

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
*Campus de Rio Claro*

**ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DO MUNICÍPIO DE RIO CLARO - SP**  
FABIANO DO NASCIMENTO PUPIM

Orientador: Jairo Roberto Jiménez-Rueda  
Co-orientador: Juércio Tavares de Mattos

Dissertação de Mestrado elaborada junto  
ao Programa de Pós-Graduação em  
Geociências e Meio Ambiente para  
obtenção do título de Mestre em  
Geociências e Meio Ambiente.

Rio Claro (SP)  
2010

551.4a81 Pupim, Fabiano do Nascimento  
P984a Aspectos fisiográficos do município de Rio Claro - SP /  
Fabiano do Nascimento Pupim. - Rio Claro : [s.n.], 2010  
121 f. : il., figs., quadros, fots. + 1 mapa

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Orientador: Jairo Roberto Jiménez-Rueda  
Co-Orientador: Juércio Tavares de Mattos

1. Geomorfologia - Brasil. 2. Fisiografia. 3.  
Fotointerpretação. 4. Análise fisiográfica. 5. Análise  
morfoestrutural. 6. Geomorfometria. 7. Evolução da  
paisagem. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP  
Campus de Rio Claro/SP

## **Comissão Examinadora**

---

Prof. Dr. Jairo Roberto Jiménez-Rueda

---

Prof. Dr. Tomoyuki Ohara

---

Prof. Dr. Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto

---

Candidato: Fabiano do Nascimento Pupim

Rio Claro, 30 de junho de 2010

Resultado:

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Jairo Roberto Jiménez-Rueda pela disposição em ajudar e a orientação deste trabalho

Ao Prof. Juércio Tavares de Mattos pelas inúmeras contribuições na minha formação profissional e pela co-orientação deste trabalho.

Aos professores Sergio dos Anjos F. Pinto, Tomoyuki Ohara e Cenira Maria L. da Cunha, pelas sugestões e participação nas bancas de qualificação e defesa dessa dissertação.

À CAPES pela bolsa de mestrado concedida e à FAPESP pelo apoio financeiro para a realização dos trabalhos de campo e compra de equipamentos, mediante o processo nº 08/55053-3 de auxílio regular.

Aos meus pais (Gilberto e Dalva) pelo apoio e incentivo incondicional.

A Julia Oshima (ecóloga) por estar sempre pronta a ajudar e compartilhar das alegrias e dificuldades que se apresentaram no decorrer deste trabalho.

Ao Juliano Coelho (geógrafo), grande parceiro de trabalho e amigo de todos os momentos.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente. Em especial a Rosângela (secretária) pela competência e dedicação.

Aos amigos da UNESP de Rio Claro que de alguma maneira contribuíram com palpites e discussões sobre esse trabalho. Em especial ao Daniel (geólogo) e Isabel (ecóloga) pela participação e fundamental ajuda nos trabalhos de campo.

## SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE QUADROS .....</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>XII</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XIII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>6</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>16</b>
<b>4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>26</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>52</b>
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>110</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>113</b>
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE

<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE QUADROS .....</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>XII</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XIII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1. Apresentação da Dissertação.....	3
1.2. Objetivo .....	4
1.3. Localização da Área de Estudo .....	5
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>6</b>
2.1. Fotointerpretação .....	6
2.2. Métodos de Fotointerpretação .....	7
2.2.1. Análise de Padrões .....	8
2.2.2. Análise de Elementos.....	8
2.2.3. Análise Fisiográfica .....	9
2.2.3.1. Classificação Fisiográfica.....	11
2.2.4. Análise Morfoestrutural .....	13
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>16</b>
3.1. Materiais e Aquisição de Dados .....	16
3.2. Procedimentos e Técnicas.....	17
3.2.1. Análise Geomorfométrica.....	17
3.2.1.1. Hipsometria.....	18
3.2.1.2. Declividade .....	18
3.2.1.3. Curvatura do Terreno.....	19
3.2.2. Fotointerpretação .....	20
3.2.2.1. Análise Morfoestrutural .....	21

3.2.2.2. Análise Fisiográfica.....	24
<b>4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>26</b>
<b>4.1. Geologia .....</b>	<b>26</b>
4.1.1. Grupo Itararé Indiviso.....	29
4.1.2. Formação Tatuí.....	30
4.1.3. Formação Irati .....	31
4.1.4. Formação Corumbataí .....	32
4.1.5. Formação Pirambóia.....	33
4.1.6. Formação Serra Geral e Intrusivas Básicas Tabulares .....	34
4.1.7. Formação Rio Claro .....	35
4.1.8. Depósitos Quaternários.....	37
<b>4.2. Geomorfologia Regional .....</b>	<b>38</b>
4.2.1. Geomorfologia Local .....	39
<b>4.3. Cobertura Pedológica.....</b>	<b>43</b>
4.3.1. Coberturas de Alteração Intempérica (CAI) .....	44
<b>4.4. Clima.....</b>	<b>47</b>
<b>4.5. Uso da Terra.....</b>	<b>49</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>52</b>
<b>5.1. Geomorfometria.....</b>	<b>52</b>
5.1.1. Hipsometria .....	53
5.1.2. Declividade.....	55
5.1.3. Curvatura do Terreno .....	57
<b>5.2. Caracterização Morfoestrutural .....</b>	<b>60</b>
5.2.1. Rede de Drenagem.....	60
5.2.2. Lineamentos Estruturais.....	62
5.2.3. Traços de Juntas.....	65
5.2.4. Morfoestruturas e Linhas de Contorno Estrutural não Cotadas .....	68
<b>5.3. Caracterização Fisiográfica .....</b>	<b>74</b>
5.3.1. Paisagem Fluvial.....	79
5.3.1.1. Planície de Inundação do rio Corumbataí (Fc).....	80
5.3.1.2. Planície de Inundação dos rios Passa Cinco/Cabeças (Fp) .....	82
5.3.1.3. Planície de Inundação do ribeirão Claro (Fr) .....	85
5.3.2. Paisagem Denudacional/Paleoaluvial .....	87
5.3.2.1. Planalto Sedimentar (Ps) .....	88
5.3.3. Paisagem Denudacional .....	91

5.3.3.1. Planaltos/Terraços Dissecados (Pt) .....	92
5.3.3.2. Planalto de Itapé (Pi) .....	94
5.3.3.3. Planalto de Urucáia (Pu) .....	97
5.3.3.4. Planalto do Bizigueli (Pb) .....	100
5.3.4. Paisagem Estrutural .....	101
5.3.4.1. Planalto do Horto Florestal (Ph) .....	102
5.3.4.2. Planalto da Mata Negra (Pm) .....	104
5.3.4.3. Domo de Pitanga (D) .....	106
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>110</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>113</b>

## **ANEXOS**

## Índice de Figuras

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo, município de Rio Claro. ....	5
Figura 2: Estrutura piramidal de hierarquização da paisagem, segundo sistema de classificação fisiográfica CIAF – Villota (1992). ....	11
Figura 3: Modelo de altos e baixos estruturais, modificado de Soares <i>et al.</i> (1981). ....	15
Figura 9: Mapa com os principais tipos de modelados presentes no município de Rio Claro (SP) (ROSS & MOROZ, 1997). ....	39
Figura 10: Tipos de solos do município de Rio Claro-SP (OLIVEIRA, 1999). ....	44
Figura 11: Climograma do município de Rio Claro-SP com a distribuição das chuvas e temperaturas médias. Fonte DAEE-ESALQ, período de 1941 a 1977 ( <a href="http://ce.esalq.usp.br/bhbrasil/Saopaulo/">http://ce.esalq.usp.br/bhbrasil/Saopaulo/</a> ). ....	48
Figura 13: Balanço hídrico e umidade dos solos município de Rio Claro-SP. Fonte DAEE-ESALQ, período de 1941 a 1977 ( <a href="http://ce.esalq.usp.br/bhbrasil/Saopaulo/">http://ce.esalq.usp.br/bhbrasil/Saopaulo/</a> ). ....	49
Figura 14: Classes de uso da terra do município de Rio Claro-SP, ano de 2003 (CEAPLA, 2010). ....	51
Figura 15: Classes de hipsometria do município de Rio Claro- SP, representando as variações de altitude da área. ....	54
Figura 16: Classes de declividade do município de Rio Claro-SP. ....	56
Figura 17: Classes de curvatura do terreno do município de Rio Claro - SP. ....	58
Figura 18: Rede de drenagem da área. A) folhas topográficas 1:50.000 e B) fotografias aéreas 1:25.000. ....	60
Figura 19: Mapa de densidade de drenagem do município de Rio Claro – SP. ....	61
Figura 20: Mapa de lineamentos estruturais do município de Rio Claro - SP. ....	63
Figura 21: Mapa de densidade de lineamentos estruturais do município de Rio Claro - SP. ....	64
Figura 22: Mapa de traços de juntas do município de Rio Claro - SP. ....	65
Figura 23: Mapa de densidade de traços de juntas do município de Rio Claro - SP. ....	67
Figura 24: Mapa de formas anômalas de drenagem, a partir de fotografias aéreas 1:25.000. ....	68
Figura 25: Mapa de linhas de contorno estrutural não cotadas do município de Rio Claro-SP. ....	70
Figura 26: Representação das Paisagens Fisiográficas do município de Rio Claro-SP. ....	77
Figura 27: Representação esquemática da unidade Planície de Inundação do rio Corumbataí. I) localização e distribuição da unidade; II) trecho do rio Corumbataí com meandramento e terraços; III) trecho do rio Corumbataí com forte influência estrutural na configuração da planície; A-B, C-D e E-F) perfis transversais representativos da paisagem. ....	80
Figura 28: Paisagens representativas da unidade da Planície de Inundação do rio Corumbataí. A) área alagada próxima a cidade de Rio Claro (Ponto 194); B) lagoas marginais (Ponto 153); C) rio Corumbataí e diques marginais (Ponto 165); D) planície do rio Corumbataí na porção sul da área, aproximadamente 4 m acima do nível do rio (Ponto 168). ....	82

- Figura 30: Paisagens representativas da unidade da Planície de Inundação dos rios Passa Cinco/Cabeças. A) planície de inundação do rio Cabeças (Ponto 135); B) leito rochoso (Diabásio) do rio Passa Cinco (Ponto 195); C) controle estrutural no rio Cabeças (Ponto 182); D) leito rochoso (Fm. Pirambóia) e estreita planície de inundação do rio Cabeças (Ponto 173). .....84
- Figura 31: Representação esquemática da unidade Planície de Inundação do ribeirão Claro. I) localização e distribuição da unidade; II) trecho da planície do ribeirão Claro próxima ao horto florestal; A-B, C-D) perfis transversais representativos da paisagem. ....85
- Figura 32: Paisagens representativas da unidade da Planície de Inundação do ribeirão Claro. A) leito do ribeirão Sto. Antônio sobre afloramento de Diabásio (Ponto 83); B) alto curso do ribeirão Claro (Ponto 152); C) planície de inundação no médio curso do ribeirão Claro (Ponto 65) ; D) represa do horto florestal de Rio Claro (Ponto 82). .....86
- Figura 33: Representação esquemática da unidade dos Planaltos Sedimentares. I) localização e distribuição da unidade; II) trecho do Ps de Rio Claro que representa as subpaisagens de topo, lagoa abandonada e encosta; III) trecho do Ps do Campo do Coxo representando a relação de contato entre o Planalto Sedimentar e os Planaltos/Terraços Dissecados; IV) representação do relevo plano que predomina nos topos e relevo suave ondulado das encostas; A-B) perfil transversal representativo da paisagem. ....89
- Figura 34: Paisagens representativas da unidade do Planalto Sedimentar. A) topo do Ps de Rio Claro suavemente inclinado no sentido N/S (Ponto 169) ; B) lagoa abandonada típica dos planaltos sedimentares (Ponto 146); C) Cambissolo típico dos topos (Ponto 58); D) Argissolo presentes nas encostas (Ponto 138); E) depósito colúvio-aluvial de encosta (Ponto 17). .....91
- Figura 35: Representação esquemática da unidade dos Planaltos/Terraços dissecados. I) localização e distribuição da unidade; II) relevo típico da unidade Pt e subpaisagens; III) curvatura terreno; IV) declividade; A-B, C-D e E-F) perfis transversais representativos da paisagem. ....92
- Figura 36: Paisagens representativas da unidade do Planaltos/Terraços dissecados. A) vista geral da unidade Pt (Ponto 162) ; B) processos erosivos sobre depósitos de encosta (Ponto 63); C) Neossolo Litólico da Fm. Corumbataí (Ponto 61); D) Argissolo próximo ao distrito de Ferraz (Ponto 72). .....94
- Figura 37: Representação esquemática da unidade do Planalto de Itapé. I) localização e distribuição da unidade; II) relevo típico da unidade Pi e subpaisagens; III) curvatura terreno; IV) declividade; A-B) perfil transversal representativo da paisagem. ....95
- Figura 38: Paisagens representativas da unidade do Planalto de Itapé. A) vista geral da unidade Pi (Ponto 178); B) depósito colúvio-aluvial de topo, com cascalheira basal (Ponto 123); C) depósito colúvio-aluvial em discordância com plintito da Fm. Pirambóia (Ponto 116); D) exemplo de ruptura de relevo negativa entre topo com depósito colúvio-aluvial e encosta sobre Plintossolo da Fm. Pirambóia (Ponto 142). .....96
- Figura 39: Representação esquemática da unidade do Planalto de Urucáia. I) localização e distribuição da unidade; II) relevo típico da unidade Pu e subpaisagens; III) níveis altimétricos da unidade Pu na porção nordeste da área ; IV)

- declividade; V) curvatura terreno; A-B) perfil transversal representativo da paisagem. ....98
- Figura 40: Paisagens representativas da unidade do Planalto de Urucáia. A) vista geral da unidade Pu em contato com a unidade Pi (Ponto 179); B) Plintossolo da Fm. Pirambóia (Ponto 181); C) lateritas espessas sobre Plintossolo da Fm. Pirambóia (Ponto 143) ; D) depósito colúvio-aluvial grosseiro (Ponto 117); E) Fm. Pirambóia fortemente alterada (Plintossolo) (Ponto115). ....99
- Figura 41: Representação esquemática da unidade do Planalto do Bizigueli. I) localização e distribuição da unidade; II) visualização das subpaisagens em fotografias aéreas; III) níveis altimétricos da unidade Pb; IV) elementos que compõem a paisagem do Pb e sua relação com o Pu (Ponto 175, rumo 230°); A-B) perfil transversal representativo da paisagem. .... 101
- Figura 42: Representação esquemática da unidade do Planalto do Horto Floresta. I) localização e distribuição da unidade; II) relevo típico da unidade Ph e subpaisagens; III) níveis altimétricos da unidade Ph; IV) declividade; V) curvatura terreno; A-B e C-D) perfis transversais representativos da paisagem. .... 103
- Figura 43: Paisagens representativas da unidade do Planalto do Horto Florestal. A) relevo plano dos topos com a presença de áreas alagadas (Ponto 105); B) Argissolo Vermelho-Escuro (Ponto111). .... 104
- Figura 44: Representação esquemática da unidade do Planalto da Mata Negra. I) localização e distribuição da unidade; II) relevo típico da unidade Pm e subpaisagens; III) níveis altimétricos da unidade Pm na porção nordeste da área; IV) declividade; V) curvatura terreno; A-B e C-D) perfis transversais representativos da paisagem. .... 105
- Figura 45: Paisagens representativas da unidade do Planalto da Mata Negra. A) vista geral da unidade Pm (Ponto 150); B) controle estrutural por intrusão de Diabásio (Ponto 148); C) Fm. Corumbataí com pequenas dobras e alterada (Ponto 22); D) material de topo, concrecionário e muito friável (Ponto 23); E) Argissolo com substrato da Fm. Corumbataí (Ponto 22). .... 106
- Figura 46: Representação esquemática da unidade do Domo de Pitanga. I) localização e distribuição da unidade; II) relevo típico da unidade D e subpaisagens; III) níveis altimétricos da unidade D na porção sul da área; IV) declividade; V) curvatura terreno; A-B e C-D) perfis transversais representativos da paisagem. .... 107
- Figura 47: Paisagens representativas da unidade do Domo de Pitanga. A) vista geral da unidade do Domo de Pitanga (Ponto 48); B) controle estrutural evidente por intrusões de Diabásio e rupturas de relevo abruptas (Ponto 37); C) planície de inundação situada na meia encosta, evidência de soerguimento (Ponto 187); D) depósito colúvio-aluvial com base cascalhenta (Ponto 36); E) depósito colúvio-aluvial sobre Plintossolo do grupo Itararé (Ponto 46); F). siltito do grupo Itararé (Ponto 34); G) alteração esferoidal de Diabásio (Ponto 41). .... 108

## Índice de Quadros

Quadro 1: Sistema ITC de classificação morfogenética da paisagem (VERSTAPPEN, 1983) .....	12
Quadro 2: Sistemas para a definição de classes de declividade, desenvolvidos para diferentes aplicações.....	19
Quadro 3: Síntese das unidades litoestratigráficas do município de Rio Claro - SP. (CEAPLA, 2010).....	28
Quadro 4: Relação entre anomalias morfoestruturais e processos superficiais, modificado de Jiménez-Rueda <i>et al.</i> (1993).....	72
Quadro 5: Morfoestruturas: potencialidades e limitações, modificado de Jiménez-Rueda <i>et al.</i> (1993) e Shimbo (2006). ....	73
Quadro 6: Síntese da organização hierárquica das unidades fisiográficas do município de Rio Claro-SP. ....	76

## RESUMO

Devido ao aumento da pressão antrópica sobre os ambientes naturais faz-se necessária a realização de levantamentos que contemplem diversos fatores ambientais (bióticos e abióticos) e corroborem com zoneamentos geoambientais e o planejamento territorial. O estudo da fisiografia permite a caracterização e classificação das paisagens terrestres levando em consideração os fatores formadores destas paisagens (clima atual e passado, hidrologia, geologia, geomorfologia e indiretamente aspectos bióticos) e as relações (processos) que os afetam. Desta forma, o objetivo da pesquisa foi investigar as características fisiográficas do município de Rio Claro-SP e, assim, contribuir para o melhor conhecimento dos aspectos do meio físico e suas relações. Para atingir o objetivo foram utilizados procedimentos e técnicas próprias das geociências, como interpretação de fotografias aéreas, geoprocessamento e levantamentos de campo. A sistemática de trabalho adotada se resume à quatro etapas: I) revisão bibliográfica; II) análise geomorfométrica; III) análise morfoestrutura e; IV) análise fisiográfica. Os resultados obtidos foram os mapas geomorfométricos (hipsometria, classes de declividade e curvatura do terreno), mapas morfoestruturais (lineamentos estruturais, traços de juntas, anomalias de drenagem e linhas de contorno estrutural não cotadas) e o mapa fisiográfico. A análise fisiográfica permitiu identificar e compreender os processos endógenos e exógenos que atuam e atuaram na evolução da paisagem. O município de Rio Claro-SP é caracterizado por paisagens policíclicas de origem fluvial, denudacional/paleoaluvial, denudacional e estrutural. A subdivisão das paisagens em unidades menores evidenciou a presença de subpaisagens do tipo planície de inundação e terraço para as paisagens fluviais; topos e encostas para as paisagens denudacionais/paleoaluviais, denudacionais e estruturais e; lagoas abandonadas nas paisagens denudacionais/paleoaluviais.

**Palavras-chave:** fotointerpretação, análise fisiográfica, análise morfoestrutural, geomorfometria, evolução da paisagem.

## ABSTRACT

Due to the increase of anthropogenic pressure on natural environments it is necessary to make surveys involving several environmental factors (biotic and abiotic) and the corroborating with geoenvironmental zoning and land use planning. The study of the physiography enables the characterization and classification of landscapes, considering the factors of landscape formation (current and past climate, hydrology, geology, geomorphology and indirectly biotic aspects) and relations (processes) that affect them. Therefore, the aim of this research is to investigate the physiographic characteristics of Rio Claro-SP district and thus to contribute to a better knowledge of physical environment aspects and their relationships. To achieve the main objective specific techniques and procedures from geosciences were taken, such as aerial photo interpretation, geoprocessing and field surveys. The systematic adopted for this work followed four steps: i) review; II) geomorphometric analysis; III) morphostructural analysis; IV) physiographic analysis. The results gathered were the geomorphometric maps (hypsometry, slope and terrain curvature), morphostructural maps (structural lineaments, traces of joints, abnormal drainage and structural contour lines unlisted) and a physiographic map. Physiographic analysis allowed us to identify and understand the endogenous and exogenous processes that acted in landscape evolution. Rio Claro-SP is characterized by polycyclic landscapes with fluvial, denudational / paleoalluvial, denudational and structural origins. The subdivision of landscapes into smaller units showed the presence of sub-landscapes, from the type floodplain and river terrace landscapes; summit and slope to the landscapes denudational / paleoalluvial, denudational and structural; abandoned ponds in landscapes denudational / paleoalluvial.

**Keywords:** photointerpretation, physiographic analysis, morphostructural analysis, geomorphometric, landscape evolution.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, devido ao aumento da pressão antrópica sobre os ambientes naturais, faz-se necessária a realização de levantamentos que contemplem diversos fatores ambientais (bióticos e abióticos), com a finalidade de subsidiar estudos de impacto ambiental e zoneamento geoambiental. O entendimento dos elementos do meio físico e suas inter-relações são indispensáveis nesses estudos, servindo como alicerce para o desenvolvimento de estratégias de planejamento para múltiplas funções, tais como: aptidão agrícola, obras de engenharia, expansão urbana, áreas de preservação ambiental, entre outros.

Sobre a área do município de Rio Claro – SP foram elaborados diversos estudos sobre os aspectos do meio físico como: geologia (ZAINÉ, 1994; SOUSA, 2002); formações superficiais (IG, 1986; OKA-FIORI, 1987; MELO, 1995); geomorfologia (PENTEADO, 1967 e 1968; FACINCANI, 2000) e cobertura pedológica (PRADO *et al.* 1981; VOLKMER, 1993). Entretanto, esses estudos não tiveram como objetivo estudar a área integral do município de Rio Claro, pois suas áreas de estudo foram definidas por cartas topográficas ou bacias hidrográficas que quase nunca coincidem com os limites administrativos do município, dificultando a integração desses dados para fins de planejamento municipal.

A carência de estudos que privilegiam a integração dos aspectos do meio físico e que contemplem a área administrativa do município de Rio Claro gerou a motivação para a presente pesquisa, que teve como meta estudar a fisiografia do município de Rio Claro. Para isso foram utilizadas técnicas de interpretação de fotografias aéreas em escala 1:25.000 (análise fisiográfica e análise morfoestrutural), técnicas de geoprocessamento e levantamentos de campo.

O termo fisiografia provém etimologicamente do grego *phisios* (natureza) e *graphos* (descrição), ou seja, significa descrição da natureza. No meio científico, principalmente o geo-científico, o termo fisiografia carece de uma definição universalmente aceita, muitas vezes é utilizado como sinônimo de geomorfologia (THORNBURY, 1960) ou geografia física (DERRUAU, 1966).

A princípio a fisiografia segue os mesmos princípios da geomorfologia em relação ao estudo das formas do relevo terrestre, entretanto, a principal diferença está nas respectivas classificações dessas geoformas (VILLOTA, 2005). Entretanto, a fisiografia tem por objetivo o estudo, caracterização e classificação das paisagens terrestres levando em consideração os fatores formadores das paisagens (clima atual e passado, hidrologia, geologia, geomorfologia e indiretamente aspectos bióticos) e as relações (processos) que os afetam (VILLOTA, 1992; 2005). Os fatores formadores das paisagens são os mesmos fatores responsáveis pela formação dos solos, sendo assim, suas relações são expressas pelos processos pedogenéticos que se encontram impressos nos perfis de solo.

Quando os fatores de formação das paisagens e seus processos relacionais mantêm taxas de mudança relativamente baixas, pode-se dizer que certa paisagem encontra-se em equilíbrio dinâmico (estabilidade). Quando as mudanças são drásticas e repentinas dizemos que o equilíbrio dinâmico foi quebrado e a paisagem está instável.

Em fisiografia, a paisagem compreende porções tridimensionais da superfície terrestre resultantes de processos geogenéticos definidos, que podem ser descritos por uma mesma característica climática, morfológica, geológica e/ou idade, dentro da qual se espera certa homogeneidade de solos, assim como as mesmas potencialidades e fragilidades quanto ao uso das terras (VILLOTA, 1992).

O estudo da fisiografia se faz por intermédio da análise fisiográfica, que é um método de interpretação de imagens da superfície terrestre que se baseia na relação solo-paisagem (GOOSEN, 1968). O objetivo da análise fisiográfica é a identificação,

delimitação, cartografia e classificação da paisagem e unidades fisiográficas com base nos diferentes fatores de formação das paisagens, onde o resultado é expresso em um mapa fisiográfico e sua legenda fisiográfica.

A análise fisiográfica contempla a possibilidade de subdividir as paisagens em unidades fisiográficas menores, com base nos aspectos morfométricos que podem igualmente incidir na pedogênese, ou pelo menos no uso e manejo dos solos, como exemplo: grau de declividade, tipo de erosão, condição de drenagem, pedregosidade superficial, entre outros (VILLOTA, 2005).

Assim, o estudo da fisiografia, a partir da análise fisiográfica, permite entender os fatores e processos que originaram as distintas paisagens de uma região e, conseqüentemente, conhecer as características externas e internas dos seus solos. E como abordamos no início desse capítulo, o íntimo conhecimento das paisagens, de suas propriedades, características e processos permitem a realização de zoneamentos geoambientais que compõem o alicerce para o desenvolvimento de estratégias de planejamento territorial para múltiplas finalidades.

### **1.1. Apresentação da Dissertação**

Esta dissertação tem seu texto estruturado em sete capítulos que serão brevemente descritos a seguir:

- 1 – Introdução: constituído por uma breve introdução ao tema, justificativa, motivação e objetivos da presente pesquisa. Além da própria apresentação da dissertação e localização da área de estudo.
- 2 – Fundamentação Teórica: apresenta uma revisão bibliográfica sobre os conceitos e técnicas que nortearam a pesquisa, com ênfase na análise fisiográfica e análise morfoestrutural.
- 3 – Materiais e Métodos: descreve de forma objetiva as técnicas aplicadas para o desenvolvimento de cada uma das etapas da pesquisa e apresenta as estratégias e sistemática de trabalho adotada.
- 4 – Caracterização da Área de Estudo: trata-se de uma revisão bibliográfica e cartográfica sobre os aspectos que constituem a paisagem (geologia, geomorfologia, cobertura pedológica, clima, vegetação e uso da terra), procurando correlacionar esses aspectos a fim de compreender as características da paisagem atual e sua evolução.

- 5 – Resultados e Discussões: discute os resultados obtidos a partir da aplicação das técnicas propostas. Para uma melhor compreensão foi dividido em três subcapítulos: Geomorfometria, onde é discutida a utilização dos parâmetros hipsométricos, de declividade e curvatura do terreno como ferramentas para caracterização fisiográfica; Caracterização Morfoestrutural, onde é discutida a conformação estrutural da área e sua influência na evolução e dinâmica das paisagens; Caracterização Fisiográfica, onde discutimos a aplicação da análise fisiográfica e seus resultados (Mapa Fisiográfico e Legenda Fisiográfica), integrada com as análises anteriores (geomorfometria e morfoestrutura), na identificação, delimitação e caracterização fisiográfica do município de Rio Claro – SP.
- 6 – Conclusões: apresenta as conclusões e considerações sobre as técnicas aplicadas e os resultados obtidos na pesquisa.
- 7 – Referências Bibliográficas: contém as referências bibliográficas utilizadas para a execução e discussão da pesquisa.

## 1.2. Objetivo

Investigar as características fisiográficas na área do município de Rio Claro (SP).

### Objetivos Específicos

- Organizar um banco de dados georreferenciado a partir da documentação bibliográfica e cartográfica pré-existente;
- Gerar mapas geomorfométricos que auxiliem na caracterização fisiográfica;
- Conhecer a distribuição espacial das estruturas geológicas e sua influência na configuração das paisagens e seus processos superficiais;
- Identificar e cartografar as unidades da paisagem pelo método da análise fisiográfica;
- Integrar, correlacionar e interpretar os dados gerados, dentro de uma visão holística, para definir e caracterizar as unidades fisiográficas que ocorrem no município de Rio Claro.

### 1.3. Localização da Área de Estudo

O município de Rio Claro está localizado na porção centro-leste do Estado de São Paulo, entre os paralelos  $22^{\circ}14'$  e  $22^{\circ}33'$  Sul e os meridianos  $47^{\circ}27'$  e  $47^{\circ}46'$  Oeste, correspondendo a uma área de 498,01 km<sup>2</sup>. O município dista aproximadamente 186 km ao norte da cidade de São Paulo e o acesso pode ser feito pelo sistema rodoviário Anhanguera (SP-330) / Bandeirantes (SP-348), que possibilitam a conexão com as principais rodovias regionais, como a rodovia Washington Luis (SP-310), SP-127, SP-191 e SP-316, além das vias de menor hierarquia (Figura 1).

Rio Claro faz limite com oito municípios, sendo ao sul com os municípios de Piracicaba e Iracemápolis, a oeste com Ipeúna e Itirapina, ao norte com Corumbataí e Leme e a leste com os municípios de Araras e Santa Gertrudes.

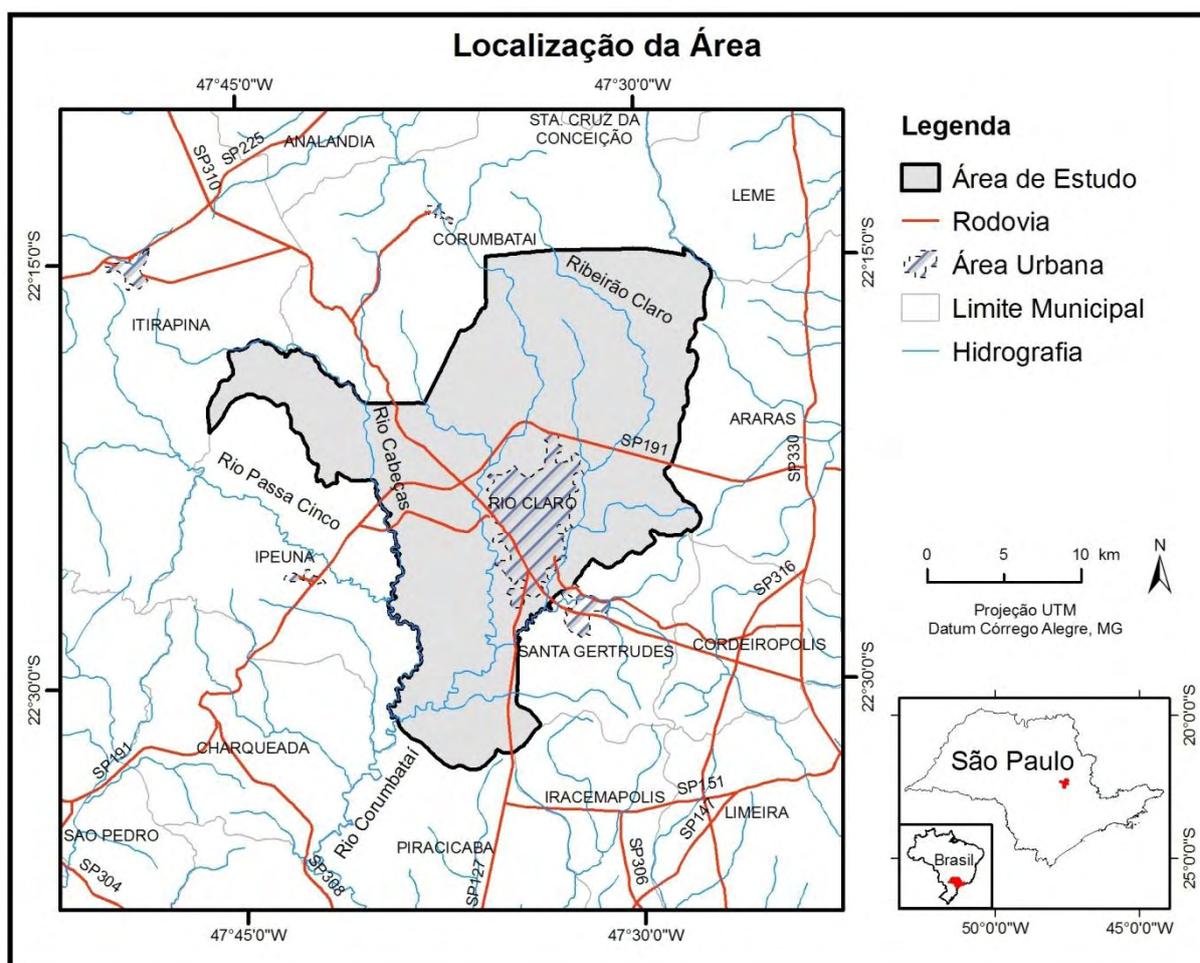


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo, município de Rio Claro.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1. Fotointerpretação**

A utilização de produtos de sensoriamento remoto, dentre eles as fotografias aéreas, para o reconhecimento e estudos das características da superfície terrestre data do início do século passado, ganhando maior popularidade após a segunda Guerra Mundial. Inicialmente as fotografias aéreas eram utilizadas para o reconhecimento de objetos e alvos militares ou simplesmente como de ilustração da superfície terrestre. Entretanto, com o desenvolvimento de ciências como a fotogrametria e novos equipamentos e técnicas que permitiram melhor manejar esse tipo de fotografia, surgiu o campo de estudo denominado de fotointerpretação ou interpretação de fotografias aéreas, que segundo Goosen (1968) é o estudo da imagem dos objetos fotografados e a dedução do seu significado.

Para o mesmo autor (op. cit.), o fotointerprete vê suas fotografias aéreas não como uma figura e sim como a reflexão de uma enorme variedade de fenômenos naturais, de relação complexa, dais quais se pode deduzir informações de interesse.

O processo de fotointerpretação aplicado às ciências naturais não se trata de um estudo baseado apenas em características quantitativas do terreno, mas sim em uma série de estímulos sensoriais e a resposta do cérebro a esses, o que possibilita o reconhecimento dos diferentes objetos na superfície terrestre a partir da análise das

diferenças de reflexão entre eles. Para isso, o fotointerprete deve tomar como guia características passíveis de reconhecimento e diferenciação dos objetos, comuns a qualquer tipo de trabalho com fotografias aéreas, tais como o tamanho, sombra, tonalidade e cor, disposição de tons e textura (CADENAS & BARCENAS, 1968), além da situação geográfica respectiva de cada objeto fotografado.

Tendo em vista o caráter subjetivo inerente ao processo de fotointerpretação não se pode dizer que exista um método de caráter geral. Porém, Cadenas & Barcenas (1968) apontam que existe uma série de normas comuns, que empregadas de uma maneira sistemática, facilitam a aplicação dessa técnica. Tais normas são: a fotointerpretação deve ser feita de maneira metódica ou sistemática; a interpretação deve partir das características gerais para as específicas; em primeiro lugar devem ser identificados os objetos conhecidos e, a partir desses, interpreta-se os desconhecidos; as interpretações devem ser feitas tendo em conta as características das imagens que se dispõem.

Goosen (1968), aplicando os conhecimentos gerais de fotointerpretação aos estudos pedológicos, comenta que diversos autores reconhecem três fases no processo de fotointerpretação. A primeira fase é chamada de reconhecimento e identificação (fotoleitura), que se refere ao estudo dos objetos e suas marcas que podem ser facilmente reconhecidas nas imagens. A segunda fase é chamada de análise (fotoanálise) e começa com a seleção das marcas e formas que se quer analisar, devem ser realizadas correlações entre os elementos e padrões de elementos, para isso, podem ser tomadas medidas e realizados reconhecimentos de campo quando necessário. A última fase trata da classificação do terreno, que em estudos de solos pode ser feita com a suplementação de trabalhos de campo e laboratório e traduzida em unidades de mapeamento.

## **2.2. Métodos de Fotointerpretação**

Nos últimos 50 anos é incontestável que o emprego de produtos de sensoriamento remoto em estudos de levantamento e mapeamento do meio físico tem sido de grande importância. Entretanto, o perfil do solo/rocha não pode ser reconhecido e estudado em imagens fotográficas verticais, dessa forma o fotointerprete deve recorrer a uma série de elementos superficiais que estão intimamente relacionados com a natureza e propriedades do material subjacente, para

isso, foram desenvolvidos métodos ou procedimentos de trabalho, entre os quais Goosen (1968) destaca três como principais: o método da Análise de Padrões; o método da Análise de Elementos e; o método da Análise Fisiográfica.

Os métodos acima citados são tradicionalmente relacionados a estudos e levantamentos de solos, porém suas técnicas e critérios podem ser aplicados a levantamentos do meio físico. Esta afirmação é válida quando se parte da premissa de que “solos são tanto perfis como paisagens” (USDA, 1951), e o seu reconhecimento em fotografias aéreas passa, necessariamente, pela identificação e análise dos aspectos ambientais (tipo de rocha, relevo, drenagem, vegetação, erosão, entre outros).

### **2.2.1. Análise de Padrões**

O método da Análise de Padrões, preconizado por Frost *et al.* (1960), é muito similar com o método das “evidências convergentes” descrito por Lueder (1959) e está baseado na identificação de grandes unidades da paisagem e a divisão dessas em unidades menores. As unidades são caracterizadas pelos chamados elementos padrões locais, sendo estes a forma do terreno, drenagem, aspectos erosivos, vegetação, tonalidade fotográfica e características culturais.

Este método requer um conhecimento profundo de geomorfologia e o uso de um guia de chaves de formas do terreno. Goosen (1968) coloca que os melhores resultados podem ser obtidos em áreas menores, onde se possui um bom conhecimento acerca das relações entre a imagem e as condições locais do solo, seu padrão principal e variações.

### **2.2.2. Análise de Elementos**

O método da Análise de Elementos ou “elementos individuais”, desenvolvido por Buring (1960), está fundamentado na premissa de que a maior parte das características da superfície terrestre esta de alguma maneira relacionada com as condições do solo. Dentro desses elementos, primeiramente deve-se excluir do processo de fotointerpretação os que não possuem nenhuma relação com os solos e selecionar os elementos que possuem alguma relação com os fatores de formação do solo. Posteriormente, é possível estabelecer uma hierarquia entre os elementos selecionados de acordo com sua importância na formação dos solos

Os elementos geralmente selecionados são o tipo de terreno, relevo, vertentes, condições de drenagem, sistemas de drenagem (destrutivos e construtivos), vegetação natural, substrato geológico, cor (tom, padrão e textura) e uso da terra. Cada um desses elementos pode ser caracterizado por variações no grau ou densidade, tipo ou forma, tamanho, profundidade e posição geográfica.

Quando é aplicada sistematicamente a Análise de Elementos o resultado é uma série de mapas referentes a todos os elementos analisados. O conjunto de todos esses mapas sobrepostos mostrará um grande número de linhas que podem ou não coincidir com limites de solos. Esses limites só poderão ser confirmados ou refutados após verificação em campo.

Este método tem como vantagem poder ser aplicado de maneira universal e ser usado por especialistas em solos sem muita experiência em fotointerpretação. A maior dificuldade se refere ao longo tempo despendido para a execução do levantamento, devido às inúmeras fases e produtos que necessitam ser gerados pelo fotointerprete e intensas verificações em campo.

### **2.2.3. Análise Fisiográfica**

O método da Análise Fisiográfica foi primeiramente mencionado por Buring (1954) e posteriormente desenvolvido por diversos pesquisadores, entre esses, gostaríamos de destacar os trabalhos de Doeko Goosen, por ser um dos pioneiros a aplicar este método no estudo dos solos tropicais da América do Sul, principalmente em solos colombianos (ex. GOOSEN, 1971); Alfred Zink em solos de zonas aluviais (ex. ZINK, 1987); Hugo Villota em solos de zonas montanhosas (ex. VILLOTA, 1983) e, conjuntamente com Pedro J. Botero, no desenvolvimento de um sistema de classificação fisiográfica (BOTERO, 1977; VILLOTA, 1992) e; Jairo R. Jiménez-Rueda, pela aplicação deste método em inúmeros estudos e pesquisas dedicadas a compreensão dos solos e paisagens brasileiras, e suas aplicações em projetos de zoneamento e planejamento ambiental (ex. JIMÉNEZ-RUEDA, 1980 e 1993; JIMÉNEZ-RUEDA *et al.*, 1989, 1993 e 1998).

A Análise Fisiográfica está baseada no conhecimento aprofundado das relações entre a fisiografia e os solos, e sua reflexão nas imagens. Assim, torna-se mais importante o reconhecimento dos processos do que dos fenômenos em si, esses últimos devem ser observados e traduzidos em termos de processos que originaram e estão originando esta paisagem. Os elementos são tão importantes quanto na Análise

de Elementos, porém são utilizados de maneira diferente, sendo mais bem utilizados como material básico na construção do entendimento das relações fisiográficas da paisagem.

O terreno deve ser compartimentado em unidades fisiográficas, onde cada uma delas contém uma associação única de solos e coberturas superficiais. A identificação e caracterização das unidades são realizadas a partir da sua uniformidade ou “aparência” em imagens (MULDERS, 1987). Então, de forma genérica, podemos dizer que quando a fisionomia muda, uma diferente unidade pode ser delineada.

Tal uniformidade está diretamente relacionada aos principais processos geomorfológicos, que de maneira geral podem ser divididos em processos de sedimentação (aluvial, lacustre, marinha, eólica, vulcânica e glacial) e processos de erosão (hídrica, eólica, glacial e química). Estas grandes divisões ainda podem sofrer subdivisões em unidades que indiquem processos específicos.

Para exemplificar, podemos citar uma unidade que domina o processo de sedimentação fluvial e no seu interior podemos delimitar “unidades menores”, como uma planície de inundação e, se necessário, no interior da planície de inundação podemos destrinchar diversos elementos oriundos de processos de sedimentação fluvial específicos, como diques marginais, várzeas e terraços. O procedimento de identificação de unidades fisiográficas deve sempre partir do geral ao particular.

Para uma boa aplicação da Análise Fisiográfica o fotointerprete deve possuir sólidos conhecimentos de conceitos derivados da geomorfologia e da geologia. O método tem como principal vantagem a agilidade no processo de levantamento tanto em relação aos procedimentos tradicionais (ou de campo) em levantamentos do meio físico, como em relação aos outros dois métodos anteriormente descritos. Porém, assim como nos demais métodos, os reconhecimentos e verificação em campo são imprescindíveis.

A escolha de um método em detrimento a outro vai depender de uma série de fatores relacionados aos objetivos do levantamento (escala, conhecimento prévio da área, experiência do fotointerprete, entre outros), entretanto, na prática pode ser usada uma mescla dos três métodos.

### 2.2.3.1. Classificação Fisiográfica

A análise fisiográfica permite a classificação hierárquica e taxonômica da paisagem (fisiografia e tipos de solos), onde é possível hierarquizar uma zona qualquer, do geral ao particular, em diferentes categorias, a partir do estabelecimento de seis níveis categóricos segundo o Sistema de Classificação do Centro Interamericano de Fotointerpretação (CIAF): Província Fisiográfica, Unidade Climática, Grande Paisagem, Paisagem, Subpaisagem e Elementos da Paisagem (VILLOTA, 1992).

No entanto, todo esquema classificatório deve permanecer aberto, incompleto e flexível. Devendo ser usado como um guia, que oriente a ordenação da realidade, e não como uma estrutura fixa e determinada, pois o esquema deve adaptar-se à natureza e não o inverso.

O sistema CIAF apresenta uma estrutura piramidal (Figura 2), no seu vértice estão as estruturas geológicas continentais, como as cordilheiras, escudos e bacias de sedimentação. Essas são estabelecidas como o 1º nível categórico, definido como *Província Fisiográfica*, sendo uma unidade natural com alto grau de parentesco de suas estruturas geológicas iniciais, podendo ser reconhecido tanto em levantamentos bibliográficos como em sensores remotos com escalas inferiores a 1:250.000.

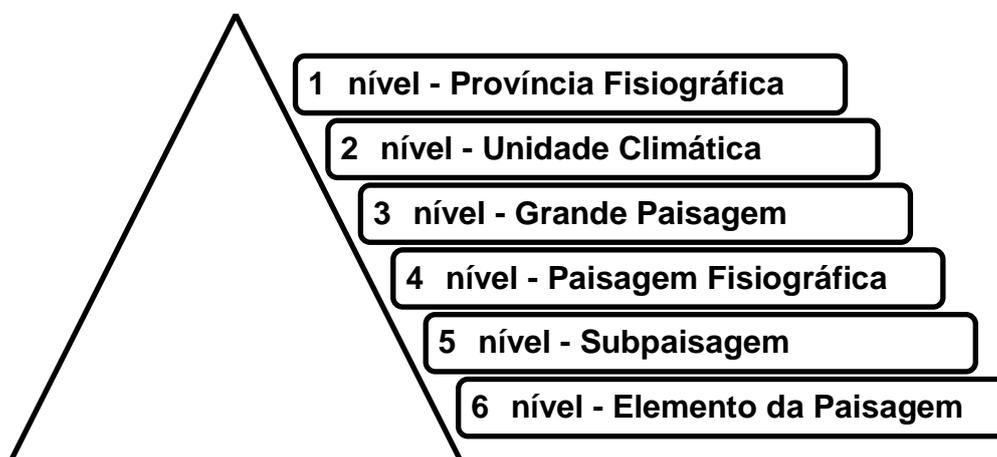


Figura 2: Estrutura piramidal de hierarquização da paisagem, segundo sistema de classificação fisiográfica CIAF – Villota (1992).

No interior das províncias fisiográficas podem prevalecer uma ou mais *Unidades Climáticas* (2º nível categórico), compreendendo terras onde os condicionantes climáticos (temperatura, precipitação e evaporação) são uniformes. O 3º nível categórico corresponde a unidades genéticas de relevo ou mesorelevo, denominado

de *Grande Paisagem*, que compreende uma associação de paisagens que apresentam parentesco geológico, climático e morfológico, definidos através dos processos endógenos e exógenos que o originaram e distinguidos em imagens de satélite em levantamentos exploratórios. Nos níveis categóricos 1 e 3 geralmente são guardadas as denominações regionais, arraigadas à literatura geomorfológica.

No interior das grandes paisagens podem ser identificadas unidades que apresentam condições morfológicas específicas, com alta similaridade entre material superficial, gênese, idade relativa, topografia e clima, que resultam em uma alta homogeneidade pedológica e potencial de uso da terra. Essas unidades são definidas como *Paisagens Fisiográficas*, inseridas no 4º nível categórico, as quais são as “unidades fundamentais” da análise fisiográfica, pois são essas que determinam o potencial natural da terra. Tais unidades são definidas em levantamentos semidetalhados, em escalas superiores a 1:100.000. Verstappen (1983) apresenta uma classificação das principais paisagens segundo sua origem e as cores para representação cartográfica (Quadro 1).

Quadro 1: Sistema ITC de classificação morfogenética da paisagem (VERSTAPPEN, 1983)

<b>Origem das Formas</b>	<b>Cor</b>
Estrutural	Roxo
Vulcânica	Vermelho
Denudacional	Marrom
Fluvial	Azul escuro
Lacustre/Marinha	Verde
Glacial/Periglacial	Azul claro
Eólica	Amarelo
Dissolução ( <i>Karst</i> )	Laranja
Biológica	Preto
Antropogênica	Cinza

O 5º nível categórico compreende as *Subpaisagens*, que são divisões das paisagens fisiográficas definidas a partir de unidades básicas das paisagens (eg. várzea, dique marginal, terraço, encosta, topo), relacionadas a processos morfogenéticos ativos. Esse nível hierárquico é utilizado em estudos detalhados, com escalas superiores a 1:100.000, podendo ser espacializado no mapa ou apenas em

forma descritiva no texto complementar. O 6º e último nível categórico são os *Elementos da Paisagem*, e deve levar em consideração as formas de relevo e parâmetros morfométricos (ex. altitude relativa, dissecação do terreno, declividade, forma de encosta, drenagem, entre outros) e só pode ser estabelecido em fotografias aéreas de grandes escalas, para levantamentos de detalhe ou ultradetalhe.

#### **2.2.4. Análise Morfoestrutural**

A sistemática da análise morfoestrutural parte dos estudos desenvolvidos para a interpretação geológica de fotografias aéreas e imagens de satélite, inicialmente estabelecido por Guy (1966), implantado para as condições brasileiras por Riverau (1972) e Soares & Fiori (1976) e sistematizado para aplicação morfoestrutural por Soares *et al.* (1981 e 1982).

No início da década de 80, devido ao crescimento das pesquisas em sensoriamento remoto no Brasil, ocorreram dois projetos sistemáticos que objetivaram, a partir das técnicas de fotointerpretação, identificar anomalias morfoestruturais para a prospecção de hidrocarbonetos na região do planalto Ocidental Paulista, porção leste da Bacia do Paraná. Esses projetos foram desenvolvidos por INPE/IPT em 1982 e INPE/PAULIPETRO em 1982 e culminou na sistematização da “análise morfoestrutural”, mais tarde publicada por Soares *et al.* (1981 e 1982).

Posteriormente, a análise morfoestrutural foi aplicada a diferentes finalidades, a exemplo da prospecção de águas subterrâneas em regiões cristalinas (MADRUCCI *et al.*, 2003); análises ambientais, tais como: controle de aplicação de vinhoto na produção sucro-alcooleira (JIMÉNEZ-RUEDA *et al.*, 1989); planejamento territorial (JIMÉNEZ-RUEDA *et al.*, 1993); definição do traçado de obras lineares (OHARA *et al.*, 2003).

Embora os termos aqui utilizados para a descrição e caracterização das anomalias de drenagem sejam amplamente conhecidos e divulgados entre os estudiosos das geociências, achamos por bem conceituá-los. Os termos abaixo seguem os conceitos apresentados por Soares *et al.* (1981 e 1982).

- Formas anelares - representam o reflexo na superfície de camadas flexuradas, geralmente se estabelecem sobre estruturas dômicas ou depressões estruturais, concordantes com o acamamento ou com o fraturamento anelar.

- Formas radiais - também podem representar o reflexo do controle estrutural e indicam o sentido geral do mergulho das camadas, mas podem ser de expressão puramente topográfica (divergência de elementos de drenagem a partir de um ponto mais alto). Assim, recomenda-se que essas formas sempre sejam analisadas em conjunto com as formas de assimetria, para a precisa constatação dos altos e baixos estruturais.

- Formas de assimetria - fornecem indicações de mergulhos convergentes ou divergentes do acamamento, definindo altos (domos) e baixos (depressões) estruturais. As formas de assimetria são identificadas a partir dos elementos de drenagem e de relevo. Os canais de drenagem tendem a se estabelecer de acordo com a disposição do acamamento das camadas inclinadas. Assim, os canais mais alongados, subparalelos uns aos outros e de baixa angularidade, em geral tem seus cursos concordantes ao sentido das camadas (rios consequentes), enquanto os canais mais curtos e com ângulos abertos tem seus cursos perpendiculares ao sentido das camadas (rios obsequentes).

- Lineamento estrutural – é uma feição linear mapeável, simples ou composta, contínua ou descontínua, da superfície terrestre (portanto natural), cujas partes estão alinhadas em um arranjo retilíneo ou suavemente curvo e que difere distintamente dos padrões e feições que lhes são adjacentes e, presumivelmente, reflete um fenômeno de subsuperfície (O'LEARY, 1976). Os lineamentos estruturais são interpretados como discontinuidades da crosta que podem representar discordâncias estratigráficas e ou estruturais e geralmente representam os grandes falhamentos da área.

- Traço de Junta – juntas são como planos ou superfícies de fraturas que dividem as rochas e ao longo dos quais não ocorreu deslocamento das paredes rochosas paralelamente aos planos de fratura, ou se o deslocamento ocorreu esse foi mínimo e não visível (LOCZY & LADEIRA, 1980).

- Morfoestrutura - termo que define uma estrutura presumida, identificada a partir da análise e interpretação de informações de drenagem e relevo. As morfoestruturas são caracterizadas como altos (domos) ou baixos (depressões) estruturais (Figura 3).

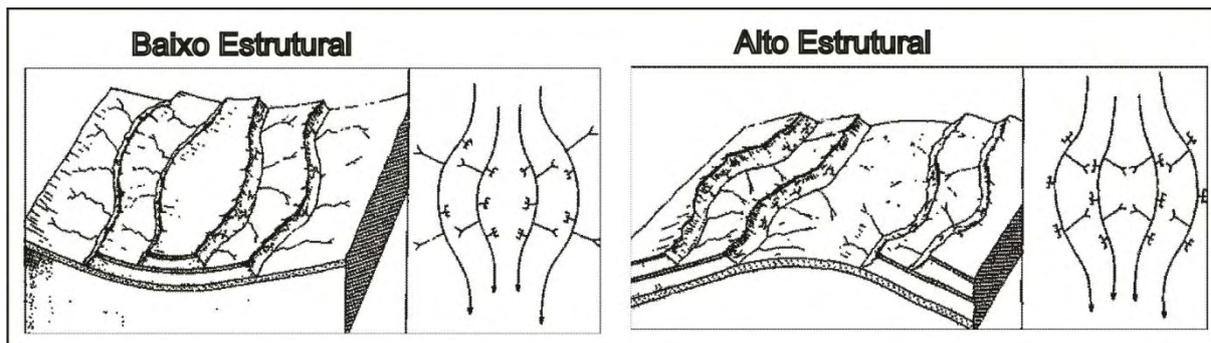


Figura 3: Modelo de altos e baixos estruturais, modificado de Soares *et al.* (1981).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Materiais e Aquisição de Dados

Após a definição da temática da pesquisa, os objetivos e métodos a serem utilizados, foi realizado o levantamento bibliográfico e cartográfico sobre os aspectos e características da área de estudo, como geologia (litologia e estruturas geológicas), geomorfologia, topografia, hidrografia, cobertura pedológica, clima, vegetação e uso da terra e foram adquiridos produtos de sensoriamento remoto, como imagens orbitais e fotografias aéreas.

Os dados coletados foram tratados para compor um banco de dados georreferenciado, em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizando o *software* ArcGis 9.2. O banco de dados é composto por mapas básicos (cartas topográficas) e temáticos (geologia, geomorfologia, solos, uso da terra, entre outros) compilados de estudos anteriores e produtos de sensoriamento remoto (fotografias aéreas e imagem Landsat-7 ETM+).

Segue abaixo os produtos que constituem o banco de dados:

- Folhas topográficas vetorizadas nas escalas de 1:50.000 – Folhas Rio Claro, Piracicaba, Leme, Araras, Corumbataí, Itirapina e São Carlos, produzidas pelo IBGE;

- Folhas topográficas em formato raster na escala de 1:10.000 - contabilizando 35 folhas que recobrem todo o município de Rio Claro, produzidas pelo IGC-SP.
- Mapas Geológicos vetorizados: Sousa (2002), Melo (1995) e Perrota *et al.* (2005);
- Mapa Geomorfológico vetorizado: Ross & Moroz (1997);
- Mapas Pedológicos: vetorizado Oliveira (1999) e formato raster Oliveira & Prado (1984);
- Mapa de Coberturas de Alteração Intempérica em formato raster: Volkmer (1993);
- Fotografias aéreas verticais em formato raster (76 fotos, sendo 38 pares para interpretação): Levantamento aerofotogramétrico do Estado de São Paulo, 1972. IBC-GERCA – escala nominal aproximada de 1:25.000;
- Imagem do satélite orbital ETM+/LANDSAT-7, órbita 220, ponto 75, data 23/03/2001, em formato digital, obtida via Internet no site <ftp://ftp.glcfc.umiacs.umd.edu/glcfc/landsat/wrs2>;

### **3.2. Procedimentos e Técnicas**

O desenvolvimento da pesquisa foi baseado na aplicação de técnicas de geoprocessamento e de interpretação de produtos de sensoriamento remoto (fotointerpretação) que serão descritos a seguir.

#### **3.2.1. Análise Geomorfométrica**

A obtenção dos dados geomorfométricos teve início com a construção do banco de dados georreferenciado em ambiente SIG, onde a vetorização e edição das curvas de nível, pontos cotados e rede drenagem, contidos nas cartas topográficas, escala 1:50.000, formaram base dos dados que posteriormente foram interpolados para a geração do modelo digital de elevação (MDE).

O MDE é representado por dados altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, como uma imagem com um valor de elevação em cada pixel. Os registros altimétricos devem ser valores de altitude do relevo, idealmente, para que o MDE seja uma representação da topografia (VALERIANO, 2008).

Para a geração no MDE optou-se pelo módulo *Topo to Raster* do software ArcGis 9.2, pois esse foi projetado para criar um modelo topográfico digital voltado

para a hidrologia, utilizando uma técnica de interpolação por diferenças finitas, em que combina a eficiência de uma interpolação local (ex: Inverso do Quadrado da Distância), com métodos de interpolação global que utilizam uma superfície de continuidade (ex: interpolador Kriging) (MCCOY & JOHNSTON, 2002). Os arquivos de saída são no formato *raster* e as dimensões das células unitárias estabelecidas para o MDE foram de 10m por 10m.

Assim, a partir de derivações do MDE puderam ser obtidas variáveis geomorfométricas de interesse para a caracterização do terreno. Além da variável altimetria, considerada por Valeriano (2008) como uma derivação de ordem zero, foram obtidas as variáveis declividade (derivação de 1ª ordem) e curvatura do terreno (derivação de 2ª ordem).

Tais variáveis foram classificadas de maneira qualitativa, o que possibilitou a geração de cartas temáticas de hipsometria, classes de declividade e curvatura de terreno.

#### 3.2.1.1. Hipsometria

Para a elaboração da carta de classes hipsométricas optou-se por utilizar uma barra de cores que garantisse uma alta variabilidade de cores, para que pequenas variações de altitude fossem representadas. Para uma melhor representação das formas de relevo também foi utilizado um modelo de relevo sombreado (*hillshade*), que possibilita controlar a posição da iluminação em função da geometria do relevo e o exagero vertical, favorecendo a percepção de feições muito sutis, como a rugosidade, rupturas, cristas, entre outros.

#### 3.2.1.2. Declividade

Segundo Valeriano (2008) a declividade é definida como o ângulo de inclinação (zenital) da superfície do terreno em relação à horizontal. Em mapas topográficos, é estimada pela distância entre as curvas de nível, já em MDE, sua estimativa se baseia no cálculo das mudanças de elevação entre pixels vizinhos. São dados essencialmente quantitativos, que podem ser expressos em graus (variam de 0° a 90°) ou, como é mais comum, em porcentagem (varia de zero a infinito). Para o seu cálculo foi utilizado o módulo *Slope* do *software* ArcGis 9.2.

Os dados de declividade sempre apresentam grande variabilidade espacial, oferecendo informações locais que podem variar em questão de poucos metros. Tal particularidade desses dados em muito dificulta a análise na sua forma original, principalmente quando aplicado a grandes áreas. Desta forma, a maneira mais usual de análise é a partir de classes de declividade, que procura agrupar valores de declividades com o objetivo de melhorar a representação regional em detrimento das variações locais.

Diversos autores propuseram sistemas para a classificação da declividade (Quadro 2), que variam de acordo com a necessidade de sua aplicação. Para a representação das classes de declividade optou-se pelo sistema da Embrapa (2006) por considerarmos que esse representa as variações de inclinação do terreno de forma adequada, sem sobrecarregar com relação à informação temática. Além do fato de ser uma classificação utilizada tanto em pesquisas geomorfológicas como no mapeamento dos solos.

Quadro 2: Sistemas para a definição de classes de declividade, desenvolvidos para diferentes aplicações.

<b>Lepsch (1991)</b>	<b>De Biasi (1992)</b>	<b>Ross (1990)</b>	<b>Embrapa (2006)</b>
Classe	Limites	Dissecação	Relevo
A 0 a 2 %	Urbano-Industrial 0 a 5 %	Muito Fraca 0 a 5 %	Plano a quase plano 0 a 3 %
B 2 a 5 %			Suave ondulado 3 a 8 %
C 5 a 10 %	Agricultura (mecanização) 5 a 12 %	Fraca 5 a 10 %	Ondulado 8 a 20 %
D 10 a 15 %		Média 10 a 20 %	
E 15 a 45 %	Urbano 12 a 30 %	Forte 20 a 30 %	Forte ondulado 20 a 45 %
	Uso restrito 30 a 47 %		
F 45 a 70 %	Preservação > 47 %	Muito Forte > 30 %	Montanhoso 45 a 75 %
G > 70 %			Escarpado > 75 %

### 3.2.1.3. Curvatura do Terreno

A variável curvatura do terreno foi obtida a partir do módulo *Curvature* do software ArcGis 9.2. A curvatura do terreno é uma medida da curvatura global de uma célula e

é a segunda derivada da superfície, ou a forma da encosta. Os valores negativos representam concavidades, os valores positivos representam convexidades e o valor zero às áreas planas (Figura 4).

Os intervalos para a representação das áreas planas estão entre  $-0,01^\circ/\text{m}$  e  $+0,03^\circ/\text{m}$ , para as concavidades os valores são inferiores a  $-0,01^\circ/\text{m}$  e para as convexidades os valores são superiores a  $+0,03^\circ/\text{m}$ .

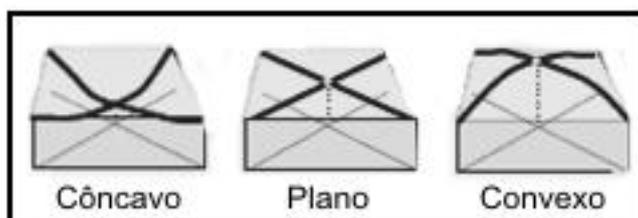


Figura 4: Classes de curvatura do terreno.

### 3.2.2. Fotointerpretação

O principal produto de sensoriamento remoto utilizado foram as fotografias aéreas verticais do levantamento aerofotogramétrico do Estado de São Paulo de 1972, originalmente em formato analógico, em escala nominal aproximada de 1:25.000. Essas fotografias aéreas formam a base para a etapa de fotointerpretação (análise morfoestrutural e a análise fisiográfica).

A opção por trabalhar com fotografias aérea está diretamente relacionada com a escala que se pretende obter os produtos finais (1:50.000) e a possibilidade da visão estereoscópica do terreno, o que auxilia na identificação e delimitação das unidades fisiográficas.

A fotointerpretação foi realizada sobre 38 pares de fotografias aéreas na escala de 1:25.000 (76 fotografias no total), utilizando um estereoscópio de espelho ou reflexão (Tokyo Optical Co. Ltd., Tokyo, Japan) e lápis dermatográficos, aplicados diretamente sobre as fotografias para o delineamento dos elementos de drenagem e relevo.

Anteriormente a etapa de fotointerpretação propriamente dita foi realizada a montagem dos conjuntos de fotografias para ter-se uma visualização geral da área de estudo, sendo em seguida traçado a linha de vôo, o decalque dos pontos centrais (centros geométricos), transferência dos centros para as fotografias vizinhas e a delimitação da área útil, conforme orientação de Ricci & Petri (1965).

Após a etapa de fotointerpretação as fotografias aéreas foram digitalizadas com o auxílio de um scanner de mesa convencional (tamanho A4) e ajustadas ou “georreferenciadas” de acordo com as folhas topográficas em escala de 1:10.000, compondo o banco de dados georreferenciado. A base cartográfica utilizada para o georreferenciamento das cartas, mapas, imagens e fotografias aéreas foram cartas topográficas na escala de 1:10.000, elaboradas pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC-SP) e cedidas pelo Departamento de Geologia Aplicada (UNESP - Rio Claro).

Em alguns momentos foram utilizadas imagens Landsat-7 ETM+ para a averiguação das interpretações realizadas nas fotografias aéreas. Essas imagens foram tratadas no *software* SPRING 5.0, onde foi aplicada a técnica de processamento digital de imagem denominada *stretch* (ampliação de contraste).

#### 3.2.2.1. Análise Morfoestrutural

A análise morfoestrutural está baseada no princípio de que o relevo e a drenagem tendem a desenvolver padrões específicos, em função de fatores litológicos e estruturais (SOARES *et al.*, 1982). O desenvolvimento desses padrões específicos de relevo e drenagem pressupõe reflexo de estruturas geológicas profundas e tais reflexos são passivos de identificação através de produtos de sensoriamento remoto. Portanto, a sistemática parte da interpretação dos elementos de drenagem e relevo e suas relações espaciais, onde as morfoestruturas (altos e baixos estruturais) surgem como formas anômalas dentro da tendência regional, representando deformações nos maciços rochosos.

Jiménez-Rueda *et al.* (1993) e Ohara *et al.* (2003) aplicaram a análise morfoestrutural na perspectiva dos levantamentos do meio físico e zoneamento geoambiental, demonstrando a importância dos aspectos morfoestruturais na identificação e caracterização das estruturas em subsuperfície para, assim, compreender a dinâmica dos processos subsuperficiais e superficiais que condicionam a evolução e a dinâmica das paisagens.

A aplicação da sistemática na área do município de Rio Claro se deu em três etapas operacionais: i) extração da rede de drenagem; ii) análise da rede de drenagem; iii) interpretação morfoestrutural.

Extração da rede de drenagem: a rede de drenagem foi obtida a partir da análise das fotografias aéreas, escala 1:25.000, procurando sempre representar os canais de drenagem da maneira mais fiel possível, respeitando sua geometria e arranjo espacial.

Análise da rede de drenagem: é a identificação dos padrões anômalos da rede de drenagem com características distintas do padrão geral, que podem evidenciar a ocorrência de controle estrutural. Portanto, para a análise das anomalias da rede de drenagem foram identificadas formas anelares, radiais e assimetrias de drenagem, sendo também determinada a intensidade de estruturação dessas formas anômalas (Figura 5).

Conjuntamente à análise das formas anômalas de drenagem, foram identificados e cartografados os alinhamentos de drenagem e de relevo e os traços de juntas.

Os alinhamentos foram obtidos a partir de feições de drenagem e relevo devidamente alinhados. Tais alinhamentos quando possuem um significado geológico são denominados lineamentos estruturais.

Os traços de junta foram extraídos a partir do reconhecimento de feições lineares de drenagem, geralmente de 1ª ordem e por vez elementos de drenagem de outras ordens, com comprimento de até 500 m, constituindo feições fortemente estruturadas unidirecionalmente.

A cartografia dessas feições lineares foi realizada em planos de informação individualizados, possibilitando posteriormente o emprego de técnicas de análise espacial para a determinação de suas densidades e direções preferenciais.

As direções preferências foram obtidas mediante a análise de diagramas de rosetas gerados pelo *software* SPRING 5.0.

A análise das densidades de lineamentos estruturais, traços de juntas e drenagem foi obtida com o auxílio do estimador de densidade por *Kernel*, no *software* ArcGis 9.0. O estimador por *Kernel* opera de forma que cada ponto ou linha corresponde apenas à ocorrência do evento, estimando a intensidade ou o número de eventos por unidade de área (MCCOY & JOHNSTON, 2002).

A modelagem da densidade foi realizada a partir do estabelecimento do raio de 2 km para a unidade de área e células de saída de 50 m por 50 m (unidade de representação no mapa). Posteriormente, as densidades foram fatiadas (agrupadas)

em classes temáticas qualitativas (Muito Baixa, Baixa, Média e Alta). O estabelecimento dessas classes se deu pela análise visual dos histogramas e comparação das classes obtidas pelo fatiamento e os mapas originais das feições, verificando visualmente qual mais se adequava ao nosso propósito.

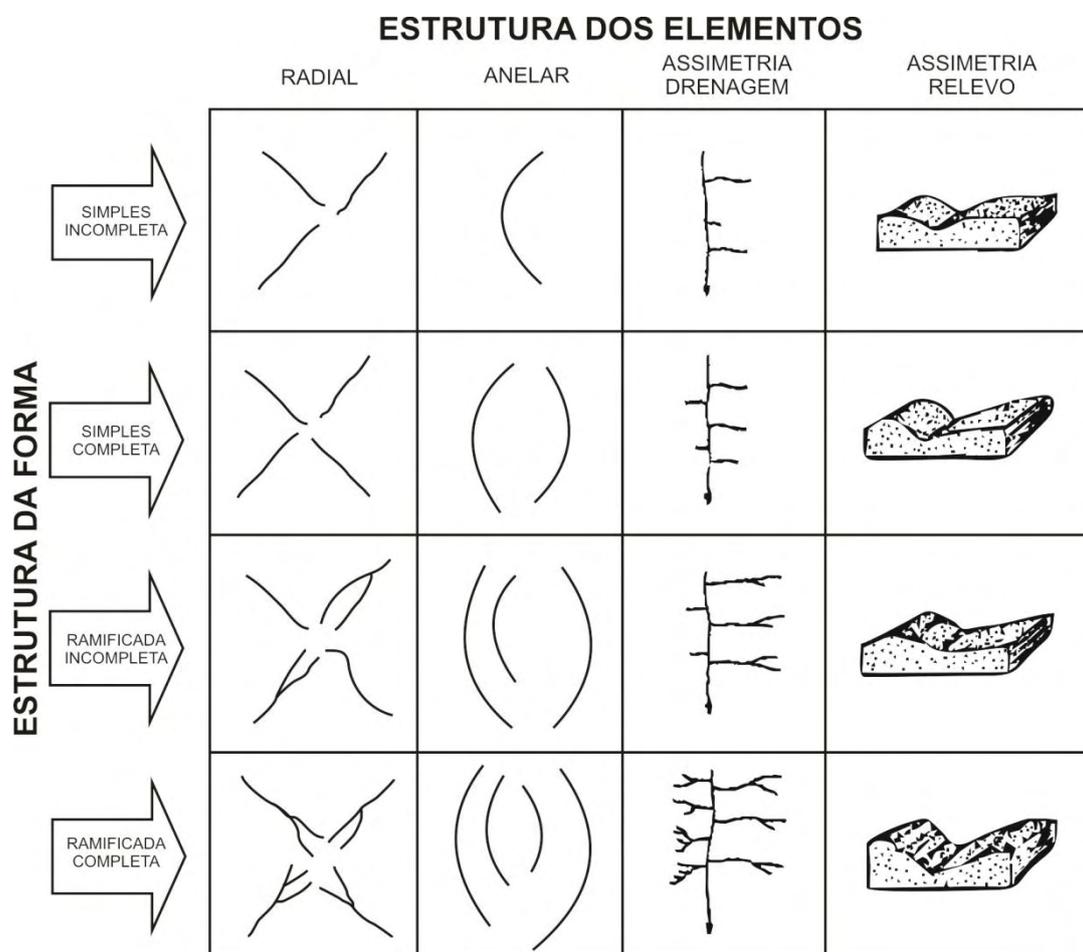


Figura 5: Classificação das formas anômalas, modificado de Soares *et al.* (1981).

Interpretação morfoestrutural: a interpretação das formas anômalas de drenagem, lineamentos e traços de juntas deve seguir o “princípio de convergência de evidências”, segundo o qual, muitos itens separados de dados geológicos, todos indicando a presença de uma mesma estrutura, dão à interpretação dessa estrutura uma alta ordem de confiança (ALLUM, 1966). As anelares e radiais devem receber uma atenção especial, pois são as formas anômalas mais confiáveis para a identificação das morfoestruturas e qual é a intensidade das mesmas. Porém, essas devem ser analisadas em conjunto com as assimetrias, que permitirão identificar qual o sentido do mergulho das camadas/acamamento, auxiliando na identificação do tipo

de morfoestrutura, alto ou baixo estrutural. Além da identificação dos altos e baixos estruturais, podem ser traçadas linhas de contorno estrutural não cotado, que possibilitam compreender o mergulho geral das camadas/acamamento e reconstruir a paleotopografia regional.

A interpretação dos lineamentos e traços de juntas procura auxiliar na identificação de descontinuidades estruturais que interferem na distribuição espacial das morfoestruturas, podendo interromper ou orientar as feições. Outra possibilidade é a interpretação da densidade dessas feições, que permite compreender a distribuição espacial do padrão de fraturamento regional e, conseqüentemente, o grau de ruptibilidade e permeabilidade dos maciços rochosos.

### 3.2.2.2. Análise Fisiográfica

Para a identificação e cartografia das unidades que compõem as paisagem do município de Rio Clato foi utilizado o método da análise fisiográfica como preconizado por Goosen (1971) e Mulders (1987).

Como procedimento operacional foram adotadas quatro etapas de trabalho e cada uma dessas etapas apresentou uma ou mais fases. As etapas e fases serão descritas seguir:

#### Fotointerpretação preliminar:

- Detecção, reconhecimento e identificação dos aspectos (ex: cor/tonalidade e rugosidade) e elementos [ex: rede de drenagem (padrão, densidade e angulosidade) e relevo (erosão, declividade, forma e amplitude)] presentes nas fotografias aéreas;
- Delimitação das unidades de terreno (polígonos) a partir da análise da combinação dos aspectos e elementos que apresentam uniformidade fisionômica em dada área específica;
- Dedução do significado fisiográfico de cada unidade de terreno, que nesse momento passa a ser denominada unidade fisiográfica;
- Classificação das unidades fisiográficas e elaboração da legenda fisiográfica. As unidades foram classificadas em seis níveis hierárquicos (Província Fisiográfica, Unidade Climática, Grande Paisagem, Paisagem Fisiográfica, Subpaisagem, Elemento da Paisagem), seguindo as recomendações do

Sistema CIAF de Classificação Fisiográfica do Terreno (VILLOTA, 1992). Para a representação das unidades fisiográficas foram utilizadas letras e números arábicos. Para a classificação do nível hierárquico das Paisagens Fisiográficas foi utilizada a classificação geomorfológica proposta por Verstappen (1983), assim como o padrão de cores utilizados a representação cartográfica dessas unidades.

#### Observações de campo:

- Checar os limites e propriedades das unidades fisiográficas obtidos na etapa de fotointerpretação;
- Coletar dados referentes as propriedades do relevo, da geologia, das coberturas superficiais e dos solos. Os pontos de observação de campo encontram-se representados no Anexo 1.

#### Fotointerpretação final:

- Após as observações de campo procedeu-se para a adequação dos limites, propriedades e complementação na caracterização das unidades fisiográficas.
- Extrapolação dos dados, pois nem todas as unidades fisiográficas puderam ser visitadas. A extrapolação dos dados (propriedades) se deu a partir dos critérios de ordem e simetria, comumente utilizados em fotointerpretação. A extrapolação por ordem pressupõe que unidades com as mesmas propriedades fotointerpretativas, provavelmente possuem as mesmas propriedades de campo, sendo então pertencentes a mesma categoria. A extrapolação por simetria parte do pressuposto de que duas ou mais unidades vizinhas e com propriedades iguais devem ser aglutinadas, formando uma única unidade.

#### Cartografia:

- Os dados obtidos em formato analógico nas etapas de fotointerpretação e verificação de campo, foram digitalizados em *scanner* A4 convencional, ajustadas e vetorizadas em ambiente SIG. O produto final é apresentado no Anexo 2, denominado de Mapa Fisiográfico do Município de Rio Claro – SP.

## 4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A partir da caracterização dos componentes do meio físico que compõem a área de estudo, foi possível compreender suas relações, interações e influência na evolução e dinâmica da paisagem atual e passada.

### 4.1. Geologia

A área de estudo está localizada na porção nordeste da Província Paraná (SILVA *et al.*, 2003), não apresentando todas as rochas que constituem as supersequências sedimentares e magmáticas que compõem esta unidade geotectônica. A distribuição espacial das unidades litoestratigráficas que ocorrem na área do município de Rio Claro estão esquematicamente representadas pelas Figuras 6 e 7. O Quadro 3 resume a composição das unidades litoestratigráficas e a disposição cronológica.

Segundo Sousa (2002), na área do município de Rio Claro, a base da Bacia do Paraná esta representada pela supersequência Gondwana I (Carbonífera-Eotriássica), constituída por rochas do Grupo Itararé, Formação Tatuí, Irati e Corumbataí, que foram depositadas diretamente sobre o embasamento Pré-cambriano sob contato erosivo.

Sobrepostas a esta sequência têm-se a supersequência Gondwana II (Triássico Médio e Superior), representada pela Formação Pirambóia, marcando o fechamento da Bacia do Paraná. Seccionando tais sequências sedimentares encontramos rochas

intrusivas básicas derivadas dos derrames ocorridos durante o Jurássico-Triássico que caracterizam a Formação Serra Geral. Estas seqüências sedimentares/magmáticas estão localmente encobertas por rochas/sedimentos Neocenozóicos (Formação Rio Claro e coberturas indiferenciadas).

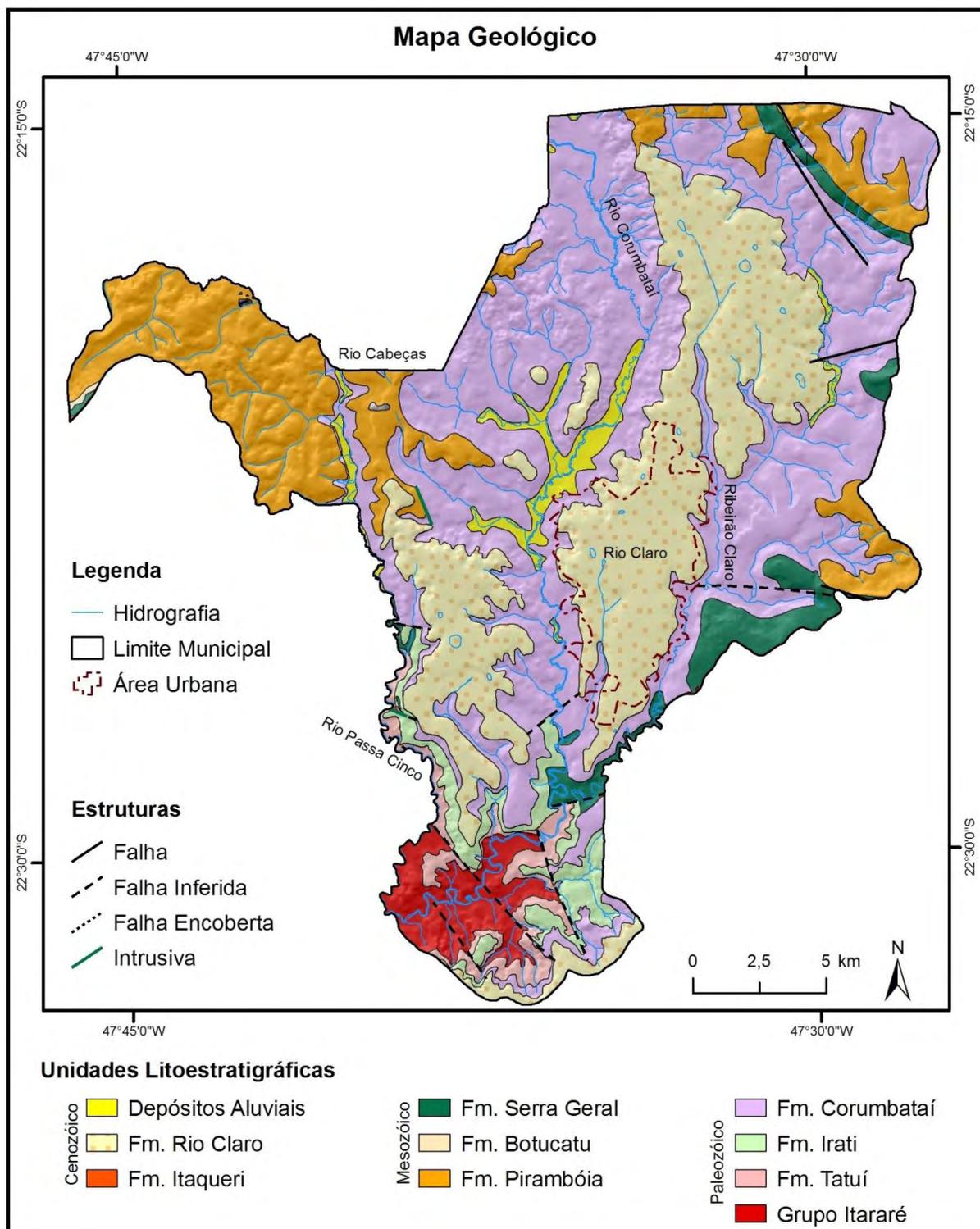


Figura 6: Mapa Geológico do município de Rio Claro (SP) (SOUSA, 2002).

Quadro 3: Síntese das unidades litoestratigráficas do município de Rio Claro - SP. (CEAPLA, 2010).

<b>Período</b>	<b>Formação Geológica</b>	<b>Litologias</b>
Cenozóico	Fm. Rio Claro	Arenitos, arenitos conglomeráticos, arenitos argilosos e pequenas intercalações argilosas.
	Coberturas Indiferenciadas correlatas à Fm. Rio Claro	Arenitos finos a médios, argilosos com níveis subordinados de argilitos e arenitos conglomeráticos.
<i>Grupo São Bento</i>		
Mesozóico	Fm. Serra Geral	Rochas vulcânicas básicas em derrames basálticos de coloração cinza a negra, textura afanítica com intercalações de arenitos intertrapeanos, finos a médios, de estratificação cruzada.
	Fm. Botucatu	Arenitos eólicos avermelhados de granulação fina a média com estratificações cruzadas de médio a grande porte.
	Fm. Pirambóia	Arenitos finos a médio, avermelhados, sítico-argilosos, de estratificação cruzada ou plano paralela, níveis de folhelhos e arenitos de cores variadas.
<i>Grupo Passa Dois</i>		
Paleozóico	Fm. Corumbataí	Argilitos, folhelhos e siltitos com intercalações de bancos carbonáticos, sílexíticos e camadas de arenitos finos.
	Fm. Irati	Siltos, argilitos e folhelhos silticos, folhelhos pirobetuminosos, localmente em alternância rítmica com calcários, silicificados, e restritos níveis conglomeráticos.
<i>Supergrupo Tubarão</i>		
Paleozóico	Fm. Tatuí	Siltitos, arenitos finos em parte concrecionados, calcários e sílex.
	Grupo Itararé	Arenitos de granulação variada, imaturos, passando a arcóscicos, conglomerados, diamictitos, tilitos, siltitos, folhelhos ritmitos, raras camadas de carvão.

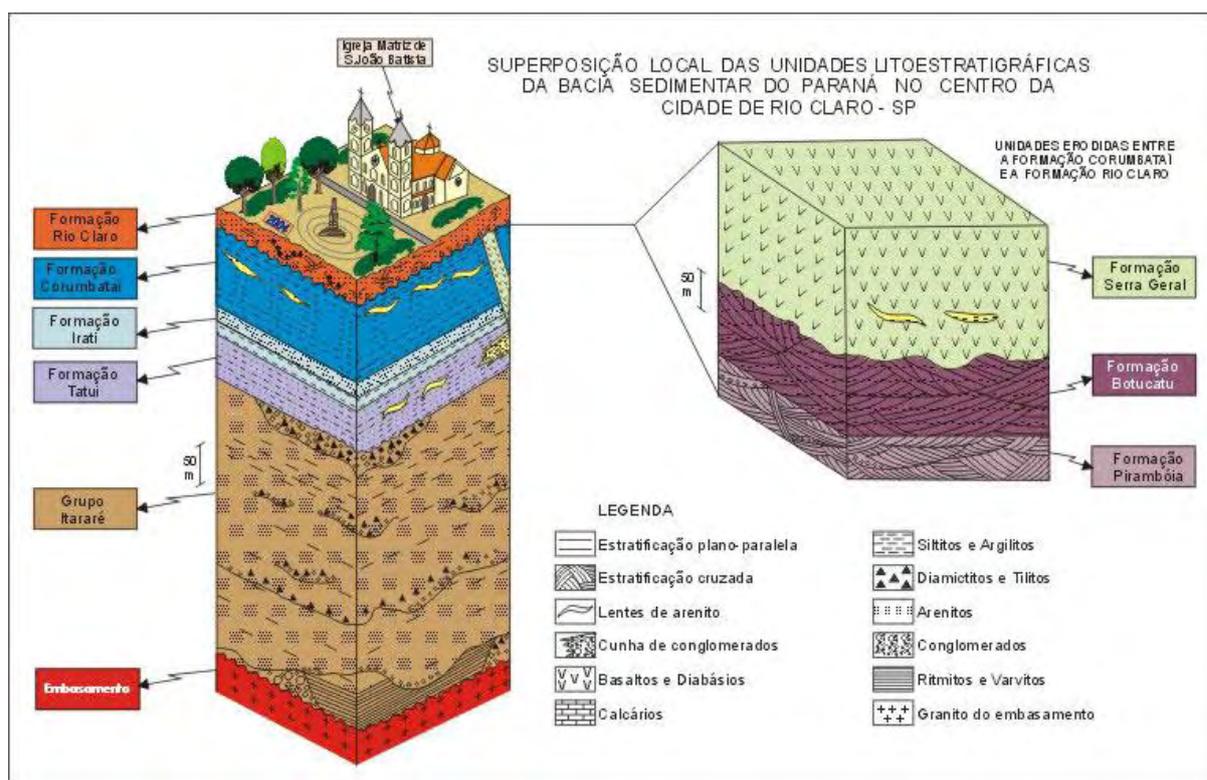


Figura 7: Estratigrafia local da Bacia do Paraná na cidade de Rio Claro - SP, de acordo com Perinotto & Zaine (1996, apud CEAPLA, 2010).

#### 4.1.1. Grupo Itararé Indiviso

O termo Itararé foi utilizado pela primeira vez por Oliveira (1916) ao descrever a sequência sedimentar com localidade tipo na bacia do Rio Itararé, estado de Santa Catarina (BAPTISTA *et. al.*, 1984). Esta unidade foi originalmente definida como “série” e frequentemente referida como “subgrupo” e, atualmente, está consolidada como Grupo Itararé (PERROTA *et al.*, 2005).

Esta unidade corresponde à porção basal transgressiva da supersequência Gondwana I, constituída pelos depósitos originados em um ambiente com forte influência glacial, predominando pacotes diamictíticos intercalados a espessas seções de arenitos, correspondentes às Formações Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba (MILANI, 1997).

Segundo Wu (1989) tais arenitos, no sul do estado de São Paulo, são em geral friáveis, com cores acinzentadas e avermelhadas e derivam de rochas do embasamento cristalino e de poucas rochas sedimentares pré-existentes. Na área de estudo, estes depósitos ocorrem na porção sul e são representados por diamictitos maciços que apresentam granulometria variada, desde grânulos, a seixos e calhaus,

dispersos em matriz arenosa-argilosa, e ainda arenitos estratificados, ritmitos, argilitos e siltitos (SOUSA, 2002).

Em geral, os arenitos do Grupo Itararé são feldspáticos ou mesmo arcossianos, exibem diversas estruturas sedimentares como marcas ondulares, marcas de sola, estratificação cruzada e gradacional, entre outras (SOARES & LANDIM, 1973). Há ocorrência de siltitos intercalados com arenitos, indicando que as condições de deposição não foram constantemente rítmicas (SOARES & LANDIM, 1973).

A idade sugerida é permiana, abrangendo o Artinskiano Superior e o Kunguriano (DAEMON & QUADROS, 1970).

Os principais minerais leves presentes no Itararé, estudados no sul do estado de São Paulo, são quartzo, feldspato e fragmentos de rochas. A matriz é predominantemente caulínica e micácea (muscovita e biotitas finas). Os minerais pesados encontrados são: zircão, turmalina, rutilo, granada, apatita, estauroлита, monazita, muscovita, cianita, epidoto, biotita, silimanita, magnetita e ilmenita, leucoxênio e limonita (WU, 1989).

Nas bordas norte e nordeste da Bacia do Paraná, porção nordeste do estado de São Paulo e nos estados do Mato Grosso do Sul e Goiás, ocorre uma variação lateral na composição do Grupo Itararé, apresentando depósitos constituídos por materiais vermelhos arroxeados, essencialmente arenosos, que provavelmente representam antigos leques aluviais, denominado Formação Aquidauana.

#### **4.1.2. Formação Tatuí**

A Formação Tatuí foi originalmente descrita pela Comissão Geográfica e Geológica de São Paulo (1917, *apud* BAPTISTA *et al.*, 1984) e sua localidade-tipo encontra-se na região de Tatuí, no estado de São Paulo.

Na área de estudo essa formação aflora na confluência dos rios Passa-Cinco e Cabeça e no vale do rio Corumbataí, sendo constituída por siltitos, argilitos, arenitos e níveis de silexitos (SOUSA, 2002). A espessura varia pouco em toda parte paulista da Bacia do Paraná, nunca ultrapassando 100 m, o que reflete condições muito homogêneas e uniformes de subsidência. No flanco nordeste da bacia sua espessura está reduzida, inferior a 30 m (SOARES & LANDIM, 1973). O principal recurso mineral associado a esta unidade é a argila para cerâmicas.

Soares (1972) identificou quatro episódios de descontinuidades no Tatuí: a base, o topo e dois intermediários. A desconformidade basal, que denominou L1, foi

considerada a superfície erosiva mais expressiva, separando o ciclo glacial (Grupo Itararé) do pós-glacial (Formação Tatuí). A descontinuidade L2 foi a base para a subdivisão da Formação Tatuí em dois membros, sendo que o superior apresenta uma descontinuidade interna L3 e a descontinuidade superior L4, que separa a Formação Tatuí da Formação Irati. Assine *et al.* (2003) sugeriram que a área-fonte de tal unidade ficava ao norte, na época da deposição da Formação Tatuí.

Fulfaro *et al.* (1984) mostraram, a partir de uma seção estratigráfica ao sul da cidade de Piracicaba, que a parte inferior da Formação Tatuí caracteriza-se por siltitos e arenitos verde-avermelhados, com estratificação plano-paralela, associados a calcários cinzas e lenticulares. Já sua porção superior apresenta arenitos finos avermelhados com estratificações cruzadas, que grada para arenitos cinza-esverdeados e amarelados de granulação média, em contato com siltitos argilosos. Portanto, parece ter ocorrido evolução de condições continentais (discordância pré-Tatuí) para supra-maré (Tatuí inferior), e intermaré (Tatuí superior) (SOARES & LANDIM, 1973).

Segundo dados palinológicos e correlações com as Formações Palermo e Rio Bonito, Daemon & Quadros (1970) posicionam as rochas desta formação no limite Kunguriano/Kazaniano.

#### **4.1.3. Formação Irati**

Os primeiros estudos sobre esta formação foram realizados por Oliveira (1889) e Collon (1897, *apud* SANTOS NETO, 1993). Oliveira descreveu o Irati, designando-o como “série” Itapetininga cujos sedimentos compõem hoje o Grupo Passa Dois (formações Irati e Corumbataí).

A Formação Irati penetra no Estado de São Paulo a partir do sudoeste, estendendo-se até a região de Leme. Aflora em faixa descontínua, em zonas de falhamentos e intrusões de grandes *sills* de diabásio. Na região de Rio Claro tem suas principais exposições nas bordas do Domo de Pitanga, principalmente junto ao Distrito de Assistência, na parte sul da área.

Barbosa & Gomes (1958) subdividiram esta formação em dois membros: Membro Taquaral (inferior) e Membro Assistência (superior), sendo o contato entre eles concordante, com uma espessura média de cerca de 40 m.

O Membro Taquaral é constituído por argilitos, folhelhos de cor cinza clara a escura e siltitos, aflorando próximo ao lixão de Rio Claro e Agroceres. Na base pode

ocorrer camada delgada de arenito de granulação fina a grossa, seixoso, ou conglomerado com seixos de sílex e quartzos (BARBOSA & GOMES, 1958).

O Membro Assistência, de acordo com Barbosa & Gomes (1958), compreende o intervalo onde são encontrados folhelhos pretos pirobetuminosos e argilitos cinza escuros a pretos, associados a calcários dolomíticos e dolomitos de cores creme a cinza escuros. As litologias carbonáticas aflorantes ou próximas à superfície apresentam-se comumente silicificadas, sendo freqüente, no estado de São Paulo, a formação de nódulos de sílex (SANTOS NETO, 1993).

O ambiente de formação corresponde ao ápice do evento transgressional que afetou a sequência Permo-carbonífera da bacia, sendo admitido ambiente marinho de águas calmas para a porção basal, e marinho de águas rasas para o membro superior (SCHNEIDER *et al.*, 1974).

Estudos palinológicos realizados por Daemon & Quadros (1970) concluíram que a Formação Irati possui idade Neopermiana de 256 +/- 19 M.a., correspondendo aproximadamente ao Kazaniano.

A esta unidade associam-se ocorrências de folhelhos pirobetuminosos, relacionados por Zalán *et al.* (1990) como geradores de óleo e gás. Estas rochas são exploradas no Paraná para a extração de óleo e gás e suas cinzas são utilizadas na fabricação de cerâmicas. No distrito de Assistência (município de Rio Claro-SP) podemos encontrar áreas de exploração de calcário e dolomitos, utilizados na indústria cimenteira e como corretivo de solos. Ocorrências de cobre são encontradas junto a diques e sills básicos da Formação Serra Geral que afetam a Formação Irati (PERROTA *et al.*, 2005).

#### **4.1.4. Formação Corumbataí**

A denominação desta formação foi descrita pela primeira vez em 1916 pela antiga Comissão Geográfica e Geológica, embora alguns autores tenham atribuído a José Bonifácio de Andrada e Silva a introdução desse nome em 1820 (MELLO & SOUZA, 1985).

A Formação Corumbataí tem suas exposições principalmente ao longo do vale do rio Corumbataí, onde está localizada sua área-tipo, e afluentes como o ribeirão Morro Grande, ribeirão Ferraz, ribeirão Jacutinga, ribeirão Claro, rio Passa Cinco e seu afluente ribeirão Cabeça. Sua faixa aflorante em território paulista atinge até a 130 m

de espessura, adelgaçando para norte e não ultrapassando 60 metros nas proximidades de Leme/Pirassununga (LANDIM, 1970).

Daemon & Quadros (1970) e Rohn & Lavina (1993), baseados em estudos de palinomorfos, indicam idade Neopermiana (Kazaniano) para essa seqüência que possui semelhanças com a Formação Rio do Rastro, presente no Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. O contato inferior com a Formação Irati é considerado concordante e o contato superior com as Formações Pirambóia e Rio Claro ocorrem por discordância erosiva (SCHNEIDER *et al.*, 1974). Gama Jr. (1979) propôs o modelo de sedimentação, segundo o qual esta unidade geológica constituiria uma planície de maré relacionada a um sistema deltaico.

Na litologia, de acordo com Almeida & Barbosa (1953), predominam siltitos, argilitos e folhelhos arroxeados, marrom-avermelhados, às vezes esverdeados, intercalados com arenitos finos e leitos carbonáticos. Ocorre também em vários pacotes, camadas e nódulos de sílex de cor castanha ou esbranquiçada, veios delgados de quartzo fibroso e calcita. Além destes, tem-se lâminas de gipsita, sendo as camadas de calcário rasas e delgadas. Esta formação é a mais importante fonte de matéria-prima para a indústria cerâmica regional.

Landim (1967) divide a Formação Corumbataí em duas seqüências. Uma inferior constituída de siltitos cinza escuros a pretos, argilitos e folhelhos cinza escuros a roxos, maciços, com fraturas conchóides e laminação plano-paralela. E a superior apresenta coloração avermelha ou arroxeadada com intercalação de argilitos, siltitos e arenitos finamente estratificados, com leitos carbonáticos e coquinas.

#### **4.1.5. Formação Pirambóia**

O termo Formação Pirambóia foi utilizado pela primeira vez por Pacheco (1927, *apud* SCHNEIDER *et al.*, 1974) para designar os arenitos de origem eólica/fluvial que ocorrem na porção basal do Grupo São Bento, com área-tipo nas imediações de Pirambóia, Estado de São Paulo.

A Formação Pirambóia estende-se de maneira contínua por todo estado de São Paulo, aflorando ao longo de toda Depressão Periférica Paulista (CAETANO-CHANG & WU, 2003). A espessura da unidade chega a 300 m no centro-leste de São Paulo, porém tal espessura é muito variável, decrescendo para 170 m na região de São Carlos (SOARES & LANDIM, 1973).

O contato com as unidades inferiores (Grupo Passa Dois) tem sido considerado discordante pela maioria dos autores (Almeida *et al.*, 1981). Já o contato superior com a formação Botucatu é claramente abrupto (CAETANO-CHANG, 1997).

Soares *et al.* (1973) descreve os materiais constituintes da Formação Pirambóia como predominantemente de granulação média a muito fina, raramente grosseira e muito grosseira, com matriz silto-argilosa, composta predominantemente por grãos de quartzos, o que atesta a maturidade desses sedimentos. Os grãos são subarredondados a angulosos e a esfericidade é regular a boa, apresentam cores amareladas, esbranquiçadas e avermelhadas. A presença de camadas de folhelho ou de siltito e argilito são raras, porém quando presentes apresentam grãos esparsos de areia tendo coloração vermelha escura a marrom avermelhada, com estruturas maciças ou laminadas.

Suas areias quartzosas são fonte de matéria prima industrial e suas camadas de arenitos são parte constituinte do Aquífero Guarani (PERROTA *et al.*, 2005).

A Formação Pirambóia tem sua idade atribuída ao Triássico por suas relações estratigráficas com a Formação Botucatu (Juro-Cretáceo), com a Formação Corumbataí (Permiana Superior) e por correlação com a Formação Rosário do Sul (Triássico Médio a Superior) (SCHNEIDER *et al.*, 1974).

As características ambientais que perduraram durante a deposição são um tanto quanto controversas na literatura, porém, atualmente a idéia que predomina é a de transição de um ambiente marinho raso para um clima desértico, reconhecido por uma associação de depósitos eólicos de dunas, interdunas e lençóis de areia, entremeados por depósitos fluviais originados em ambiente continental aquoso (ASSINE & SOARES, 1995). As condições de deposição foram generalizadamente oxidantes, atribuindo colorações que tendem ao vermelho para a formação (SOARES *et al.*, 1973).

#### **4.1.6. Formação Serra Geral e Intrusivas Básicas Tabulares**

O termo Formação Serra Geral foi utilizada por White (1906, *apud* PERROTA *et al.*, 2005) para designar as exposições de lavas vulcânicas que ocorrem na Serra Geral, com sua área tipo na estrada entre Lauro Müller e São Joaquim, Estado de Santa Catarina.

É resultado de um intenso vulcanismo de fissura, quando as condições ambientais eram desérticas, durante a sedimentação da Formação Botucatu. Suas

rochas consistem de lavas basálticas, toleíticas, de textura afanítica, com coloração de cinza a negra, amigdaloidal no topo dos derrames e com grande desenvolvimento de juntas verticais e horizontais (SOUSA, 2002).

A formação possui espessura de aproximadamente 1500 m junto ao depocentro da bacia, associado a uma extensa rede de diques e múltiplos níveis de soleiras (Intrusivas Básicas).

As soleiras ocorrem intrudidas nos sedimentos paleozóicos, especialmente nas formações Irati e Itararé, com espessuras que variam, normalmente, de 2 a 200 m, tendo sido descritas seções de até 1.000 m (PERROTA *et al.*, 2005). Na área de estudo, tais intrusões afloram nas calhas de alguns rios, formando soleiras de sedimentação, corredeiras, cachoeiras e elementos elevados na paisagem local (por exemplo, na região da Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade – horto florestal).

As idades das rochas vulcânicas, obtidas por meio de datações  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , revelam que o pico de atividade ígnea na Província Paraná ocorreu num curto espaço de tempo, entre 133 e 130 M.a. (Eocretáceo) (NARDY *et al.*, 2008).

#### **4.1.7. Formação Rio Claro**

Provavelmente, o primeiro a fazer referência aos finos depósitos areníticos situados na porção ocidental do compartimento geomorfológico da Depressão Periférica Paulista, arredores da cidade de Rio Claro, foi Moraes Rego (1932). Porém, apenas a partir da década de 60, principalmente nos estudos de Bjornberg *et al.* (1964), Bjornberg (1965), Mezzalira (1965; 1966) e Bjornberg e Landim (1966), que foi dada maior atenção para tais depósitos, na tentativa de conhecer sua distribuição, constituição dos materiais e sua gênese.

A Formação Rio Claro, termo proposto por Bjornberg e Landim (1966), tem área tipo situada no entorno da cidade de Rio Claro, constituindo-se de arenitos mal consolidados e mal classificados de coloração amarela, arenitos conglomeráticos e argilitos avermelhados ou brancos, exibindo litificação em geral incipiente, com espessura máxima de cerca de 30 m. Entretanto, os mesmos autores admitiam que tais depósitos distribuíam-se por uma ampla área, representada pelo nível topográfico entre 600 e 800 m. Já Mezzalira (1966), na carta geológica de São Carlos (escala 1:100.000), representou esses depósitos apenas na área reconhecida como Platô de Rio Claro, nas imediações da cidade homônima. Os limites adotados por Mezzalira

(1966) para a Formação Rio Claro são muito próximos dos admitidos em trabalhos mais recentes, como o de Melo (1995).

Fulfaro & Suguio (1968) apresentam trabalho que divide a Formação Rio Claro em duas sequências: uma basal, com sucessão de estratos arenosos e intercalações de leitos argilosos, interpretada como calha de paleocanal fluvial; e outra de topo, onde dominam argilas, com brechas intraformacionais e lentes arenosas subordinadas, interpretada como depósito de planície de inundação. Os mesmos autores interpretaram que esses depósitos têm sua origem a partir de um sistema fluvial que corresponderia ao paleocanal do rio Corumbataí, barrado a jusante pela reativação e alçamento da estrutura de Pitanga.

Melo (1995) interpreta a sedimentação da Formação Rio Claro como originada por um sistema fluvial meandrante em clima úmido. O mesmo autor subdivide a formação em quatro litofácies distintas: Trcl - com predominância de lamitos de origem gravitacional, formados principalmente em áreas de relevo acidentado, nas cercanias do Planalto Atlântico; Trcc - predominado cascalhos e areais de depósitos associados a canais (fundo de canal, barras de pontal) de sistema fluvial meandrante; Trca – depósito de areia predominantemente fina de rompimento de diques marginais, com delgada intercalação de argila (não representado na área de estudo); Trcm - predomina argilas de planície de inundação de sistema fluvial meandrante. Além destas quatro litofácies principais, também são encontrado depósitos indiferenciados (Trci), podendo incluir lamitos, cascalhos, areias e argilas (MELO, 1995). A distribuição espacial das diferentes fases da Fm. Rio Claro propostas por Melo (1995) pode ser observada na Figura 8, assim como a distribuição dos depósitos quaternários.

No platô de Rio Claro, a Formação Rio Claro aparece sobreposta à Formação Corumbataí de forma discordante, sobre superfície intensamente erodida. Os materiais que recobrem esta unidade são caracterizados como depósitos colúvio-eluviais areno-argilosos (Qce) e depósitos lamíticos de fluxos gravitacionais (Qg), tendo sido estas as únicas relações de contato observadas por Melo (1995).

A idade desta formação ainda é algo controverso e indefinido na bibliografia, sendo a idade próxima do limite Plioceno/Pleistoceno (SOARES & LANDIM, 1976) e Mioceno/Plioceno (MELO, 1995), como as mais aceitas até o momento.

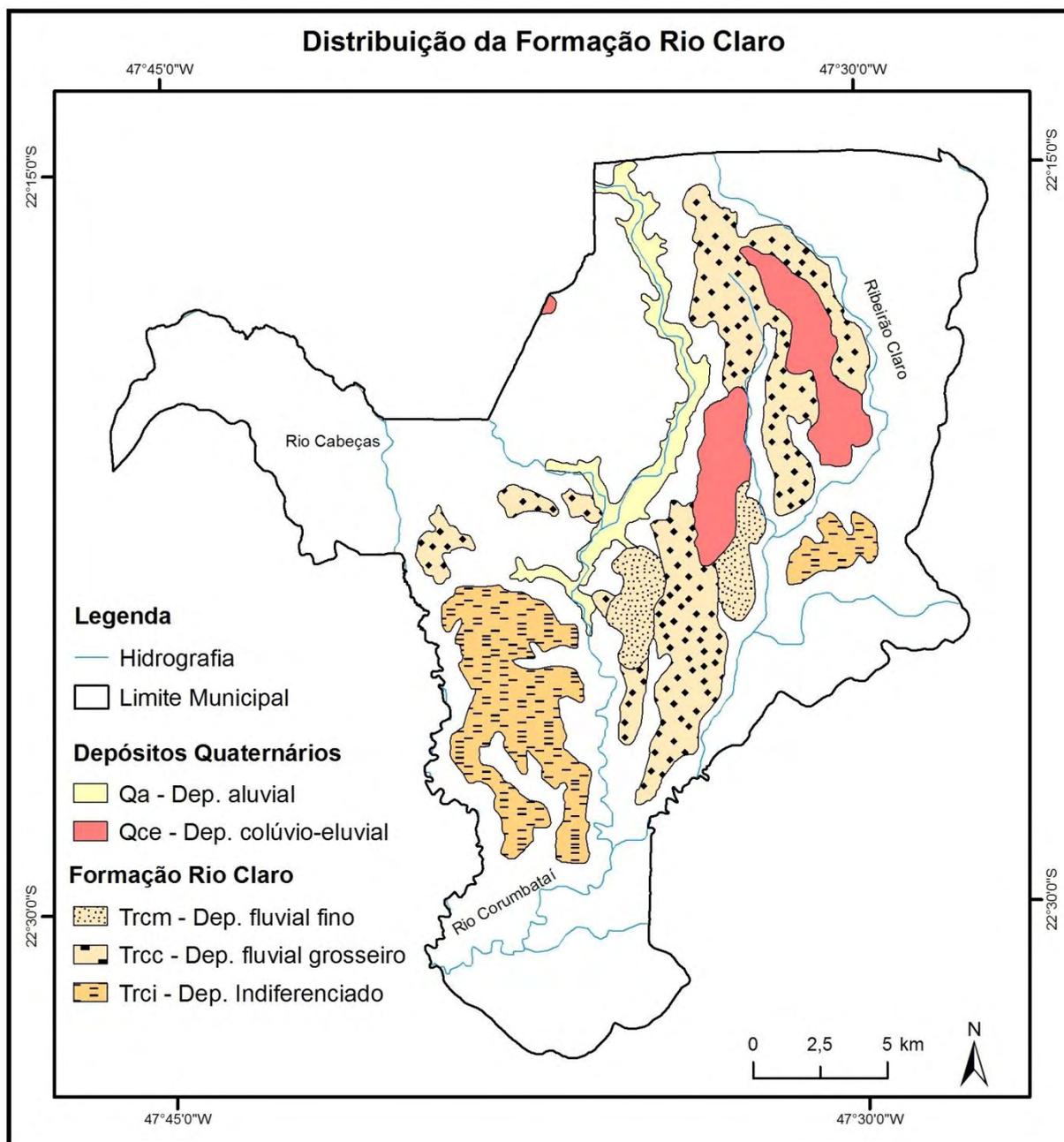


Figura 8: Distribuição dos depósitos da Fm. Rio Claro e depósitos quaternários no município de Rio Claro-SP (MELO, 1995).

#### 4.1.8. Depósitos Quaternários

Na área de estudo os depósitos quaternários são caracterizados pela pequena espessura, rara presença de litificação e estrutura sedimentar, constituído por material detrítico localmente remobilizado (coluviões) ou sedimentos presentes no fundo dos principais vales fluviais (aluviões), geralmente de idade Quaternária.

Na área, as coberturas superficiais que possuem destacada distribuição espacial são os depósitos colúvio-eluvionares, presentes tanto em topos como nas

encostas, capeando as demais unidades litológicas, e os depósitos aluvionares, presentes nas margens dos principais cursos d'água, como o rio Corumbataí e Passa-Cinco (MELO, 1995). Além desses, também podemos citar os depósitos rudáceos de talús e leques aluviais; cascalhos aluviais em terraços; de fundo de voçorocas; colúvio-aluviais em rampas; e lacustres em depressões fechadas.

#### **4.2. Geomorfologia Regional**

Segundo o mapa geomorfológico elaborado por Ross & Moroz (1997) o município de Rio Claro está inserido na borda nordeste da unidade morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná, que engloba terrenos sedimentares desenvolvidos do Devoniano ao Cretáceo (Figura 9).

Entretanto, o modelado, assim como conhecemos nos dias atuais, teve seu desenvolvimento a partir de movimentos epirogênicos, provavelmente iniciados no Mioceno Superior e acelerados no Plioceno, que soergueram de maneira desigual a Superfície Sul-Americana, expondo as delgadas coberturas sedimentares depositadas durante a fase agradacional do ciclo Sul-Americano (Fm. Itaqueri e Gr. Bauru) (SOARES & LANDIM, 1976). Tal evento tectônico favoreceu a retomada de diferentes fases erosivas condicionadas por modificações climáticas (úmido-árido), cuja erosão ataca diretamente as zonas de maior fragilidade tectônica, originando uma série de níveis topográficos, aparentemente aplainados, embutidos na antiga Superfície Sul-Americana (PENTEADO, 1968). Esses processos tectônicos e climáticos são os responsáveis pela gênese da unidade morfoescultural da Depressão Periférica Paulista (ROSS & MOROZ, 1997) e definem em grandes traços o relevo regional.

A unidade denominada Depressão Periférica ocupa áreas altimetricamente inferiores (entre 500 e 650 m) na porção oriental da quadrícula e, no geral, apresenta formas de relevo denudacionais desenvolvidas sobre rochas Paleozóicas, Mesozóicas e sedimentos neogênicos, com o predomínio de colinas de topo amplo, tabulares e convexos, declividades baixas a moderada e densa rede de drenagem, geralmente de padrão dendrítico e condicionada por feições estruturais (fraturas e corpos intrusivos) (ROSS & MOROZ, 1997).

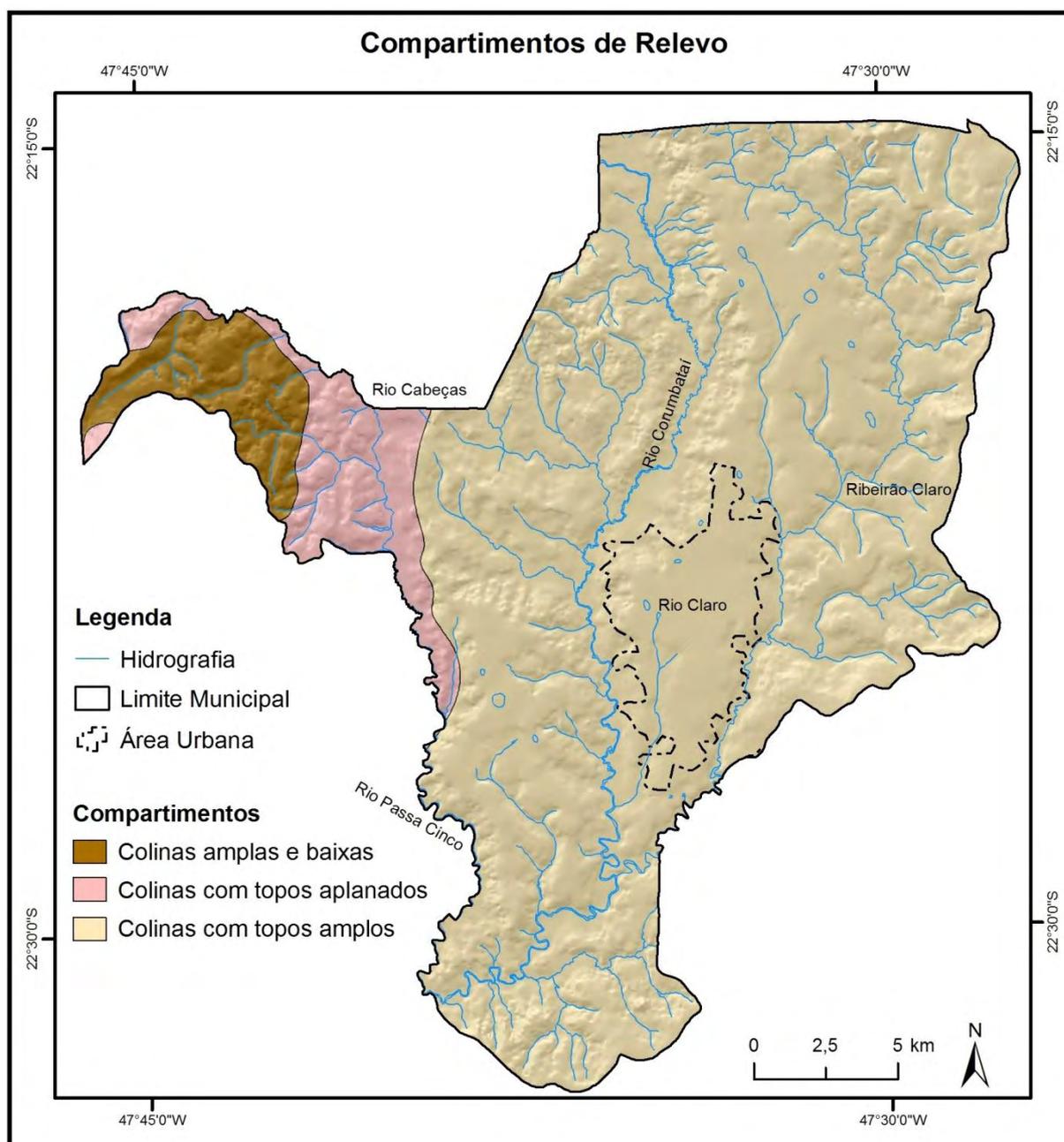


Figura 4: Mapa com os principais tipos de modelados presentes no município de Rio Claro (SP) (ROSS & MOROZ, 1997).

#### 4.2.1. Geomorfologia Local

Como discutido anteriormente, o desenvolvimento da paisagem regional se deu a partir da combinação de eventos tectônicos x climáticos e processos erosivos x sedimentares, que modelaram tanto as grandes linhas, quanto as formas de detalhe do relevo. A ação combinada desses fenômenos naturais está impressa, na paisagem local, em diferentes níveis planálticos associados a delgadas coberturas sedimentares cenozóicas.

Bjornberg & Landim (1966) identificaram três níveis topográficos principais capeados por sedimentos neocenoicos. Penteado (1968), estudando a geomorfologia da região, identificou e definiu com maior detalhe quatro níveis planálticos e algumas subdivisões desses, e coberturas sedimentares associadas. Em linhas gerais, as idéias propostas por Penteado (1968) permanecem até os dias atuais sem sofrer grandes modificações, porém, outros autores contribuíram para uma melhor definição desses níveis planálticos e, principalmente, para a melhor caracterização das coberturas sedimentares, entre os quais podemos destacar os trabalhos de Soares & Landim (1976), Oka-Fiori (1987) e Melo (1995). A seguir será exposta uma breve descrição dos níveis planálticos e depósitos associados, seguindo as denominações empregadas por Penteado (1968).

- Superfície de Cimeira

Este nível planáltico corresponde a mais antiga (pós-Cretáceo) e elevada (950 e 1100 m) superfície de aplainamento regional; encontra-se melhor caracterizado na morfoescultura do Planalto Ocidental (topo das serras de Itaqueri e São Pedro a sudoeste, platô de São Carlos e serra do Cuscuzeiro a noroeste) (PENTEADO, 1968). Na área pode ser observado apenas no topo do Morro da Guarita, extremo oeste do município.

Este nível apresenta forte controle litoestrutural, sendo frequentemente sustentado por rochas básicas da Fm. Serra Geral (MELO, 1995); caracterizado por topografia suave inclinando-se de 2° a 3° para oeste, com frentes de dissecação com relevo muito movimentado; sedimentos aluviais antigos, arenosos, permeáveis, muito espessos, de cor vermelho-escuro (enriquecidos em ferro), remanescente da superfície Sul-Americana (OKA-FIORI, 1987). A partir dessa superfície é que foram esculpidos os níveis planálticos e todas as formas de relevo da Depressão Periférica (SOARES & LANDIM, 1976).

Este nível planáltico corresponde à superfície das Cristas Médias de De Martonne (1943), superfície Sul-Americana de King (1956) e Soares & Landim (1976), superfície do Alto Itaqueri de Oka-Fiori (1987) e ao nível planáltico A de Melo (1995).

- Superfície Intermediária

Este nível planáltico não pode ser observado na área do município de Rio Claro, estando limitado pela serra de São Carlos a norte, a serra de Itaqueri a sul, e a leste

pelas escarpas cuestasiformes da serra de Santana, se estendendo a oeste até a cidade Brotas, sendo localmente denominado de depressão de Campo Alegre (PENTEADO, 1968).

Este nível planáltico corresponde à superfície dos Altos Interflúvios de Soares & Landim (1976), superfície de Campo Alegre de Oka-Fiori (1987) e ao nível planáltico / de Melo (1995).

- Superfícies Interplanálticas

A superfície Interplanáltica é o mais importante nível planáltico representado no município e corresponde ao nivelamento de topo dos interflúvios esculpidos no interior da Depressão Periférica, foi denominada por De Martonne (1943) de superfície Neogênica. Penteado (1968) propõe a subdivisão dessa superfície em dois níveis planálticos, denominados de superfície de Urucáia (690 a 720 m) e a superfície de Rio Claro (600 a 630 m). Tal proposta esta baseada na afirmação de que, apesar de possuírem uma evolução morfogenética similar, essas superfícies possuem idades diferentes, sendo a segunda o desdobramento da primeira.

A superfície Urucáia corresponde ao mais antigo (Plio-Pleistoceno) e elevado nível planáltico da Depressão Periférica, situada 100 m acima das várzeas atuais. A sua elaboração esteve ligada a drenagem antepassada do rio Corumbataí (intensas capturas de drenagem) e, por isso, apresenta inclinação para o interior da bacia (PENTEADO, 1968). Na área de estudo aparece de forma mais notável na porção ocidental, próximo do contato entre Depressão Periférica e as Cuestas, constituindo os principais interflúvios.

Apresenta modelado de topos planos e encostas movimentadas, desenvolvido sobre rochas do arenito Botucatu (não silicificado). Capeando o arenito Botucatu aparecem depósitos coluviais de 5 a 6 m de espessura, provenientes de retrabalhamento dos arenitos Botucatu e Bauru durante a regressão das escarpas das serras circundantes; constituídos de material muito arenoso, sem estruturação, facilmente erodido, com cascalheiras e cangas basais (OKA-FIORI, 1987). Estes depósitos são frequentemente confundidos com solos desenvolvidos diretamente do arenito Botucatu, entretanto estão dispostos de maneira discordante sobre o arenito intemperizado.

A superfície Rio Claro situa-se na média e baixa bacia do rio Corumbataí, correspondendo ao topo dos interflúvios entre 600 e 630 m de altitude. Este nível

planáltico teve seu desenvolvimento semelhante ao da superfície Urucáia (ação erosiva da rede de drenagem), sendo, portanto, o desdobramento daquela superfície em um período geológico mais recente (Quaternário). As marcas dessa evolução ficaram nos paleossolos residuais da Fm. Corumbataí, onde se assentam de maneira discordante os sedimentos modernos da Fm. Rio Claro (PENTEADO, 1968).

O modelado deste nível planáltico é suave a quase plano, com a presença de depressões fechadas e lagoas (interpretadas como meandros abandonados); ocorrem sob forma de altos terraços com depósitos aluviais (Fm. Rio Claro) constituído de areias parcialmente consolidadas e inconsolidadas; espessura máxima de 30 m; estratificação cruzada, acanalada, lentes de argila e às vezes conglomerado basal; assentado sobre Fm. Pirambóia e, principalmente, sobre Fm. Corumbataí, que por vezes pode estar intemperizada (SOARES & LANDIM, 1976; OKA-FIORI, 1987). Sobre esses depósitos é encontrado ainda pacote de até 10 m de solo arenoso, sem estrutura, com lençol de seixos ou crostas limoníticas na base (SOARES & LANDIM, 1976).

Este nível planáltico corresponde à superfície dos Médios Interflúvios de Soares & Landim (1976) e aos níveis planálticos *B* e *Bb* de Melo (1995). Entretanto, Oka-Fiori (1987) manteve as mesmas denominações propostas por Penteado (1968).

- Baixos Níveis

Este nível planáltico corresponde ao topo dos interflúvios abaixo da cota de 590 m, representado por patamares intermediários, terraços e planícies aluviais, originados por diferentes fases de retomadas erosivas em curtos ciclos climáticos, ora úmido ora seco (mudanças climáticas), desde o Quaternário Médio até o presente (PENTEADO, 1968).

Penteado (1967; 1968) define a existência de três patamares que constituem este nível planáltico, são esses:  $T^3$  - colinas niveladas a 580-590 m, capeadas de cascalheiras de elementos grossos (Plio-Pleistoceno);  $T^2$  - patamares nivelados a 555-570 m, fracamente inclinados, retilíneos e ligados a colinas mais elevadas e aos baixos terraços por fortes rupturas de declive. Raramente capeados por cobertura detrítica ou horizonte B de um paleossolo (Pleistoceno-Holoceno, fase mais seca);  $T^1$  - baixos terraços, assoalho plano do antigo vale, capeado de seixos pequenos, 4-6 m acima da várzea atual (subatual – fase mais úmida).

Além destes três patamares, também são encontradas planícies aluviais associadas aos vales dos rios atuais; influenciadas por barreiras geológicas que criam níveis de base locais e preenchidas por depósitos aluviais (OKA-FIORI, 1987). Estas planícies aluviais são caracterizadas pela pequena extensão e descontinuidade, porém, por vezes apresentam planícies de inundação, diques marginais e meandros.

Oka-Fiori (1987) avança que a existência destes patamares indica uma retomada de erosão a partir da superfície de aplainamento do ciclo das Velhas, Quaternário Inferior (superfície Rio Claro), iniciando outro ciclo geomorfológico, denominado Paraguaçu (King, 1956).

Este nível planáltico corresponde aos Baixos Terraços de Soares & Landim (1976) e Oka-Fiori (1987) e o nível planáltico *R* de Melo (1995).

### **4.3. Cobertura Pedológica**

O primeiro mapeamento sistemático de solos para o estado de São Paulo foi realizado em 1960 (BRASIL, 1960), na escala 1:500.000, pela então Comissão de Solos, do Ministério da Agricultura, hoje Centro Nacional de Pesquisa de Solos – EMBRAPA. O material produzido por esse levantamento foi intensamente utilizado nas décadas de 60, 70 e até meados de 80. Em 1983 foram publicados os levantamentos do RADAMBRASIL (BRASIL, 1983), Folha SF-23/24: Rio de Janeiro/Vitória, escala 1:1000.000, que muito contribuiu para os futuros levantamentos.

No início das décadas de 80 e 90, o Instituto Agrônomo de Campinas realizou uma série de mapeamentos, escala 1:100.000, na região de expansão agrícola do Estado de São Paulo, a qual foi muito influenciada pela cana de açúcar. Para a área em questão a cartografia e classificação dos solos foi realizada por Prado *et al.* (1981).

O mapeamento mais recente para o Estado de São Paulo foi realizado por Oliveira (1999) que, baseado na compilação de diversos produtos anteriormente citados, organizou e atualizou a nomenclatura taxonômica dos tipos pedológicos (solos) de acordo com a classificação proposta pela EMBRAPA (1999), podendo ser observado na Figura 10. Esse mapeamento constitui a principal, e mais bem difundida, publicação sobre os solos do Estado de São Paulo, sendo de grande utilidade para o planejamento regional, atividades didáticas em cursos de ciências do solo, entre outras utilidades.

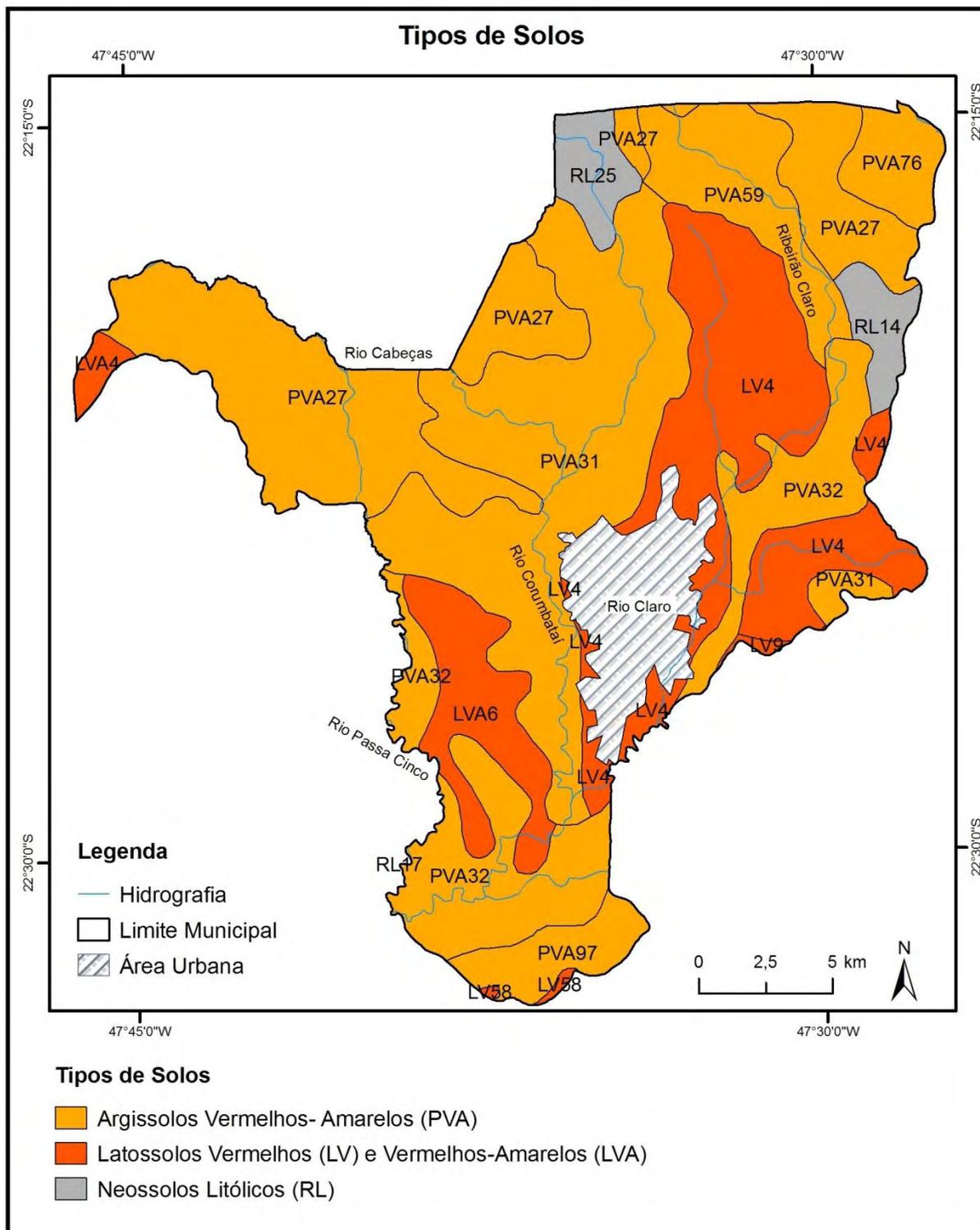


Figura 5: Tipos de solos do município de Rio Claro-SP (OLIVEIRA, 1999).

#### 4.3.1. Coberturas de Alteração Intempérica (CAI)

Além dos levantamentos clássicos de solos, geralmente destinados a questões agrônômicas, Jiménez-Rueda (1993) e Volkmer (1993) realizaram levantamentos com o intuito de caracterizar as CAI's para múltiplas aplicações na região centro-leste de

São Paulo. Para se estabelecer propriedades e definir a distribuição das coberturas, foram realizadas interpretações em imagens de satélites (1:100.000); inspeções de campo; análises físicas, químicas e mineralógicas; e prospecções geofísicas.

As coberturas de alteração intempérica correspondem a materiais residuais resultantes dos processos intempéricos e constituem um manto de alteração. Esse material pode ter origem autóctone ou alóctone, mas quando se instalou a alteração intempérica passou a constituir um depósito autóctone (VOLKMER, 1993).

Os aspectos que distinguem as CAI's (fisiografia, litologia, morfoestrutura, propriedades sedimentológicas, mineralogia, propriedades e usos) umas das outras, definem o caráter geotécnico e ambiental do meio, podendo determinar os tipos de uso e ocupação (VOLKMER, 1993). Portanto, o estudo das CAI's é fundamental para o ordenamento territorial e planejamento regional (JIMÉNEZ-RUEDA, 1993).

Volkmer (1993), realiza o estudo das coberturas para a quadrícula de São Carlos (escala 1:100.000), definindo oito CAI's, porém apenas cinco dessas ocorrem na área em estudo e serão brevemente descritas a seguir.

- Cobertura Corumbataí

Tal cobertura encontra-se preferencialmente na porção Sul-Sudeste da área, geralmente em relevo suavemente ondulado a ondulado com padrão de drenagem dendrítica, podendo estar mais entalhado e exibindo vertentes fortemente inclinadas ou dissecadas. A cobertura, tipificada por unidades de alteração intempéricas (UAI's) dos tipos monossialíticas, bissialíticas e alíticas, está distribuída em altitudes que variam de 600 a 800 m, onde domina o intemperismo de tipo latossólico (oxídico), além de processos cambissólicos, podzólicos e regossólicos.

Os materiais encontrados são de textura argilo-siltosa, de coloração cinzenta média a escura e quanto menor a declividade, maior é a quantidade de material argiloso e menor a de material siltoso, o que condiciona uma baixa permeabilidade desse material.

Os solos dessa cobertura estão representados principalmente por Litossolos com tonalidades pardo-escuro, vermelho, vermelho-escuro e cinza médio a escuro, Podzólicos Vermelho-Amarelos e, por vezes, por Latossolos Vermelho-Escuros.

- Cobertura Pirambóia

Os sedimentos da Cobertura Pirambóia ocorrem preferencialmente na região centro-sul da área, em relevo suavemente ondulado a plano, padrão de drenagem tipo sub-angular a paralelo, mais dissecado que o do Corumbataí e normalmente aparece em degraus topográficos separados por quebras negativas. A cobertura está distribuída entre as altitudes de 650 e 750 m, dominando o intemperismo latossólico, porém com boa presença de cambissolização, podzolização e regolitização e o desenvolvimento de unidades do tipo monossialíticas e bissialíticas.

Predomina textura arenosa com a fração de areia fina mais abundante, seguida por areia muito fina e argilosa. O aumento gradual do teor de finos é verificado nos horizontes, do topo para a base. A coloração desta unidade varia de cinza médio escuro a claro.

Os principais tipos de solos derivados dessa cobertura são Latossolos Vermelho-Amarelos, podendo variar para Latossolos Vermelho-Escuros quando há intrusão de rochas básicas.

Quando a Cobertura Botucatu se encontra em contato com as coberturas Pirambóia, Serra Geral ou Itaqueri há aumento da fração argila e mudança para cores avermelhas de tons escuros; isso ocorre devido a possíveis processos de oxidação nos horizontes superficiais. Na área de estudo são encontrados Latossolos Vermelho-Amarelos ou Vermelho-Escuros e Areias Quartzosas Litossólicas.

- Cobertura Serra Geral e Intrusivas Básicas

O material dessa cobertura é referente à alteração das rochas básicas (derrames basálticos e intrusões de diabásio), ocorrendo em corpos localizados, dispostos principalmente na porção norte da área, sobre relevo tabuliforme, com dissecção moderada, terrenos de inclinação variável, drenagem do tipo dendrítica a subangular e altitudes que oscilam de 600 a 900 m.

A textura dos sedimentos é predominantemente argilosa, podendo ser franco-argilo-arenosa quando em contato com o Botucatu. As cores variam do vermelho, vermelho-escuro e bruno escuro (na presença de hematita, magnetita e ilmenita), para tons mais claros e amarelados (na presença de goethita e limonita). Nesta cobertura se apresentam todos os tipos de processos de alteração, tipificados pelas unidades monossialíticas e alíticas.

Os solos associados a essa cobertura são, em maioria, os Latossolos Roxos, podendo variar para Latossolos Vermelho-Escuros.

- Cobertura Rio Claro

Esta cobertura encontra-se na parte sudeste da área, principalmente aos arredores da cidade homônima, geralmente sobre as rochas da Formação Corumbataí, Botucatu e Serra Geral. Possui grande variedade granulométrica, sendo representada por depósitos areno-argilosos, cascalhentos e argilosos no contato com a Formação Corumbataí.

Ocorre sobre relevo suavemente ondulado a plano, com encostas suavizadas, entre as altitudes de 550 a 750 m e densidade de drenagem média a baixa com padrão dendrítico a angular.

A grande variedade textural e o domínio da latossolização do tipo monossialítica estão refletidos na coloração e tonalidade dos sedimentos, que podem ser pardos, pardos escuros, cinza avermelhados, brancos e os mais diversos tons de vermelho. Solos do tipo Latossolos Vermelho-Amarelos são associados a essa cobertura.

#### **4.4. Clima**

Ab'Saber (1956), interpretando os estudos climáticos de José Setzer, reconhece um tipo climático *Cwa* de Köppen (clima tropical úmido) para a área central da Depressão Periférica. Já Penteadó (1966) considera o clima da região de Rio Claro como sendo *Aw* (clima tropical chuvoso, com chuvas no verão). Monteiro (1973) caracteriza o clima regional como de moderada precipitação, sendo controlado por três grandes correntes da circulação regional (tropical atlântica, tropicais continentais e polares atlânticas).

Ao avaliarmos o climograma (Figura 11), o gráfico do balanço hídrico (Figura 12) e a umidade dos solos (Figura 13) para o município de Rio Claro, encontramos na série de dados de 30 anos uma climática que indica seis meses úmidos (outubro a março), com precipitação superior a 100 mm, temperaturas médias próximas aos 24°C e excedente hídrico. Os outros seis meses (abril a setembro) são caracterizados com um período semi-seco a seco, com precipitações inferiores a 50 mm, temperaturas médias próximas dos 20°C e apresenta ligeira deficiência hídrica. Porém, a deficiência hídrica só é significativa entre os meses de julho e setembro, quando a

evapotranspiração potencial (ETP) e real (ETR) certamente excede a precipitação e os solos ficam secos até uma profundidade considerável.

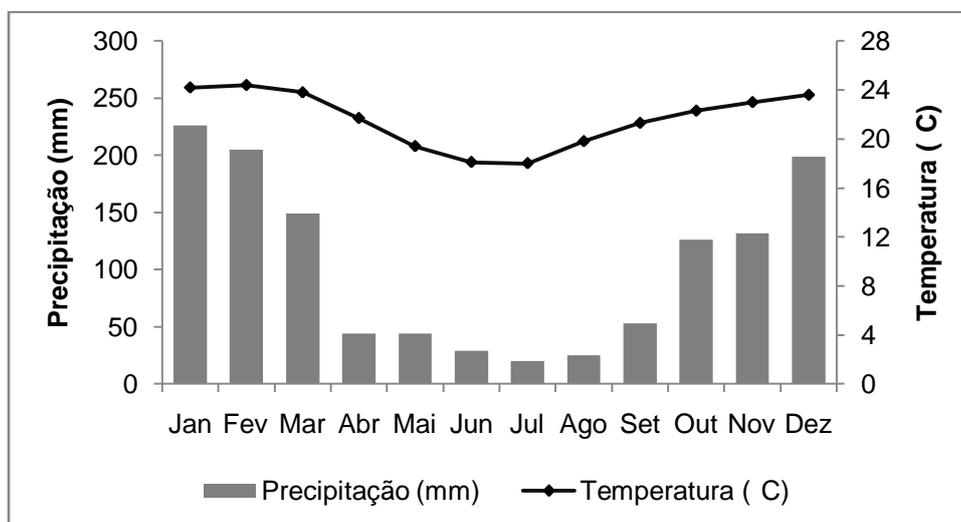


Figura 6: Climograma do município de Rio Claro-SP com a distribuição das chuvas e temperaturas médias. Fonte DAEE-ESALQ, período de 1941 a 1977 (<http://ce.esalq.usp.br/bhbrasil/Saopaulo/>).

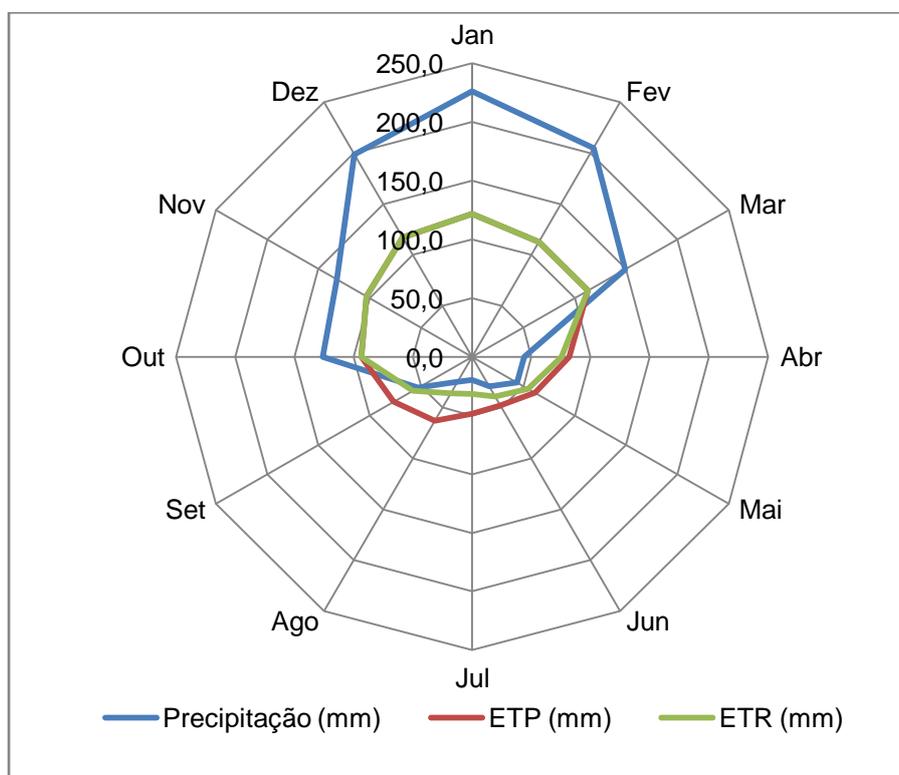


Figura 12: Balanço hídrico do município de Rio Claro-SP. Fonte DAEE-ESALQ, período de 1941 a 1977 (<http://ce.esalq.usp.br/bhbrasil/Saopaulo/>).

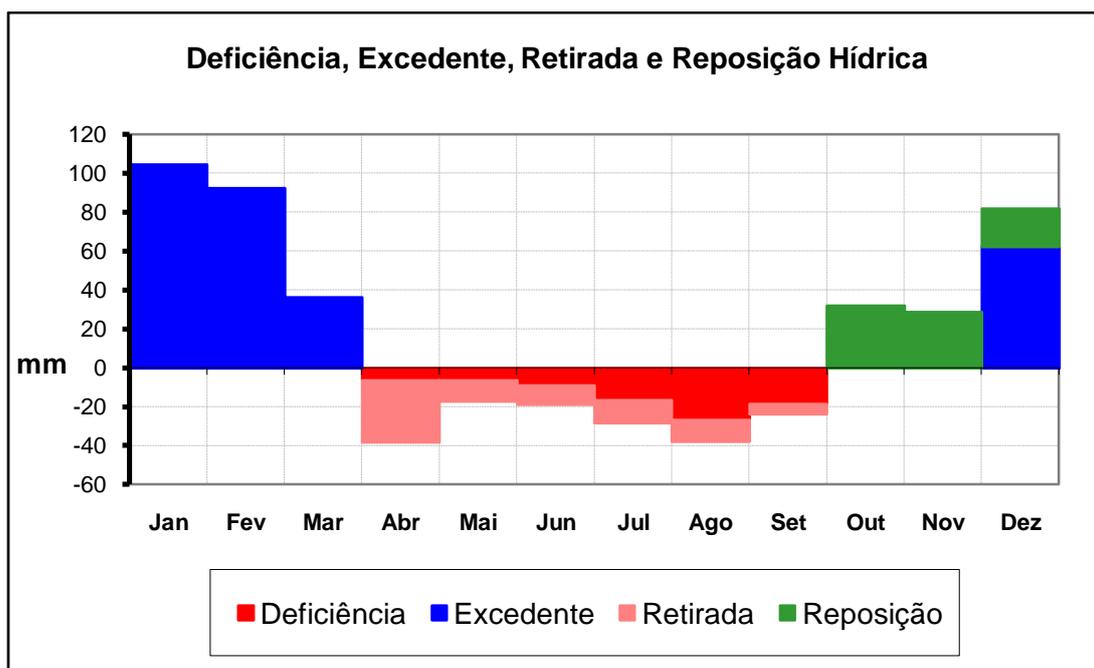


Figura 73: Balanço hídrico e umidade dos solos município de Rio Claro-SP. Fonte DAEE-ESALQ, período de 1941 a 1977 (<http://ce.esalq.usp.br/bhbrasil/Saopaulo/>).

Sob o clima atual, de características tropicais, com temperaturas relativamente altas e pluviosidade elevada no período de outubro a março, a intensidade das precipitações é o mais importante elemento de esculptura das vertentes. No verão ocorrem aguaceiros torrenciais, com alta quantidade de chuva em curto período de tempo (20 a 30 mm em aprox. 30 minutos), isso ocorre pelo freqüente avanço de frentes frias (PENTEADO-ORELLANA, 1981). Segundo a mesma autora, durante o fim da primavera e o início do verão, quando ocorrem os primeiros aguaceiros, o solo encontra-se ressecado pelo longo período seco que passou e sem cobertura vegetal, por coincidir com o final do ciclo agrícola. O resultado é a erosão intensa do manto superficial, com o predomínio do escoamento areolar difuso ou laminar nas vertentes com baixa inclinação e escoamento concentrado nas vertentes com inclinação mais elevada, formando ravinas e voçorocas.

#### 4.5. Uso da Terra

A distribuição da vegetação primitiva está estreitamente relacionada com as condições pedológicas (composição granulométrica, condição de drenagem, espessura e classe de solos), índices de declividade das encostas e fatores climáticos locais.

Dessa maneira, tem-se que no início do século, antes do ciclo do café, existia na região um mosaico vegetacional de grande diversidade composto predominantemente por cerrados e florestas.

A vegetação de Cerrado e Campo Cerrado está associada a solos de textura arenosa, muito profundos e igualmente permeáveis, enquanto que os Cerradões a solos de textura mais argilosa. Esse tipo de vegetação ocorre em “manchas” distribuídas por toda a região. Observamos no cerrado uma sucessão de vegetação desde as partes mais elevadas do terreno, nas quais ocorrem os Cerrados, passando pelas suaves vertentes até as áreas mais baixas, onde o lençol freático é mais elevado e predomina o Campo Cerrado (OLIVEIRA & PRADO, 1984).

As formações florestais podiam ser encontradas por toda a área, refletindo em suas diferentes fisionomias as variações ambientais a que estavam condicionadas. O principal domínio florestal era a Floresta Estacional Semidecídua, que ocorria por toda a região, geralmente sobre solos de textura mais argilosa. Outros tipos florestais também eram presentes na paisagem regional, alguns em área mais extensas e outros de forma muito restrita.

A Floresta Estacional Decidual ocorria de maneira restrita, associada aos solos litólicos de substrato basáltico e em áreas de declividade muito acentuada, o que facilita o escoamento superficial e dificulta a permanência da água no solo (OLIVEIRA & PRADO, 1984). Enquanto que a Floresta Estacional Semidecidual Submontana (mata de encosta) pode ser encontrada próxima ao sopé das cuevas, onde a água oriunda do alto do front se acumula em sedimentos espessos e inconsolidados, proporcionando condições ótimas para o desenvolvimento de uma vegetação que apresenta porte médio de 10 a 15 metros de altura e sistema radicular pouco profundo graças a abundância da água no solo (TROPPEMAIR, 2004).

Ao longo das margens dos cursos d'água são encontradas as Matas Ciliares, compostas por um mosaico de diferentes espécies vegetais, sendo essa uma zona de transição entre vegetação estacional semidecídua, onde alagamentos não são constantes, e campos higrófilos nas planícies de inundação.

O principal uso da terra são as extensas áreas de pastagem, pois a área constituía uma importante bacia leiteira, e há algum tempo a cultura canavieira vem invadindo as áreas de pastagem e alguns remanescentes de cerrado, principalmente os terrenos planos, pois apresentam boa capacidade para a mecanização. Outro

importante uso são as áreas de reflorestamento com Pinus e Eucalipto. A distribuição espacial dos usos da terra pode ser evidenciada na Figura 14 (CEAPLA, 2010).

Valente (2001) estudando a fragmentação florestal da Bacia do Rio Corumbataí demonstra que a bacia possui uma matriz de uso e cobertura predominantemente agrícola, o que leva a diminuição da área ocupada por florestas naturais e contribui para o processo de fragmentação florestal.

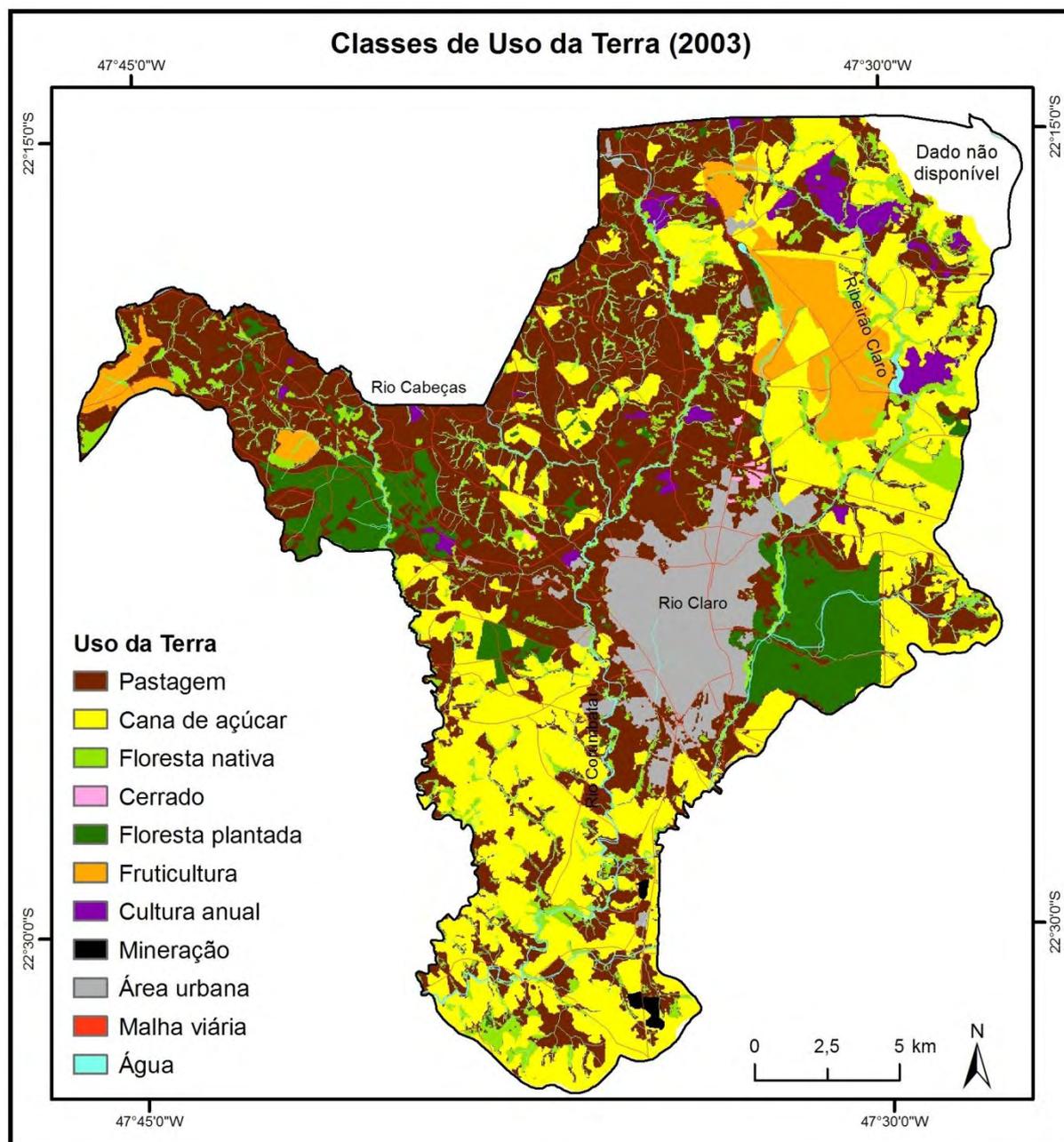


Figura 84: Classes de uso da terra do município de Rio Claro-SP, ano de 2003 (CEAPLA, 2010).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos nesta pesquisa em três subcapítulos: Geomorfometria, Caracterização Morfoestrutural e Caracterização Fisiográfica. A subdivisão foi realizada com a finalidade de facilitar a compreensão e a redação dos aspectos que compõem e caracterizam as paisagens do município de Rio Claro-SP.

### 5.1. Geomorfometria

O termo geomorfometria foi empregado originalmente por Chorley *et al.* (1957) e é compreendida como o estudo da geometria das paisagens ou, simplesmente, o estudo das formas do relevo. O estudo das paisagens pela geomorfometria é realizado a partir de parâmetros (índices e variáveis) que são tradicionalmente obtidos por análise analógica de cartas topográficas e/ou fotografias aéreas estereoscópicas. Entretanto, a partir da década de 90 a utilização de sistemas computacionais para a geração e tratamento de dados quantitativos referentes à superfície terrestre teve uma evolução na mesma velocidade com que surgem máquinas e *softwares* com maior capacidade de processamento de dados e interfaces cada vez mais “amigáveis” aos usuários finais.

Com o advento dessas novas tecnologias houve um grande desenvolvimento e popularização das análises geomorfométricas, facilitado também pela grande disponibilidade de dados primários (cartas topográficas vetorizadas e produtos de sensores remotos com dados de elevação) para a geração de MDE e suas derivações. Desta maneira, com o intuito de facilitar a compreensão dos parâmetros geomorfométricos na caracterização fisiográfica, foram elaboradas cartas de hipsometria, de classes de declividade e curvatura do terreno da área de estudo.

### **5.1.1. Hipsometria**

A análise dos parâmetros geomorfométricos se inicia pela altitude (elevação) da superfície. A distribuição da frequência das altitudes é representada em faixas de cores ou níveis de cinza pelo mapa de hipsometria (Figura 15).

Neste trabalho a opção por uma representação colorida e não em níveis de cinza esteve em função da própria percepção da visão humana, que dificilmente é capaz de distinguir com clareza mais de 10 níveis de cinza. Observando que como o relevo da área apresenta uma amplitude total de 489 m, com altitudes mínimas entorno de 496 m (vale do rio Corumbataí, na porção sul da área) e máximas entorno de 985 m (morro do Bizigueli, no extremo oeste), a representação em níveis de cinzas proporcionaria uma percepção de apenas 10 faixas de variação com amplitudes de 50 m. Sendo assim, qualquer forma de relevo inferior a 50 m dificilmente seria identificada, podendo comprometer o resultado das interpretações.

Os principais parâmetros que foram diretamente avaliados a partir da hipsometria são os valores de altitude absolutos (em relação ao nível do mar) e variações de altitudes locais (amplitude do relevo). Além desses dois parâmetros, foi possível a elaboração de perfis topográficos e a análise visual das rupturas de relevo e aspectos texturais em geral.

Ao analisarmos os valores absolutos de altitude mínima (496 m) e altitude máxima (985 m) acreditamos que se trata de uma área onde as amplitudes são elevadas (489 m), dando a impressão de um relevo acidentado. Entretanto, ao analisarmos os valores das altitudes médias (613 m) e, principalmente, o desvio padrão (48 m) notamos que se trata de um relevo menos acidentado, com amplitudes locais em torno de 50 m.

Essa mesma conclusão foi obtida a partir da análise visual da carta de classes de hipsometria, onde fica evidente que o relevo da área apresenta amplitudes locais

entorno de 50 m nas áreas mais baixas e entorno de 100 m nas áreas mais elevadas. O que explica o alto valor absoluto de amplitude é a presença do morro do Bizigueli, no extremo oeste da área, por ser um relevo residual com amplitudes locais de aproximadamente 250 m.

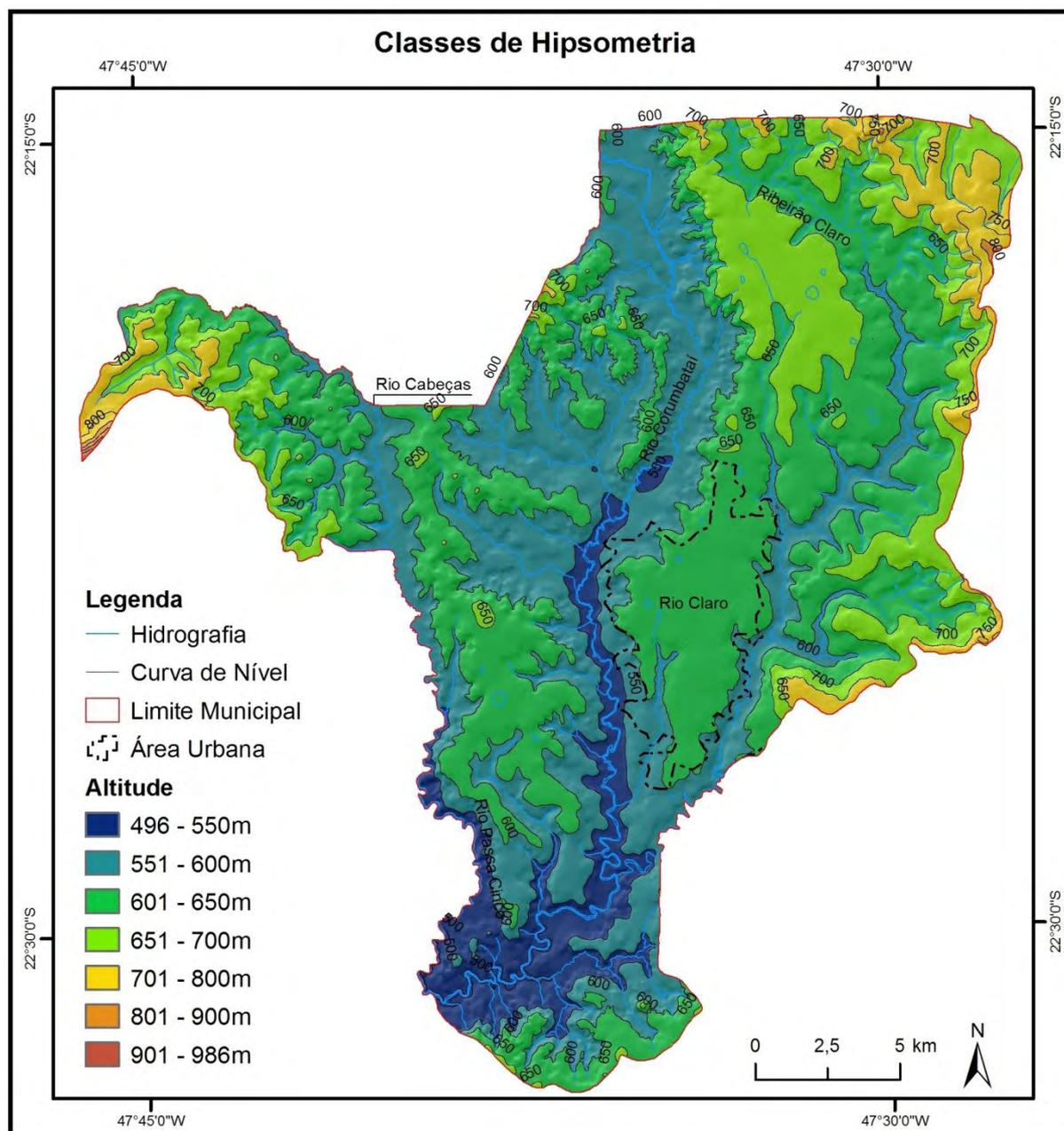


Figura 9: Classes de hipsometria do município de Rio Claro- SP, representando as variações de altitude da área.

A análise local dos valores de altitude em muito contribuíram para a análise fisiográfica, fornecendo subsídios para a definição dos topos em relação a suas altitudes. Essa mesma informação é de difícil aquisição pelos métodos tradicionais de

fotointerpretação, pois o intérprete necessita consultar cartas topográficas, que em geral não estão na mesma escala que as fotografias aéreas, ou coletando dados em campo com auxílio de altímetro ou GPS.

### **5.1.2. Declividade**

A maior parte da superfície continental da Terra é ocupada por vertentes, constituindo um elemento básico das paisagens e um componente fundamental dos sistemas geomorfológicos, portanto, a compreensão de suas formas e sua dinâmica é primordial para a caracterização das paisagens (WAINWRIGHT & MICHAELIDES, 2004).

As vertentes são unidades da paisagem com características específicas, que podem ser analisadas por parâmetros quantitativos (ex. inclinação e comprimento) e qualitativos (ex. curvatura do terreno)

Valeriano (2008) aponta que um dos parâmetros de análise das vertentes mais utilizados em pesquisas geomorfológicas, e estudos de compartimentação do terreno para fins de planejamento territorial, é a declividade ou inclinação do terreno. Isso ocorre devido à estreita associação da declividade com processos de transporte gravitacional (ex. escoamento, erosão e deslizamento), propriedades das coberturas pedológicas (ex. espessura e drenagem dos solos), entre outras.

Assim, devido à importância da declividade na dinâmica dos processos superficiais e na caracterização de classes de terrenos para fins de avaliação de terras e planejamento territorial foi elaborado o mapa de classes de declividade (Figura 16). A representação dos valores de declividades em classes foi devido à grande variabilidade espacial dos dados locais e o excessivo detalhamento gerado por tal variabilidade, o que prejudicaria a interpretação desses dados em uma visão mais regionalizada. Assim, a suavização dos dados em classes de declividade mostrou-se desejável para o propósito de caracterização das unidades fisiográficas.

As classes de declividade foram estabelecidas de acordo com o apresentado pela Embrapa (2006), onde as classes de declividade são organizadas da seguinte maneira: 0 a 3% - relevo plano a quase plano; 3 a 8% - relevo suave ondulado; 8 a 20% - relevo ondulado; de 20 a 45% - relevo forte ondulado.

Uma pequena modificação na representação das classes de declividade foi implementada, pois a área não apresenta as classes de relevo montanhoso (45 a 75%) e escarpado (> 75%), por isso as mesmas não foram representadas.

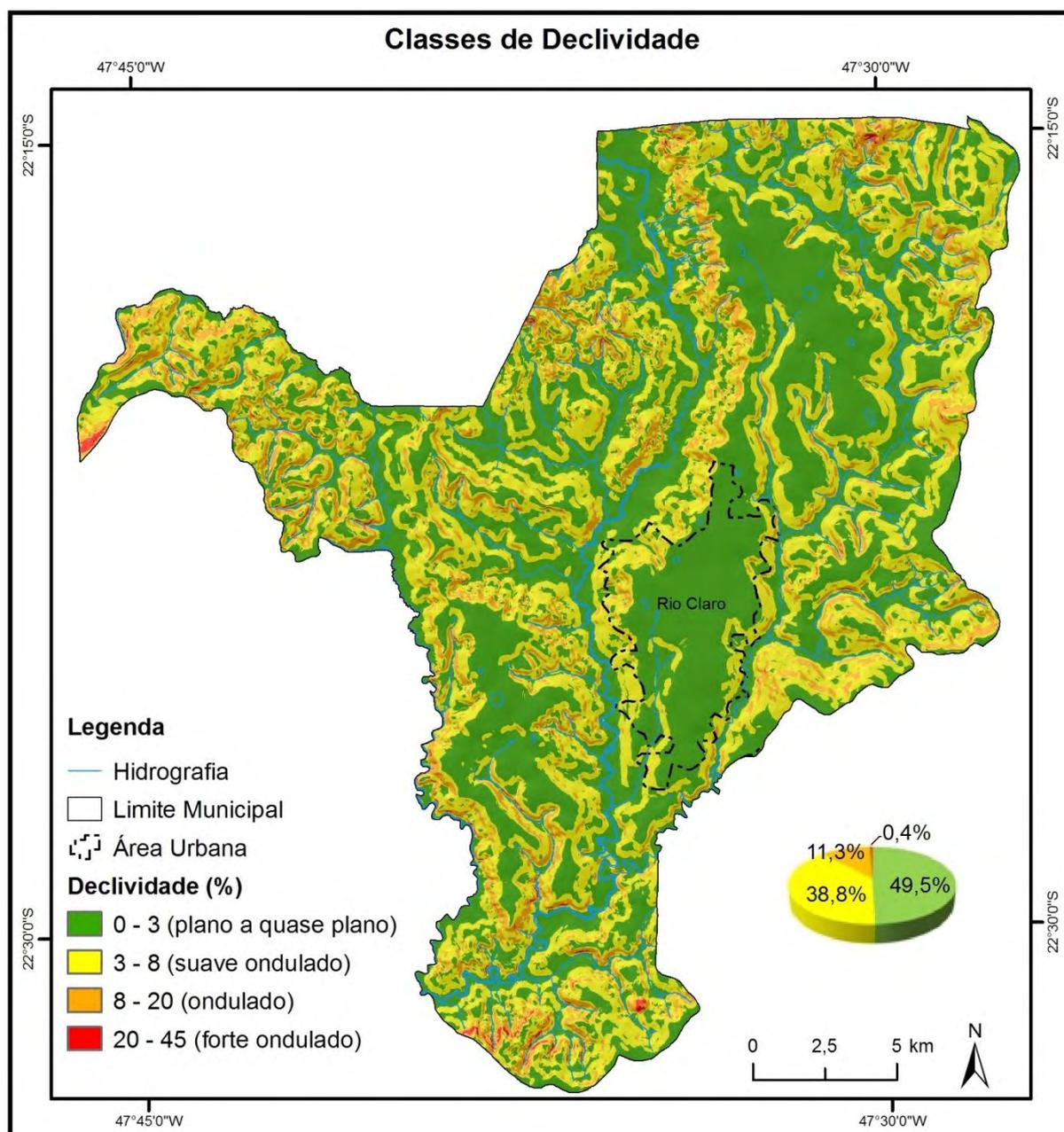


Figura 10: Classes de declividade do município de Rio Claro-SP.

Na área do município de Rio Claro, aproximadamente 49,5% do relevo apresenta vertentes planas a quase planas (0-3%), 38,8% de vertentes suave onduladas (3-8%), 11,3% de vertentes onduladas e apenas 0,4% das vertentes sendo forte ondulada (20-45%).

Os valores de declividades baixas apresentam-se distribuídos por grandes áreas e, em geral, o contato entre as áreas planas a quase planas e as áreas suave onduladas ocorre muito próximo de tênues rupturas positivas de relevo que separam topos e encostas na caracterização fisiográfica.

A distribuição dos valores de declividades altas é marcada por pequenas manchas bem localizadas e dissociadas de sua vizinhança, que estão associadas às áreas mais elevadas e fortes rupturas de relevo.

Correlacionando os dados de declividade e os dados de amplitude local, podemos notar que se trata de um relevo muito suave, com poucos locais de variações abruptas de declividade e altitude. Não por simples coincidência, locais onde as amplitudes altimétricas são mais elevadas, também apresentam inclinações mais íngremes, como é o caso do extremo sul, extremo oeste e porção nordeste da área. Já nos locais onde as amplitudes altimétricas são menores, a inclinação das vertentes é mais suave, predominando terrenos planos a quase planos. Esse padrão pode ser observado na área urbana de Rio Claro e seu entorno.

A análise das classes de declividade contribuiu para a caracterização das unidades fisiográficas, principalmente com relação às unidades de encosta, servindo com propriedade fundamental para distinção dessas unidades de acordo com as classes de declividade.

As informações agregadas pela declividade ainda podem contribuir para a avaliação das potencialidades e fragilidades dos terrenos, pois permitem tecer recomendações para diversas finalidades como o uso do solo urbano, mecanização agrícola e determinação de áreas de preservação permanente (APP).

### **5.1.3. Curvatura do Terreno**

A curvatura do terreno é a caracterização qualitativa do formato ou geometria das vertentes e pode ser classificada em convexa, côncava e plana, tal como realizado para este estudo (Figura 17). Existem diversas maneiras de obtenção e representação da curvatura do terreno, podendo ser perpendicularmente a vertente, tangencialmente a vertente ou, como no presente trabalho, horizontalmente a vertente ou em planta (Figura 5). Apesar de ser um parâmetro analisado qualitativamente sua obtenção em SIG parte de uma derivação de segundo grau da superfície do terreno.

Quanto à representação cartográfica da curvatura do terreno é sabido que áreas matematicamente planas são improváveis na natureza, então foram testados diferentes valores para estabelecer os limites entre áreas côncavas-planas-convexas. O estabelecimento dos limites foi baseado em inúmeras tentativas e comparações com dados obtidos em observações de campo e fotografias aéreas. Assim, procura-se por

valores que melhor se adequassem ao relevo da área e, não necessariamente, a outros contextos geomorfológicos.

Para a melhor representação da curvatura do terreno foram utilizadas cores frias (verde claro) para representar áreas côncavas, cores quentes (vermelho) para áreas convexas e cores neutras (cinza) para áreas planas. A opção por esse esquema de cores tem a intenção de associar as cores frias com a possível condição mais úmida dessas áreas e cores quentes com terrenos possivelmente mais secos, com afloramento do substrato rochoso ou solos mais rasos, com a finalidade de facilitar a percepção e a interpretação por parte do leitor do mapa.

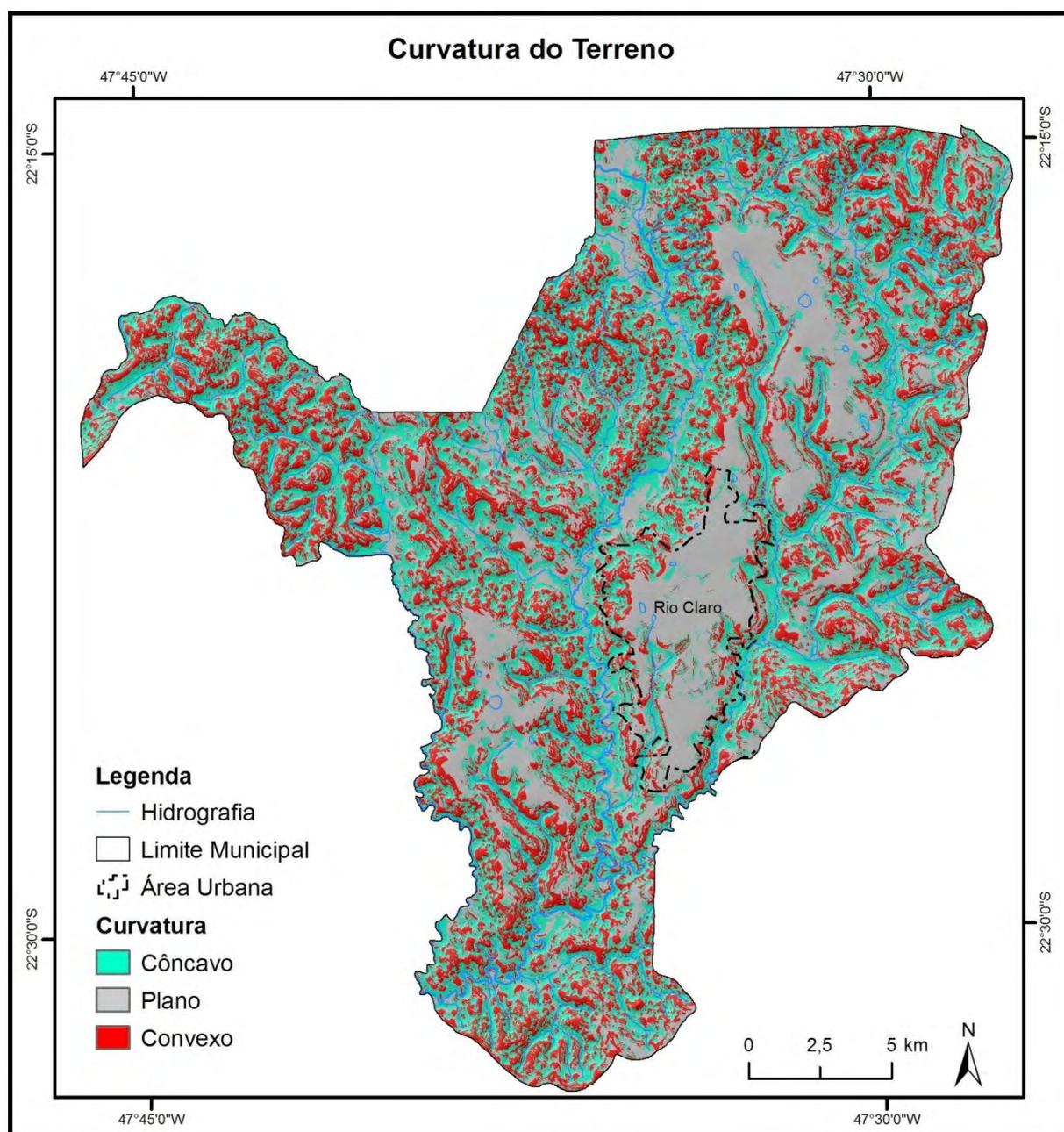


Figura 11: Classes de curvatura do terreno do município de Rio Claro - SP.

As áreas planas podem ser rapidamente associadas aos topos e a transição entre essas áreas planas e áreas convexas evidenciam as rupturas de relevo positivas e o início das encostas, geralmente com inclinações suaves. Em relação à dinâmica dos processos superficiais, predominam a infiltração das águas pluviais e os processos erosivos são mais lentos devido à baixa declividade associada e o desenvolvimento de solos profundos e bem drenados.

Entretanto, na faixa de transição entre as áreas planas e áreas convexas ou côncavas, que em geral está associada com a transição entre depósitos sedimentares cenozóicos (ex. Fm. Rio Claro), os processos erosivos se fazem presentes a partir do desenvolvimento de voçorocas e ravinamentos.

Em alguns locais nas áreas planas observa-se a presença de pequenas bacias de drenagem endorréicas e lagoas efêmeras, que ocorre devido pequena inclinação do terreno que é convergente para o interior da área plana e à presença de material litológico menos permeável e lençol freático elevado.

Áreas convexas concentram-se na parte superior das encostas e nos interflúvios locais. Em geral, representam áreas dispersoras onde o escoamento superficial predomina sobre a infiltração. O processo erosivo predominante ocorre por meio de enxurradas e quanto maior a declividade do terreno maior será velocidade das enxurradas e, conseqüentemente, a remoção e transporte de sedimentos. Espera-se encontrar solos mais rasos ou afloramentos rochosos, devido ao grande potencial erosivo e a conseqüente migração de matéria dessas formas.

As formas côncavas são mais representativas de vales fluviais e cabeceiras de drenagem, onde predominam condições de umidade elevada e acúmulo de material mineral e orgânico, devido a convergência do escoamento superficial das áreas convexas e o afloramento de nascentes provenientes da infiltração nas áreas planas mais elevadas. Áreas côncavas também são frequentemente encontradas nas porções inferiores das encostas e podem indicar a presença de descontinuidade litológica local. A caracterização das formas de terreno a partir da análise da curvatura do terreno em ambiente SIG em conjunto as tradicionais técnicas de fotointerpretação possibilitaram uma melhor classificação e caracterização das unidades fisiográficas e processos que predominam na evolução das formas de relevo. Assim, são de especial interesse na compartimentação e compreensão das unidades de encosta, que foram melhor detalhadas e subdivididas de acordo com suas formas e declividades.

## 5.2. Caracterização Morfoestrutural

### 5.2.1. Rede de Drenagem

A análise e interpretação das fotografias aéreas a partir da sistemática da análise morfoestrutural teve início com a extração da rede de drenagem, onde se buscou o maior detalhamento possível da sua geometria e distribuição espacial.

Apesar de muitos não considerarem esta etapa de grande valor, a representação da rede de drenagem feita de maneira displicente e sem o devido rigor, pode influenciar de maneira decisiva na interpretação morfoestrutural. Ao analisarmos a Figura 18 podemos notar o ganho de informação obtido quando se optou por extrair a rede de drenagem a partir das fotografias aéreas na escala de 1:25.000 (Figura 18B) e não cartas topográficas na escala de 1:50.000 (Figura 18A).

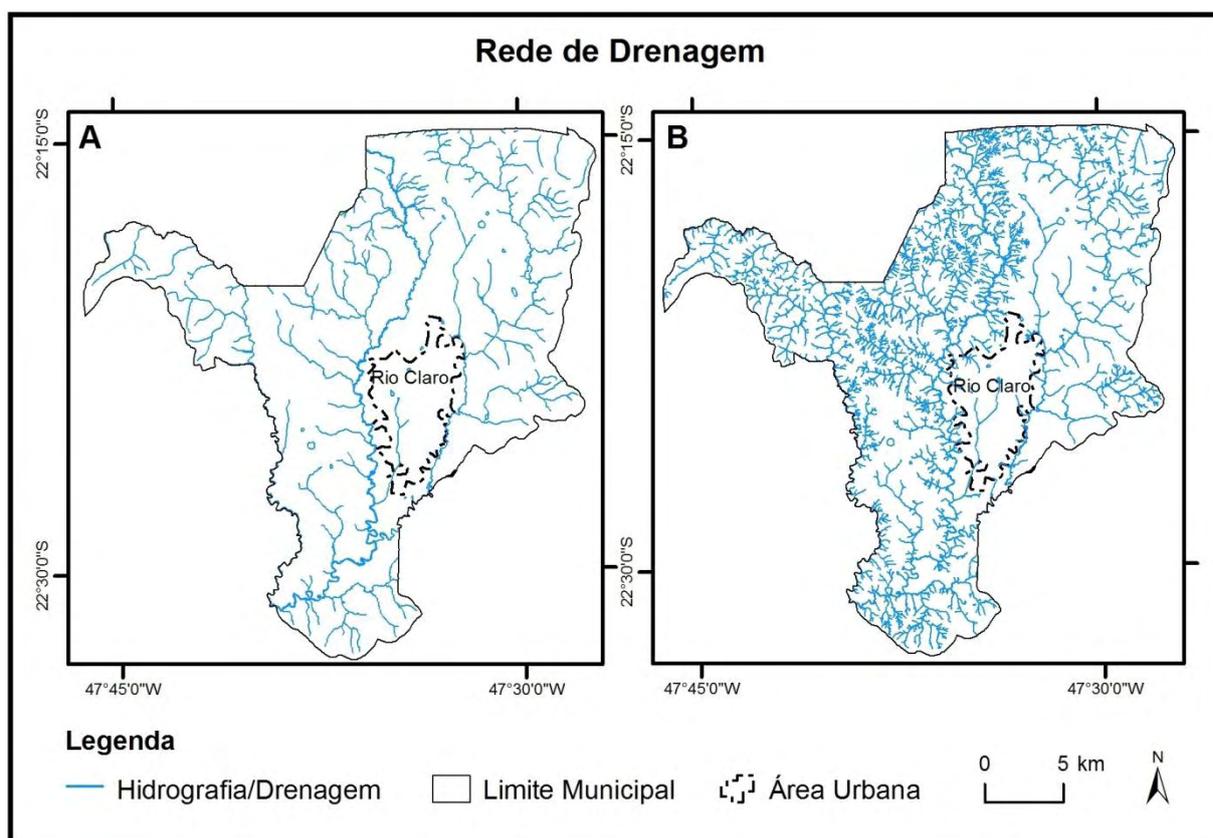


Figura 12: Rede de drenagem da área. A) folhas topográficas 1:50.000 e B) fotografias aéreas 1:25.000.

Tal ganho é evidente quanto ao volume de dados que puderam ser gerados, mas também deve ser ressaltado o ganho na qualidade dos dados, pois a extração de formas e objetos em fotografias aéreas apresenta boa fidelidade quanto à geometria e distribuição espacial dos objetos imageados, nesse caso os canais de drenagem.

Quando se trabalha com base de dados de cartas topográficas parte dos dados referentes à rede de drenagem são gerados de forma subjetiva, a partir do adensamento da rede de drenagem e tendo como elemento guia a configuração das curvas de nível. Desta forma, em geral, o traçado da rede de drenagem não reflete com fidelidade sua geometria e pode dificultar.

Além da extração da rede de drenagem para a interpretação das anomalias morfoestruturais, foi possível obter a densidade da rede de drenagem por meio do estimador de densidade *Kernel* (Figura 19), que foram divididas em quatro classes de densidade de drenagem com base na análise visual do histograma.

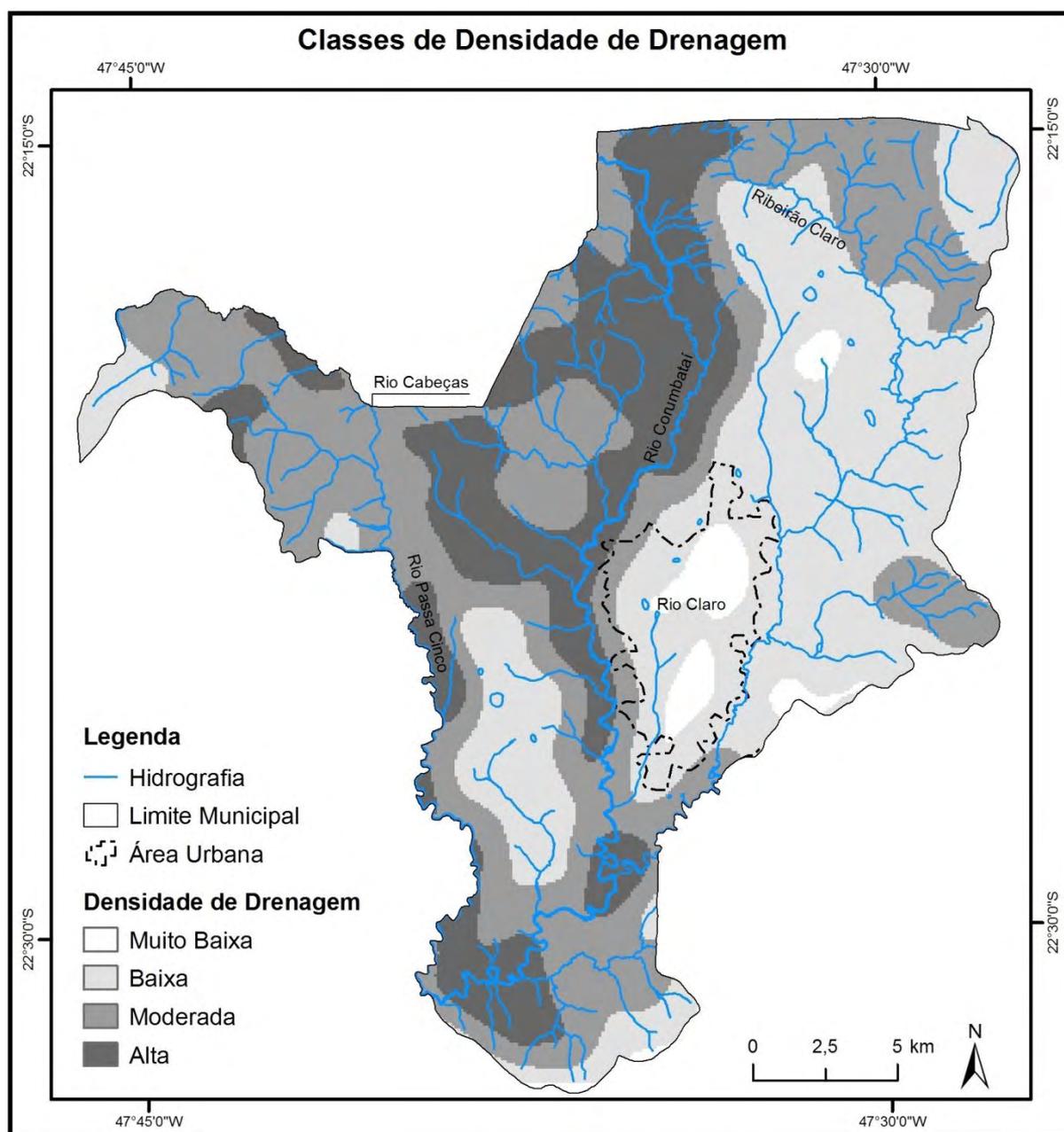


Figura 13: Mapa de densidade de drenagem do município de Rio Claro – SP.

Basicamente, a interpretação da densidade de drenagem da área mostra que essa está em função da constituição dos litotipos, onde áreas argilosas, representadas por siltitos e argilitos do grupo Passa Dois e supergrupo Tubarão, apresentam densidades de drenagem mais elevadas do que áreas de rochas arenosas, representadas pela Fm. Pirambóia, Fm. Rio Claro e depósitos quaternários.

A densidade de fraturamento também apresentou boa correlação com a densidade de drenagem, onde áreas mais fraturadas correspondem às áreas com maior densidade de drenagem. Isso ocorre pelo fato dos processos erosivos aproveitarem a fragilidade das áreas fraturadas para a esculturação das formas e a instalação da rede de drenagem.

### **5.2.2. Lineamentos Estruturais**

Os lineamentos estruturais podem representar falhas, fraturas e/ou descontinuidades geológicas, pois são feições da superfície terrestre que refletem superfícies descontínuas de subsuperfície e evidenciam, de certa forma, o grau de deformação de uma região (CRISOSTOMO NETO, 2003).

No mapa de lineamentos estruturais (Figura 20), elaborado a partir da interpretação de fotografias aéreas na escala de 1:25.000, foram cartografados 216 lineamentos estruturais, sendo 177 de drenagem, com direção preferencial N40W e 39 de relevo, com direção preferencial N20W. As direções preferenciais foram obtidas pela análise de diagramas de rosetas.

Essas direções preferenciais são coincidentes com as principais direções de fraturamento características de toda a Bacia do Paraná, interpretadas como resultante de esforços compressivos e distensivos da crosta, que se orientam preferencialmente NW/SE e NE/SW. Segundo Zalán et al. (1990) essas estruturas podem constituir falhas simples ou extensas zonas de falhas, sendo essas, zonas de fraquezas Silurianas que foram reativadas durante o Mesozóico e posteriormente por eventos neotectônicos e movimentos epirogenéticos do Cenozóico.

Morales (2005) apresenta um quadro morfoestrutural para a região de Rio Claro-SP onde os elementos de relevo e drenagem que estão ajustados a feixes de lineamentos e falhas normais são responsáveis por desnivelamentos topográficos (movimentação transcorrente NW) e a sedimentação da formação Rio Claro (feixes NE), além de condicionar a dissecação atual do relevo (feixes E-W).

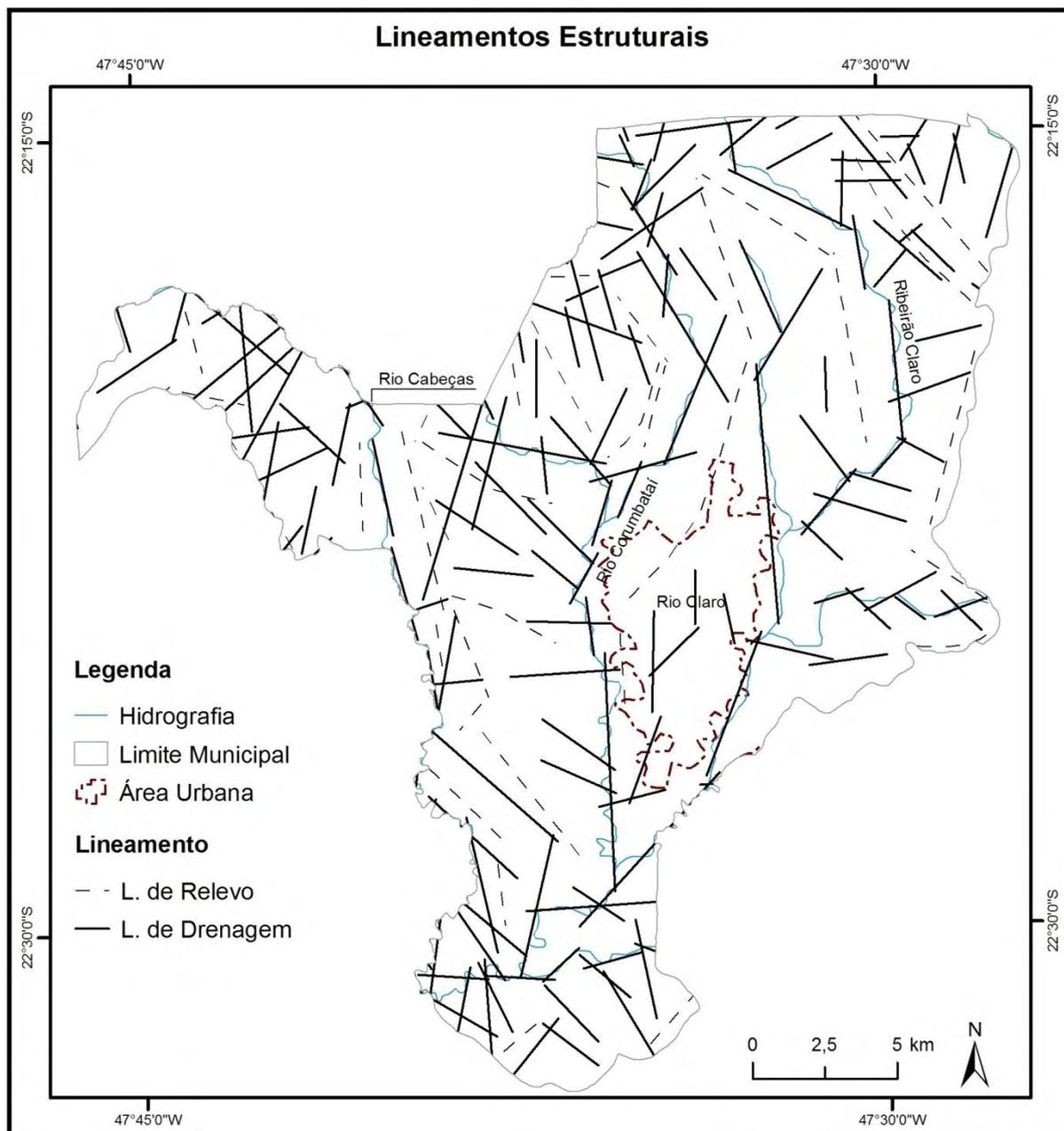


Figura 14: Mapa de lineamentos estruturais do município de Rio Claro - SP.

O mapa de lineamentos estruturais mostra que na área existe uma distribuição homogênea dessas feições. Então, para o melhor entendimento da distribuição espacial dos lineamentos, foi elaborado o mapa de densidade de lineamentos estruturais (Figura 21).

A análise da distribuição espacial dos lineamentos permitiu uma visualização regional do grau de fraturamento da área a partir de limites quali-quantitativos da densidade de lineamentos. Para uma análise mais contundente do fraturamento é aconselhável a interpretação dos lineamentos estruturais em conjunto com a interpretação dos traços de juntas, que serão apresentadas no decorrer da dissertação.

Em uma análise preliminar, nota-se que locais com maior densidade de lineamentos estruturais estão associados às formações geológicas mais antigas da área e aos principais cursos fluviais. Associação essa que não ocorre por acaso, pois as rochas mais antigas foram submetidas a um maior número de eventos tectônicos. Quanto à rede de drenagem, essa procura se instalar sobre zonas de fraqueza da crosta terrestre que em geral estão associadas a fraturas e falhas.

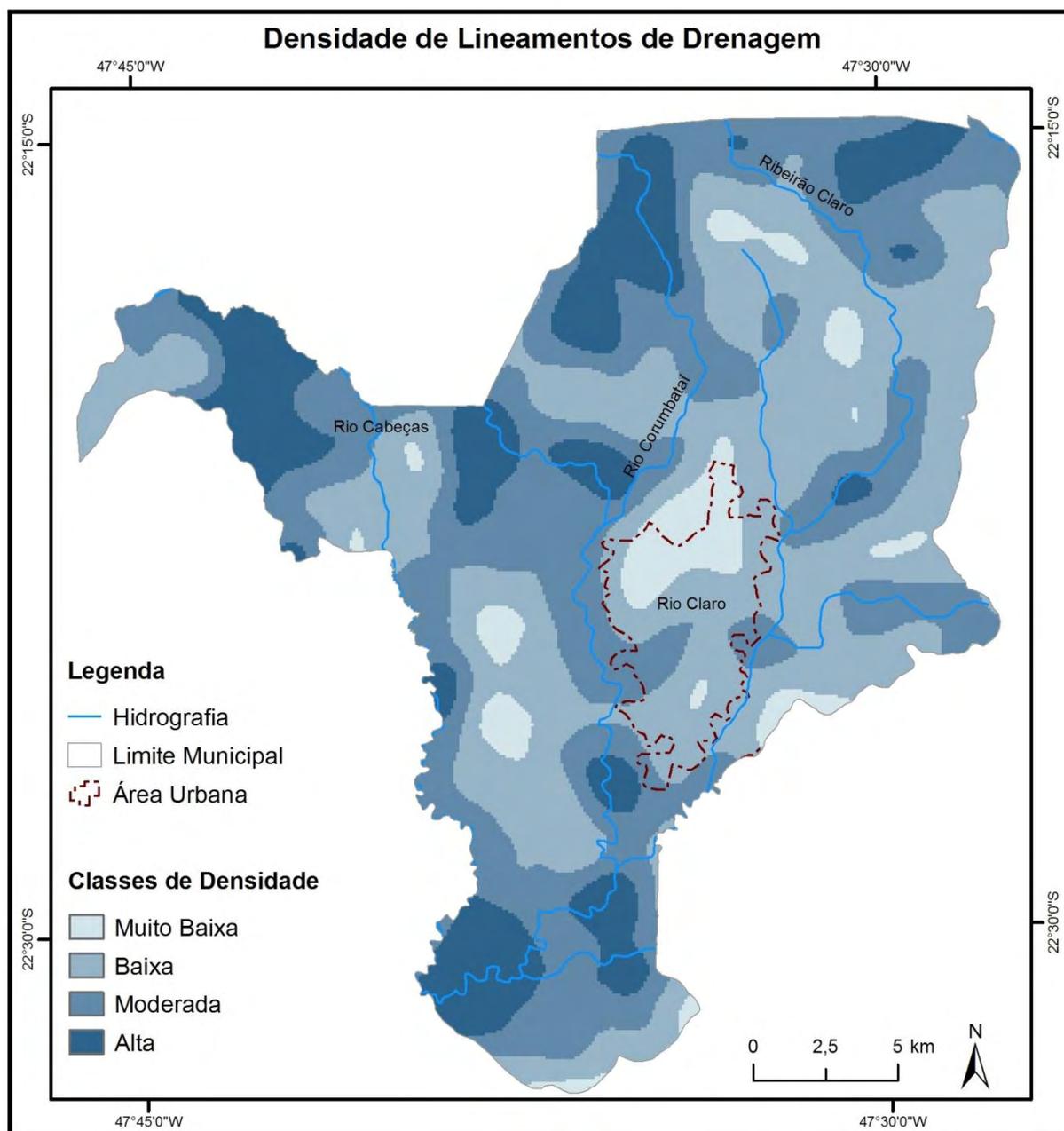


Figura 15: Mapa de densidade de lineamentos estruturais do município de Rio Claro - SP.

### 5.2.3. Traços de Juntas

A Figura 22 apresenta o mapa de traços de juntas, onde foram identificadas 1807 feições, com tamanho médio de 280 m. Essas feições apresentam direções preferências discretas, porém com um leve predomínio das direções N30-70W e N30-70E (direções analisadas mediante diagrama de rosetas), o que configura uma anisotropia moderada, comum em áreas de sedimentação antiga, como a Província Paraná.

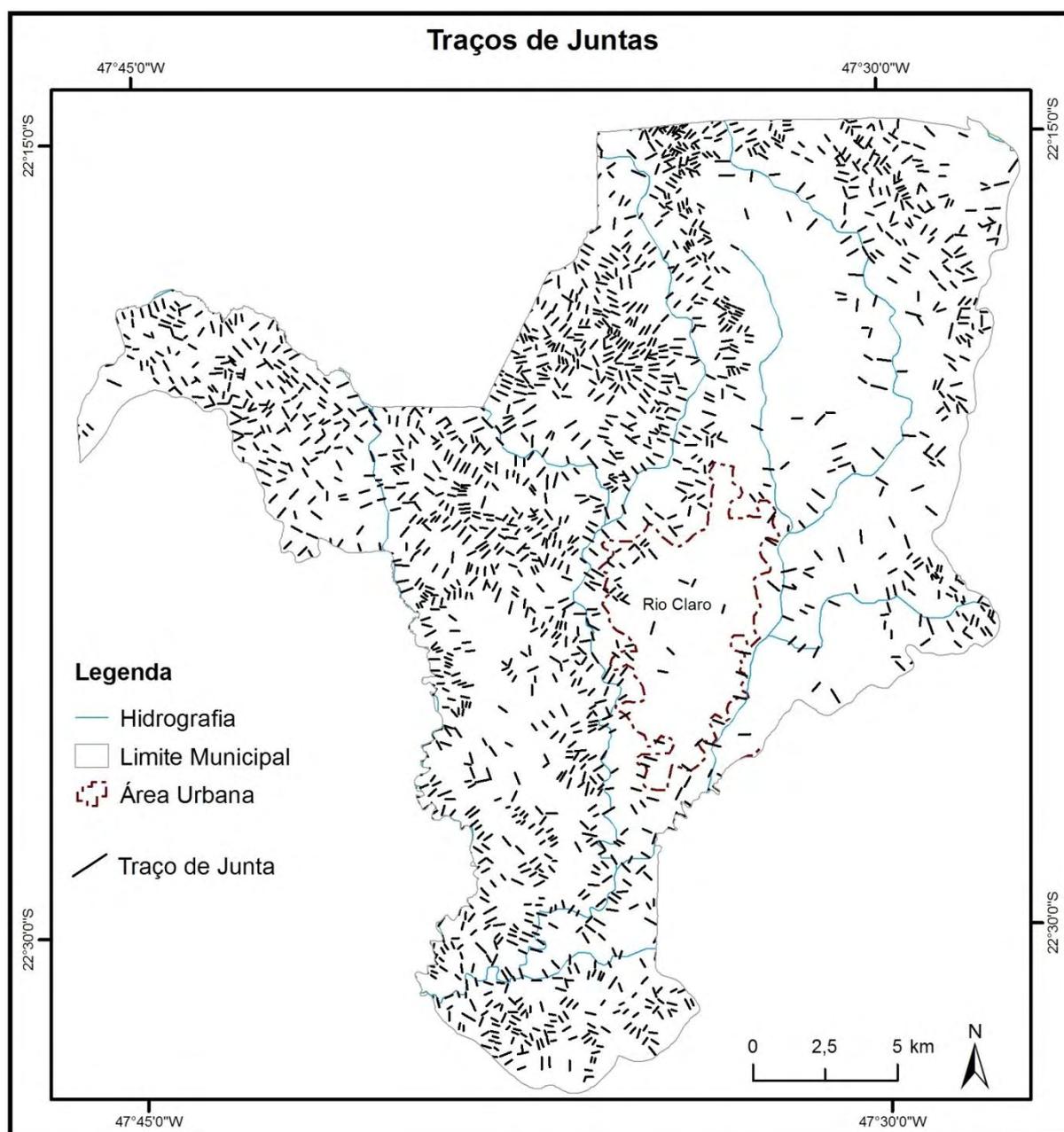


Figura 16: Mapa de traços de juntas do município de Rio Claro - SP.

O mapeamento dos traços de juntas tem a finalidade de auxiliar, juntamente com os lineamentos estruturais, na compreensão do grau e distribuição do fraturamento da área. A análise dos traços de juntas e da sua distribuição espacial permite inferir fatores que controlam os processos morfogenéticos e pedogenéticos, como a permeabilidade, infiltração, plasticidade e ruptibilidade das rochas e, então, fazer recomendações quanto aos usos, proteção ou preservação dessas áreas.

Para a melhor compreensão da distribuição espacial dos traços de juntas foi realizada a análise estatística, pelo estimador de densidade *Kernel*, para determinar as áreas de maior intensidade de ocorrência dessas feições, o mapa de densidade de traços de juntas (Figura 23).

A análise da densidade dos traços de juntas tem finalidade semelhante à análise da densidade dos lineamentos estruturais. Assim, a interpretação em conjunto desses produtos em muito auxilia no entendimento do fraturamento da área e dos processos condicionados pelo grau e distribuição do fraturamento.

Assim, quando comparados os mapas de densidade de lineamentos estruturais e de traços de juntas observa-se forte correlação entre a distribuição espacial dessas feições. O conhecimento da distribuição do fraturamento regional permitiu identificar áreas mais susceptíveis a meteorização, representadas por classes de densidade alta.

Essas áreas devem receber uma atenção especial por parte dos planejadores, pois intervenções antrópicas mal planejadas tendem a desestabilizar as formas de relevo e acelerar os processos erosivos e podem vir a causar severos impactos ambientais negativos, como perda de solo agricultável devido à erosão acelerada e o comprometimento dos recursos hídricos superficiais pelo assoreamento dos canais de drenagem.

As áreas de muito baixa e, por vezes, de baixa densidade de fraturamento, na área de estudo, tendem a ser locais de sedimentação recente que “encobrem” ou mascaram as feições estruturais até que seus sedimentos se ajustem a nova geometria. Tais áreas também devem ser tratadas com cautela, pois são extremamente susceptíveis a implantação de obras sanitárias ou indústrias de produtos líquidos perigosos, devido à alta permeabilidade intragranular dos sedimentos e a possível contaminação do lençol freático caso ocorra um vazamento de produtos ou efluentes contaminantes.

Quando comparadas a distribuição espacial dos traços de juntas e as variáveis geomorfológicas de declividade e curvatura do terreno, nota-se que existe uma alta correlação entre essas variáveis. Onde a densidade de traços de juntas é mais

elevada ocorre um substancial aumento no grau de inclinação das vertentes e uma maior variabilidade entre formas côncavas e convexas. Tal correlação permite deduzir que quanto maior a densidade de fraturamento da área, maior serão as inclinações das vertentes e o grau de dissecação das paisagens.

Outra dedução feita é que em áreas mais fraturadas os agentes morfogenéticos serão mais evidentes do que pedogenéticos, predominando processos erosivos vigorosos, o que limitaria o desenvolvimento de solos muito profundos.

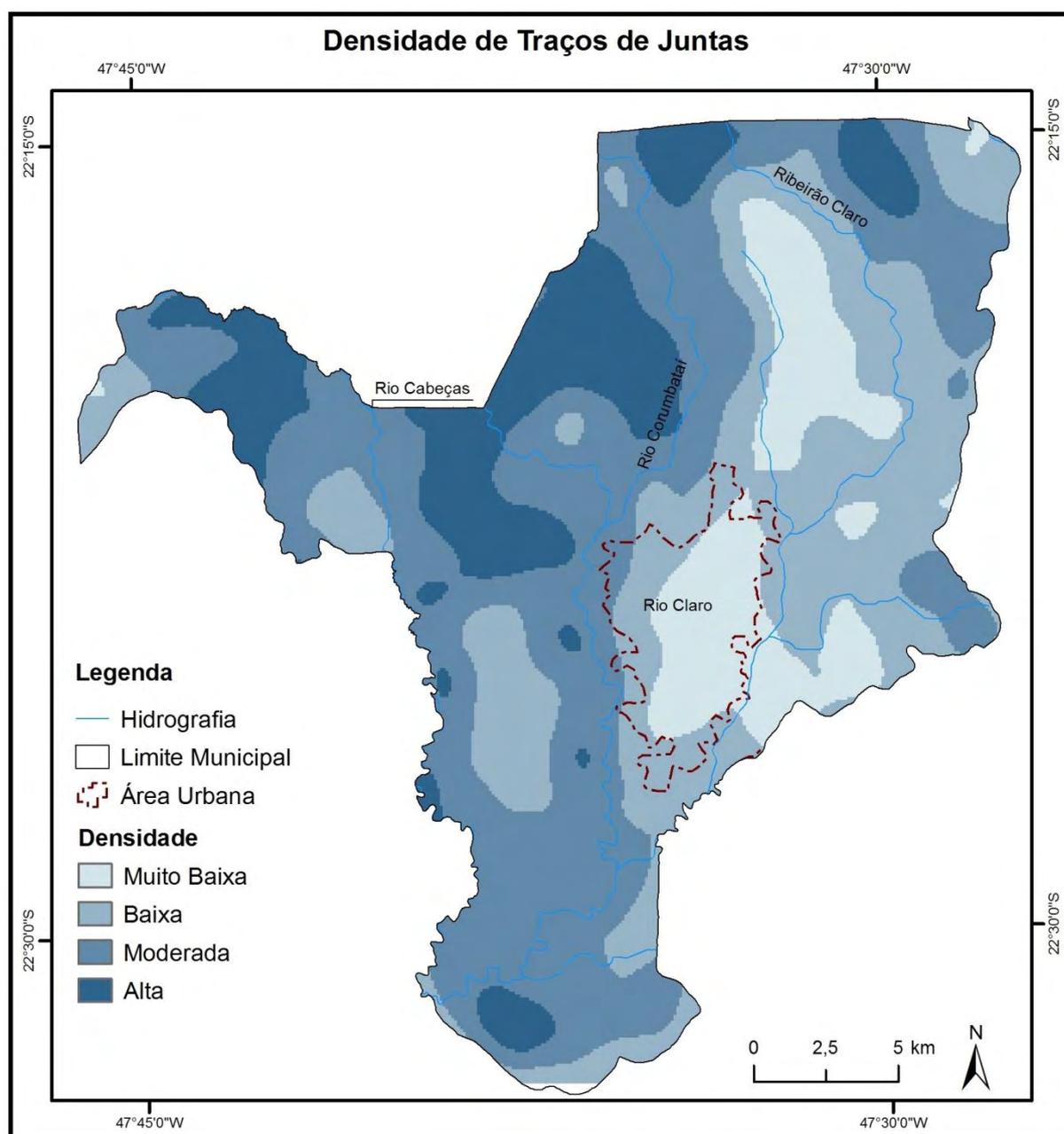


Figura 17: Mapa de densidade de traços de juntas do município de Rio Claro - SP.

### 5.2.4. Morfoestruturas e Linhas de Contorno Estrutural não Cotadas

Após a extração da rede de drenagem prosseguiu-se com a análise das formas de drenagem que se destacam como anomalias dentro do padrão dendrítico a subdendrítico que caracteriza a área do município de Rio Claro.

Na análise das formas anômalas de drenagem (Figura 24) foram identificadas as formas anelares e radiais, onde treze dessas formas avaliadas como simples incompleta e com baixo grau de estruturação, e apenas uma como simples completa, porém também com baixo grau de estruturação, pois possui formas radiais em apenas um de seus quatro quadrantes.

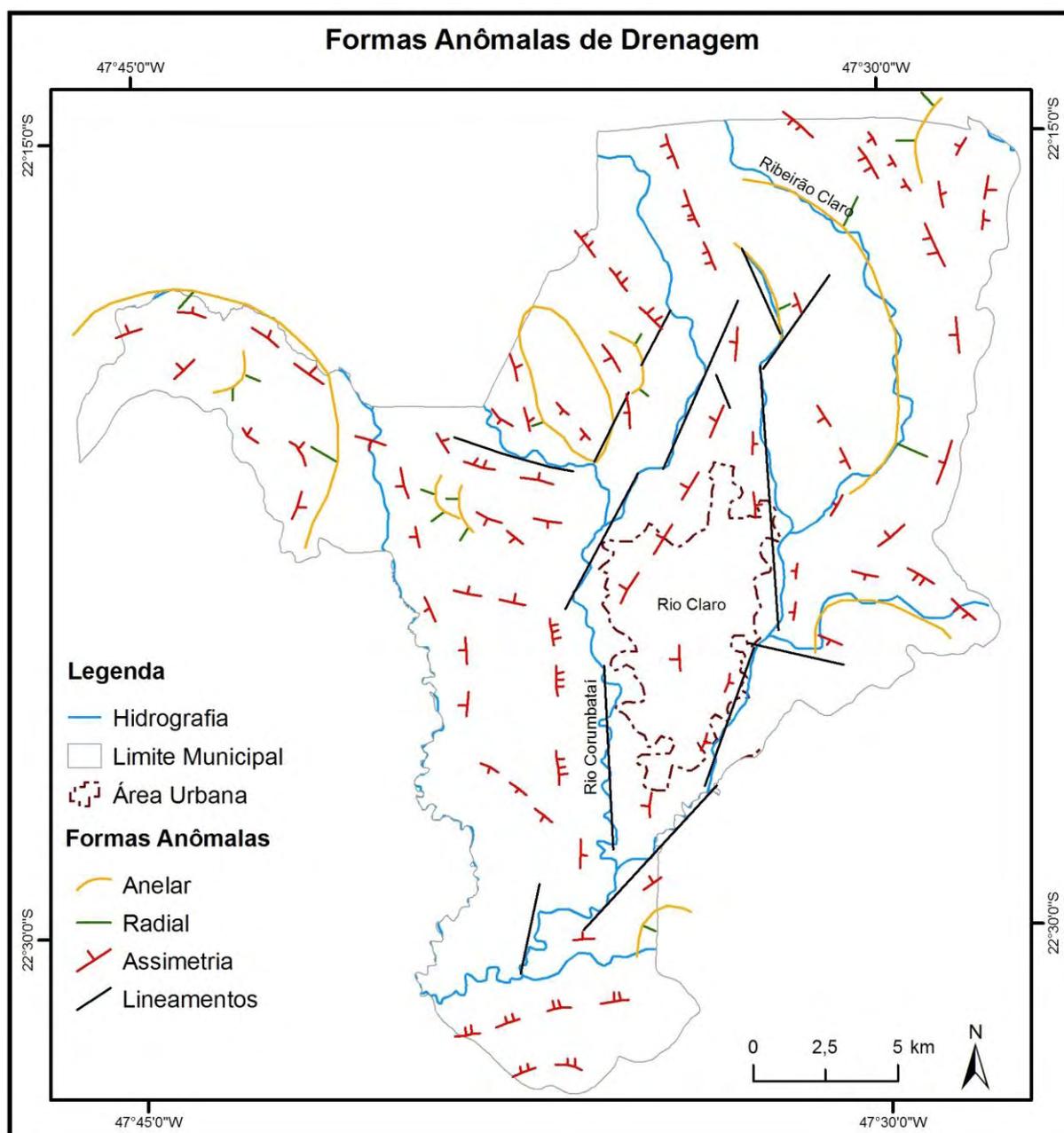


Figura 18: Mapa de formas anômalas de drenagem, a partir de fotografias aéreas 1:25.000.

A identificação das assimetrias teve como princípio a análise da rede de drenagem, onde foi avaliada a configuração dos afluentes dos canais principais com o objetivo de identificar o sentido do mergulho das camadas.

As formas de assimetria também foram classificadas de acordo com o grau de estruturação (Figura 6), representado pela quantidade de traços que indicam o mergulho das camadas. O grau de estruturação da grade maioria das assimetrias foi classificado como baixo (um traço) ou médio (dois traços).

Os lineamentos estruturais foram identificados, principalmente, a partir de feições alinhadas de drenagem, como nos rios Passa Cinco/Cabeças, Corumbataí e o ribeirão Claro. Entretanto, algumas feições de relevo representadas por quebras negativas também foram interpretadas como lineamentos estruturais. Nessa etapa foram selecionados apenas os lineamentos que interferem na conformação e distribuição das morfoestruturas e linhas de contorno estrutural não cotadas.

O mapa de formas anômalas de drenagem, apesar da grande quantidade de informações sobre o arcabouço estrutural, deve ser considerado um mapa intermediário ou de análise. Ao final da análise das formas anômalas de drenagem foi possível determinar quais dessas formas, ou a convergências de formas, apresentam maiores evidências de refletirem estruturas geológicas profundas, e assim elaborar o mapa de linhas de contorno estrutural não cotadas (Figura 25).

Como consequência foram encontradas algumas dezenas de altos e baixos estruturais na área, sem que houvesse o predomínio de um tipo de morfoestrutura em detrimento de outro. Algumas morfoestruturas apresentam forte estruturação, o que evidencia o reflexo de estruturas geológicas profundas, e outras, baixa estruturação, podendo estar associadas a estruturas menos evidentes ou até mesmo a relacionados a processos morfogenéticos.

Os altos estruturais, em geral, apresentam-se como feições amplas, com formas circulares ou pouco deformadas. Encontram-se predominantemente na periferia da área estudada, quase sempre associados a intrusões de Diabásio, como caso da porção a leste da área urbana de Rio Claro onde se encontra o horto florestal; nas áreas mais elevadas a nordeste do município onde encontramos o sill de Diabásio da Mata Negra e; na porção sul, onde ocorre a presença de uma estrutura dômica intensamente debatida na literatura geológica (SOUSA, 2002), o Domo de Pitanga.

Outras morfoestruturas que configuram altos bem estruturados são observadas nas áreas topograficamente altas do extremo oeste do município e estão associadas

aos remanescentes da Superfície Urucáia (PENTEADO, 1968). No centro da área também são encontrados altos estruturais, esses estão associados aos remanescentes da Formação Rio Claro e localmente se apresentam como altos estruturais e altos topográficos.

Os baixos estruturais, em geral, possuem formas alongadas e estreitas quase sempre associadas aos principais vales fluviais, o que indica um forte controle estrutural da rede de drenagem, possivelmente condicionada por pequenos “grabens”.

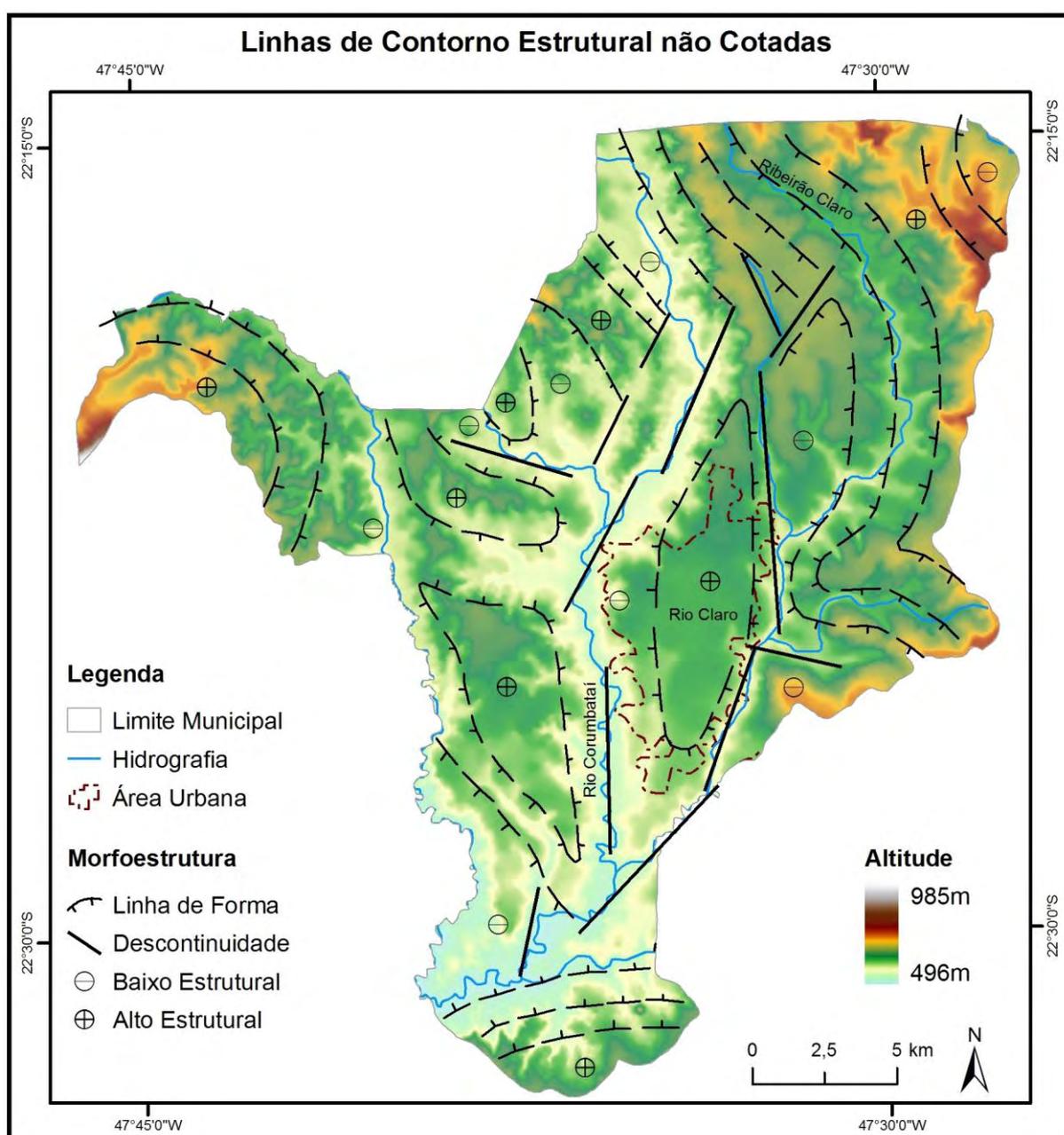


Figura 19: Mapa de linhas de contorno estrutural não cotadas do município de Rio Claro-SP.

O controle estrutural também pode ser observado a partir da análise da geometria retilínea dos principais canais fluviais e da dimensão e distribuição das planícies de inundação que, quando presentes, nem sempre são proporcionais aos canais fluviais, com rios de pequeno porte em relação a sua planície de inundação. Grande parte dos canais fluviais da área possui cursos estabelecidos diretamente sobre o substrato rochoso e apresentam formas que indicam forte controle estrutural, como corredeiras, cotovelos e trechos retilíneos.

Apesar da aparente monotonia referente à distribuição das feições morfoestruturais, existem algumas áreas onde essa monotonia é quebrada, surgindo morfoestruturas que provavelmente evidenciam um controle pela distribuição dos lineamentos estruturais ou inversões de relevo.

A área que mais chama a atenção quanto à distribuição das morfoestruturas é a porção a nordeste da área urbana de Rio Claro, situada na porção mais elevada de um amplo planalto (o Planalto Sedimentar de Rio Claro) que se estende por quase toda a área da direção N/S. Com relação ao relevo essa área se apresenta como um alto topográfico plano e extenso, entretanto quanto a sua situação morfoestrutural nota-se a existência de um amplo baixo estrutural alinhado na direção NW/SE.

Outra peculiaridade da mesma área são os limites das morfoestruturas, que geralmente coincidem com grandes lineamentos estruturais. Assim, o comportamento do mergulho das camadas deve ter sido influenciado por falhamentos recentes, que provavelmente aproveitaram antigas zonas de fraqueza e atualmente estão refletidos em superfície, condicionando a disposição da rede de drenagem e do relevo.

A análise do tamanho, forma e disposição dos altos e baixos estruturais, permite notar que os altos apresentam formas amplas, circulares e bem estruturadas, já os baixos apresentam formas estreitas, por vezes alongadas e deformadas e, em geral, com pