambissolo aproximadamente 800 anos mais novo que o Latossolo Câmbico de terraço em nível superior. Seria este tempo suficiente para tal evolução? Estudos sedimentológicos mais detalhados e datações em diversas outras áreas dessa e de outras bacias seriam necessários. As relações entre tempo e evolução dos solos geralmente levantam dúvidas a respeito da diferenciação entre maturidade e idade da cobertura pedológica. De acordo com Oliveira (1972) e Oliveira *et al.* (1982) alguns tipos de solos podem ter idade cronológica relativamente pequena e, ao mesmo tempo, serem maduros. A idade absoluta (ou cronológica) de um solo diz respeito à medida dos anos passados entre o início de sua formação até o momento presente. Já a idade relativa (ou maturidade) corresponde ao estado de desenvolvimento de seus atributos (diferenciação entre horizontes, profundidade e grande presença de óxidos na composição mineralógica).

Os estudos realizados permitem propor idéias convergentes às de Queiroz Neto (1982), autor que também expõe o conceito de que a sucessão de ciclos bioclimáticos e morfogenéticos mais secos e mais úmidos teria capacidade de comandar, em parte, a evolução das paisagens. Além disso, os resquícios das condições bioclimáticas pretéritas permanecem no contexto geomorfológico atual, como testemunhas dessa evolução.

As correlações e cenários aqui apresentados envolvem, no entanto, cautela quanto à escala envolvida na análise. Para poder propor oscilações climáticas generalizadas para toda a área da bacia, ou até mesmo da Depressão Periférica, datações em terraços do mesmo rio, em outras áreas, deveriam ser consideradas. Além disso, no caso dos níveis correspondentes a superfícies geomorfológicas, outros pontos relativos a elas também deveriam ser estudados solos datados pela mesma técnica

aqui empregada. Somente assim a abrangência das condições pretéritas se aproximaria de maior generalização. Por conta das limitações de tempo e financeiras da pesquisa, não foi possível realizar datações por Luminescência Opticamente Estimulada em solos de outras planícies fluviais ou áreas planas de cotas consideradas correspondentes a Superfície Mogi Mirim.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. **Da participacdo das depressões periféricas e superfícies aplainadas na compartimentação do Planalto Brasileiro**. Tese (Livre Docência). USP, Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, São Paulo, 1965.

AB'SABER, A. N. Os mecanismos da desintegração das paisagens tropicais no Pleistoceno. **Inter-Fácies Escritos e Documentos**, São José do Rio Preto, n. 4, 1979.

ALMEIDA, F. F. M, Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, São Paulo, n.41, 1964.

ALVIN, P. de T.; ARAÚJO, W.A. O solo como fator ecológico no desenvolvimento da vegetação no Centro-Oeste do Brasil. **Boletim Geográfico**, v.11, n.117, p. 569-578, 1953.

ARENS, M. **As plantas lenhosas dos campos cerrados como flora adaptada às deficiências minerais do solo**. In: Ferri, M. G., coord. Simpósio sobre o cerrado. São Paulo, EDUSP, 1963.

BERNARD, E. A. Paleoclimatology – astronomical cycles. In: FAIRBRIDGE, R. W. **The Encyclopedia of Atmospheric Sciences and Astrogeology**. Reinhold Publ. Corp. 2:237-727, 1967.

BERTALANFY, L. Von. **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1973.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física global. **Caderno de Ciências da Terra**. Universidade de São Paulo, 13, 1972, p.2-27.

BIGARELLA, J. J. *et al.* **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais** – Vol. I. Florianópolis: UFSC, 1994.

BIGARELLA, J. J.; ANDRADE, G. O. Contribution to the Study of the Brazilian Quaternary. In: WRIGHT JR, H. E.; FREY, D. G. **International studies on the Quaternary**. Geol. Soc. Amer., Spec. Papers, 84: 433-451, 1965.

BIGARELLA, J. J. *et al.* **Processes and environments of the Brazilian Quaternary**. Curitiba: Univ. Federal Paraná, 1965.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: junho/2009.

CBH-MOGI – COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOGI GUAÇU. **Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu**: Relatório Zero. São Paulo: CBH-MOGI, 1999.

CBH-MOGI – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOGI GUAÇU. **Proposta**: Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu, período 2008-2011. CBH-MOGI, 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1974.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec/Edusp, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. **Physical Geography: A Systems Approach**. London: Prentice Hall, 1971.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (CBH-PCJ). **Implantação, resultados e perspectivas**. Campinas: Arte Brasil, 1995.

CORREA, A. C. B. **Dinâmica geomorfológica dos compartimentos elevados do Planalto da Borborema, nordeste do Brasil**. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

CORREA, A. C. B. *et al.* **Avaliação da dinâmica geomorfológica dos compartimentos elevados do Planalto da Borborema, Nordeste do Brasil, com base no método de datação da (LOE) Luminescência Opticamente Estimulada**. In: MENDES, I. A.; GERARDI, L. de O. (Org.). *Do natural, do Social e de suas interações*. São Paulo, 2002, p. 21-34.

DAMUTH, J. E.; FAIRBRIDGE, R. W. Equatorial atlantic deep-sea arkosic sands and ice-age aridity in tropical South America. **Geological Society of America Bulletin**, n. 81, 1970.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: 1999.

FERRI, M. G. Transpiração de plantas permanentes dos “cerrados” – Bol. Fac. Fil. Ciênc. Letr. USP 41, **Botânica 4**: 159-224, 1944.

FERRI, M. G. Histórico dos trabalhos botânicos sobre cerrado. In: Ferri, M. G., coord. **Simpósio sobre o Cerrado**. São Paulo, EDUSP, 1963. p.15-50.

FERRI, M. G. **Vegetação Brasileira**. Belo Horizonte: Ed. Itatiaia; São Paulo: Ed. Da Universidade de São Paulo, 1980.

GOODLAND, R. Oligotrofismo e alumínio no cerrado. In: Ferri, M. G., coord. **III Simpósio sobre o cerrado. São Paulo**, EDUSP, Ed. Edgard Blücher, 1971, p.44-60.

HALL, A. D.; FAGEN, R. E. Definition of Systems. **General Systems Yearbook**, 1: p18-26, 1956.

HUNTLEY, D. J. et al. Optical dating of sediments. **Nature**, New York, v. 313, p. 105-107, 1985.

HUNTLEY, D. J. et al. Thermoluminescence spectra of some mineral samples relevant to thermoluminescence dating. **Journal of Luminescence**, Oxford, v. 39, p. 123-136, 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de Solos do Estado de São Paulo** – versão digital. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br>>. Acesso em: 6 de março de 2009.

KLEIN, R. M. Southern Brazilian phytogeographic features and the probable influence of upper Quaternary climatic changes in the floristic distribution. **Boletim Paranaense de Geociências**, 1975, 33:67-88.

LEPSCH, I.F. Superfícies geomorfológicas e depósitos superficiais neoceno-zóicos em Echaporã, SP, **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, 5: 5-34, 1977.

LIMA, S. do C.; QUEIROZ NETO, J. P. Contribuição metodológica para estudos ambientais integrados nos cerrados. In: SHIKI, S.; GRAZIANO DA SILVA, J.; ORTEGA, A. C (org.). **Agricultura, meio ambiente e sustentabilidade do cerrado brasileiro**. Uberlândia: Gráfica da UFU, 1997.

MATTOS, S. H. V. L.; PEREZ FILHO, A. Complexidade e estabilidade em Sistemas Geomorfológicos: Uma Introdução ao tema. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, ano 5, n. 1, p. 11-18, 2004.

MATTOS, S.H.V.L. **Avaliação da qualidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Piçarrão (Campinas-SP)**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 2005.

MILLER, J. G. Living Systems: Basic Concepts. **Behavioral Science**, 10: 193-237, 1965.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 22 março 2009.

MONTEIRO, C. A. de F. **Geossistemas**: a história de uma procura. São Paulo: Contexto, 2000.

MORIN, E. **O Método**. Lisboa: Europa-America, 1977.

OLIVEIRA, J. B. Fatores de formação. In: MONIZ, A. C. (Coord.). **Elementos de pedologia**. São Paulo: Polígono, 1972. cap. 23, p. 275-288.

OLIVEIRA, J. B. *et al.* **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo** – Quadrícula de Araras. São Paulo, 1982.

OLIVEIRA, J. B. *et al.* **Classes gerais de solos do Brasil**: guia auxiliar para seu reconhecimento. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992.

PENTEADO, M. M. A Bacia de Sedimentação de Rio Claro – São Paulo, **Revista Geographica da Soc. Geog. de Lisboa**, ano V, nº 17, Lisboa, 1969.

PENTEADO, M. M. Características dos pedimentos nas regiões quentes e úmidas. **Notícias Geomorfológicas**, nº 19, Campinas, junho de 1970.

PENTEADO, M. M. **Geomorfologia do Setor Centro-Ocidental da Depressão Periférica Paulista**. São Paulo: IG/USP, 1976.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 3ª ed., 1980.

PEREZ FILHO, A *et al.* Relação Solos Geomorfologia em Várzea Do Rio Moji-Guaçu (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. 4: 181-187, 1980.

PEREZ FILHO, A. **Relações solo-relevo na porção centro-oriental do Estado de São Paulo**. Tese (doutorado) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Departamento de Ciências Sociais, São Paulo, 1987.

QUARESMA, C. C.; PEREZ FILHO, A. Relevo e Solos na Definição das Diferentes Fisionomias de Savana no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11., 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2005. p. 3296-3305.

QUARESMA, C. C.; PEREZ FILHO, A. Fragilidade de Terras Ocupadas por Savana no Território Paulista – SP. In: **Anais do II Congresso Nacional de Geomorfologia da Universidade de Coimbra** – Portugal – Revista da Associação Portuguesa de Geomorfólogos, Lisboa, nov. 2006.

QUARESMA, C. C. **Organizações espaciais físico/naturais e Fragilidades de Terras sob Cerrado**: abordagem sistêmica aplicada à escala local. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, SP, 2008.

QUEIROZ NETO, J. P. Os solos. In: Azevedo, A., coord. Brasil – **A terra e o homem**. Vol. I; As Bases Físicas. 2. ed. São Paulo, Cia. Editora Nacional, 1968, p.463-514.

QUEIROZ NETO, J. P. **Interpretação dos solos da serra de Santana para fins de classificação**. Tese de Doutorado. Piracicaba: ESALQ, 1969.

QUEIROZ NETO, J. P. **Pedogênese no Planalto Atlântico**. Tese de Livre Docência. São Paulo, SP, FFLCH-USP, 1975.

QUEIROZ NETO, J. P. **Solos da Região dos Cerrados e Suas Interpretações**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, vol.6, n.3, p.1-12, jan/abril, 1982.

RACHID, M. Transpiração e sistemas subterrâneos da vegetação de verão dos campos de Emas – Bol. Fac. Fil.Ciênc. Letr. USP 80, **Botânica 5**: 1-135, 1947.

RANZANI, G. Solos do Cerrado no Brasil. In: Ferri, M. G. (coord.). **II Simpósio sobre o cerrado**. São Paulo: Edusp, 1971. p.26-43.

RAWITSHER, F., FERRI, M.G. e RACHID, M. Profundidade dos solos e vegetação em campos cerrados do Brasil Meridional. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, T 15(4):267-296, 1943.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S.M e ALMEIDA, S. P. (Ed.) **Cerrado, Ambiente e Flora**. Planaltina: EMBRAPA/CPAC, 1998. P.89-166.

ROSS, J. L. S. & MOROZ, I. C. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000. **Geografia**-FFLCH-USP, IPT/FAPESP, São Paulo, vol. 1, 1997.

SOTCHAVA, V. B. **O Estudo do Geossistema**. Traduzido por Carlos Augusto Figueiredo Monteiro e Dora de Amarante Romariz. São Paulo: IG – USP, 1977.

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais**: (passado + presente = futuro?). São Paulo: Paulo's Comunicação e Artes Gráficas, 1999.

THORNESS, J B.; BRUNSDEN, D. **Geomorphology and Time**. London: Methuen & Co., 1977

TOPPA, R. H. **Estrutura e diversidade florística das diferentes fisionomias de cerrado e suas correlações com o solo na Estação Ecológica de Jataí, Luiz Antônio, SP**. Tese (Doutorado) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, 2004.

TROPPIAIR, H. **Geossistemas e geossistemas paulistas**. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 2000.

VIADANA, A. G. **A Teoria dos Refúgios Florestais aplicada ao estado de São Paulo**. Rio Claro, 2002.

ZANCOPÉ, M. H. de C.; PEREZ FILHO, A. **Estudo dos padrões de canal fluvial do Rio Mogi Guaçu/SP**. In: MENDES, A. A.; LOMBARDO, M. A. (orgs.). Paisagens geográficas e desenvolvimento territorial. Rio Claro: Programa de Pós-Graduação em Geografia – UNESP; AGETEO, 2005. p.141-153.

ZANCOPÉ, M. H. de C.; PEREZ FILHO, A. Considerações a Respeito da Distribuição das Planícies Fluviais do Rio Mogi Guaçu. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, Uberlândia, ano 7, vol.1, 2006.

ZANCOPE, M. H. de C. **Análise morfodinâmica do Rio Mogi Guaçu**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, SP, 2008.

ZANCOPÉ, M. H. de C.; PEREZ FILHO, A.; CARPI JR, S.; Anomalias no perfil longitudinal e migração dos meandros do Rio Mogi Guaçu. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.10, nº1, jan/jun, 2009.

WAIBEL, L. Vegetation and Land Use in the Planalto Central of Brazil, **The Geographical Review**, Vol. 38, 1948.

WARMING, E. **Lagoa Santa**. São Paulo: EDUSP, Belo Horizonte, Itatiaia, 1973.

## 8. ANEXOS

### • Anexo 1

Tabela 8-1– Níveis de agradação e de degradação da bacia de Rio Claro, elaborados por fases sucessivas de entalhe e aplainamento (Adaptado de: Penteado, 1969)<sup>7</sup>.

| Cronologia relativa com base em dados morfológicos | Nº das alternâncias climáticas (fases ou osc). | Níveis e fases climáticas                                                                                                                                                              | Localização, altimetria e identificação arqueológica                                                                              |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| HOLOCENO ATUAL                                     |                                                | P1º - Várzeas (zona de inundação periódica)                                                                                                                                            | No rio Corumbataí à altura da ponte na rodovia R.C. - Ipeúna 535-537 m.                                                           |
| Planícies de inundação, colúvios e solos           |                                                | Solos argilo-arenosos clay ou hidromórficos turfosos                                                                                                                                   | 536-538 m.                                                                                                                        |
| De 2.500 anos até o presente                       |                                                | PI. Diques marginais                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                   |
|                                                    |                                                | Sº - Solos atuais recobrimdo as vertentes com execção das rochosas fortemente inclinadas (>40º) e as submetidas à erosão acelerada (em siltitos e sílex com inclinação superior a 15º) | Em todos os níveis. Jazidas em solos recentes: Marchiori, Serra D'água III, Itirapina, Poço Fundo II, S. Lourenço II.             |
|                                                    |                                                | Cº - Colúvios atuais na base das vertentes; em cones de dejeção e sobre terraços e várzeas                                                                                             | Em todos os níveis                                                                                                                |
|                                                    | 1                                              | <i>Clima atual quente e úmido</i>                                                                                                                                                      |                                                                                                                                   |
|                                                    |                                                | Incisão dos cursos d'água; pedogênese. Cobertura natural de matas e cerrados em fase de destruição pela ação antrópica.                                                                |                                                                                                                                   |
|                                                    |                                                | Tendência ao rompimento do equilíbrio morfogenético. Erosão acelerada; voçorocamento.                                                                                                  |                                                                                                                                   |
| PRÉ ATUAL                                          |                                                | S1 - Paleossolo turfoso negro, situado abaixo dos solos e colúvios atuais e sotoposto a colúvios e solos castanho-avermelhados, arenosos.                                              | Bem identificado nos ribeirões que entalham os flancos dos interflúvios principais (20 a 80 cm de espessura) em níveis variáveis. |
| Paleossolos, linhas de pedras e paleocolúvios      |                                                |                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                   |
| -4.500 a -2.500 anos                               | 2                                              | <i>Oscilações climáticas mais úmida que a fase atual precedida de fase subúmida. Maior extensão das florestas.</i>                                                                     |                                                                                                                                   |

<sup>7</sup> As abreviaturas usadas são: (t) terraços; (tp) terraços pedimentados; (P) pedimentos; (Pd) pediaplano (nível mais generalizado); (pl) planície aluvial; (s) solos a paleossolos; (c) colúvios; (Lp) linha de pedras. Os expoentes 1, 2 e 3 indicam os níveis erosivos e detríticos a partir dos mais modernos para os mais antigos.

|                                                                                          |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                          |   | <p>Cobertura vegetal natural. Equilíbrio morfogenético. Incisão dos talwegues. Expansão dos alagados.</p> <p>Lp1 - Linha de pedras superior, frequentemente recoberta de colúvios e solos atuais.</p>                                                                                                                                    | <p>Aparece recobrimdo as vertentes em todos os níveis, partindo dos mais elevados dos flancos dos interflúvios em direção à base das encostas (10 a 50 cm de espessura).</p>                                              |
|                                                                                          | 3 | <p><i>Oscilação seca</i>, dominância de morfogênese mecânica, Retração das florestas. Vegetação aberta com predomínio de herbáceas.</p>                                                                                                                                                                                                  | <p>Bem identificado no barranco do córrego Tira-Chapéu a 540m de altitude (relações morfológicas e arqueológicas). Identificação arqueológica: Jazidas de Tira-Chapéu III, Serra D'água II, Tamandupá, Santo Antônio.</p> |
|                                                                                          | 4 | <p>S<sub>2</sub>C<sub>1</sub> - Paleossolos coluviais arenosos com seixos fragmentários situados abaixo da 1ª linha de pedras.</p> <p><i>Oscilação subúmida</i>. Fase erosiva menos agressiva que no período anterior. Pedogênese fraca. Pequena incisão dos talwegues. Maior extensão de gramíneas e herbáceas do que de florestas.</p> | <p>Situado entre as duas linhas de pedras no córrego Tira-Chapéu (1,20 a 1,40m de espessura).</p>                                                                                                                         |
| -6.500 a -9.000 anos                                                                     |   | <p>LP<sub>2</sub> - Linha de pedras inferior, recoberta de paleossolos e colúvios.</p>                                                                                                                                                                                                                                                   | <p>Bem identificada no barranco do córrego Tira-Chapéu (10 a 20 cm de espessura). Relações morfológicas e arqueológicas.</p>                                                                                              |
|                                                                                          | 5 | <p><i>Oscilação seca</i> de morfogênese mecânica dominante. Retração das florestas.</p>                                                                                                                                                                                                                                                  | <p>Identificação arqueológica: jazidas Tira-Chapéu II, Poço Fundo I, Monjolo Velho, Bairro do Cabeça.</p>                                                                                                                 |
|                                                                                          |   | <p>S<sub>3</sub>C<sub>2</sub> - Paleossolos coluviais situados abaixo da 2ª linha de pedras, areno-argiloso no topo e mais argiloso na base.</p>                                                                                                                                                                                         | <p>Bem identificado no barranco do córrego Tira-Chapéu, situado entre as 2ª linha de pedras e o pedimento detrítico inferior (cascalheira basal 1m a 1,20m de espessura).</p>                                             |
| LIMITE HOLOCENO<br>PLEISTOCENO OU                                                        | 6 | <p><i>Fase úmida</i>: expansão das florestas: pedogênese intensa; incisão dos talwegues nos depósitos detríticos das fases anteriores.</p>                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                           |
| PLEISTOCENO SUPERIOR ?<br>Baixos terraços aluviais e<br>pedimentos detríticos inferiores |   | <p>t1 - Tp1 - Baixos terraços mantidos por cascalheiras de seixos de quartzolados, passando a rampa rochosa ascendente até o nível de TP<sub>2</sub> - P<sub>2</sub></p>                                                                                                                                                                 | <p>2 - 4m acima das várzeas, subindo até 10m como terraço pedimento Tp1 vale do Corumbataí a 540-550m.</p>                                                                                                                |
|                                                                                          | 7 | <p><i>Fase seca</i>, dominância de morfogênese mecânica. Lençóis aluviais de grande poder erosivo e de transporte. Recuo paralelodo rebordo dos patamares intermediários (TP<sub>2</sub>).</p>                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                           |

|                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                            | <p>P<sub>1</sub> - ** Pedimentos detríticos inferiores de elementos grosseiros e angulosos de sílex e basalto ou diabásio, correlativos a T1. (O mesmo período climático de lençóis de lama sobre a vertente; transporte curto).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <p>3 - 4m acima das várzeas subindo de 8 a 10 metros. Identificados nas imediações da serra Itaqueri no vale Passa-Cinco, ribeirão Canta Galo, córrego Tira-Chapéu (relações morfológicas e arqueológicas). Identificação arqueológica: Tira-Chapéu I, S Lourenço I, Santa Rosa I, serra D'água I.</p>                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <p>PLEISTOCENO MÉDIO ?<br/>Terraços pedimentados e pedimentos intermediários</p>                                                           | <p>8</p> <p><i>Fase úmida.</i> Incisão dos talvegues, conformando o rebordo dos patamares intermediários (TP<sub>2</sub> - P<sub>2</sub>).</p> <p>TP<sub>2</sub> - P<sub>2</sub> - Patamar rochoso pedimentado, intermediário dos flancos dos interflúvios principais da Bacia do Rio Claro. Níveis típicos de pedimentação, raramente contendo cascalheiras; bastante erodidos, apresentando litossolos.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <p>Pedimentos rochoso situados 10 - 15m acima das várzeas, subindo em rampa de 10 a 15° até atingir o patamar intermediário. No vale do Corumbataí a 555-570m.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                                                                                            | <p>9</p> <p>Fase seca, dominância de morfogênese mecânica; recuo paralelo dos rebordos dos pedimentos elevados (TP<sub>3</sub> - P<sub>3</sub>).</p> <p>P'<sub>2</sub> - Pedimentos detríticos típicos intermediários, de elementos grosseiros e angulosos de sílex e diabásio ou basalto (correlativos de TP<sub>2</sub> - P<sub>2</sub> do vale Corumbataí).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p>Pedimentos detríticos situados 10 - 15m acima das várzeas nas cabeceiras dos cursos principais da Bacia de Rio Claro e seus afluentes, nas imediações das escarpas das cuestas a 650 - 660m.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <p>PLEISTOCENO INFERIOR ?<br/>Terraços pedimentados detríticos mais elevados conformando pediplano correspondente à Bacia de Rio Claro</p> | <p>10</p> <p><i>Fase úmida.</i> Incisão dos cursos d'água, conformando o rebordo dos terraços pedimentados mais elevados (TP<sub>3</sub> - P<sub>3</sub>).</p> <p>TP<sub>3</sub> - P<sub>3</sub> - Pd<sub>1</sub> - Altos níveis pedimentados da Bacia de Rio Claro. TP<sub>3</sub> é mantido por seixos grandes de quartzo bem rolados. São cascalheiros aluviais depositadas por lençol aluvial de grande potência, antepassado do Corumbataí.</p> <p>P<sub>3</sub> - Bordos de erosão mais elevados dos interflúvios principais. São pedimentos rochosos cortados em diabásio, arenito Botucatu ou siltitos e sílex do G Passa Dois, os quais terminam como pedimentos detríticos arenosos (fecho da sedimentação da Bacia de Rio Claro). É o nível de pedimentação mais generalizado, portanto equivalente a Pd1 (Pediaplano Pleistocênico - o mais recente dos interplanálticos - Superfície de Rio Claro)</p> | <p>Altos terraços pedimentados do Rio Corumbataí, 50 - 60m acima das várzeas. Situa-se entre 580 - 590m.</p> <p>Superfície de agradação e degradação em rampa suave (1 a 3°) elevando-se em direção ao alto curso do Corumbataí e afluentes, indo se articular em ângulo bem marcado aos rebordos do planalto Neogênico no sopé das cuestas. Altitude 600 - 650m, interflúvios principais da Bacia de Rio Claro. Na parte central e jusante da bacia são recobertos por 20 a 30 metros de sedimentos arenosos com cascalheiras basais de seixos angulosos.</p> |

|                                                                                                                          |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                          | 11 | <p><i>Fase seca de maior duração e de maior intensidade no Pleistoceno:</i><br/> morfogênese mecânica grande<br/> pedimentação, rebaixando e fazendo recuar os rebordos do pediplano interplanáltico mais antigo Pd<sub>2</sub></p> <p>(Superfície Neogênica) - restringindo-o a restos de planaltos e esporões no sopé das cuestas.</p> | Formação Rio Claro                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                                                                                                                          | 12 | <p><i>Fase úmida.</i> Entalhe dos rios. Extensão das florestas: pedogênese intensa (paleossolos argilosos avermelhados sob a cobertura detrítica de Pd<sub>1</sub>. Entalhe da ordem de 50 metros dissecando e conformando os rebordos do Pd<sub>2</sub>.</p>                                                                            | Grande dissecção da superfície regional mais antiga. Superfície de Urucaia neogênica.                                                                                                                                                                                              |
| <hr/>                                                                                                                    |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| LIMITE PLEISTOCENO                                                                                                       |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| PLIOCENO ?                                                                                                               |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Superfície interplanáltica mais antiga na Depressão Periférica e na Bacia de Rio Claro - Superfície de Urucaia-Neogênica |    | <p>Pd<sub>2</sub> - Planaltos residuais, patamares e esporões rochosos no sopé das cuestas, recobertas de cascalheiras de quartzo e canga. Níveis típicos de pedimentação situados cerca de 100 - 110 m acima dos vales regionais e 50 - 60 m acima do pd<sub>1</sub>.</p>                                                               | <p>Superfície em rampa suave (5° a 10°) elevando-se e aumentando o grau de inclinação em direção às escarpas das cuestas, às quais se articula em rampa de forte concavidade (30° a 50° <i>talus de eboulis</i>).</p> <p><i>Superfície de Urucaia</i>, 700 - 750m - Neogênica.</p> |
|                                                                                                                          | 13 | <p><i>1ª Fase seca de pediplanação exorréica na Bacia de Rio Claro.</i><br/> Elaboração do primitivo assoalho da Bacia, sem retenção de depósitos a não ser dejeções de quartzo e canga. Tal assoalho foi dissecado pela fase úmida posterior e rebaixado pela fase subsequente de pediplanação do Pd<sub>1</sub>.</p>                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <hr/>                                                                                                                    |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| PLIOCENO                                                                                                                 |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| OLIGOCENO ?                                                                                                              |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Início da escavação da Depressão Periférica e da Bacia de Rio Claro.                                                     | 14 | <p><i>Fase úmida.</i> Drenagem exorréica dando início à escavação da Bacia de Rio Claro por dissecção e incisão dos talwegues na Superfície Paleógena (Cimeira).</p>                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |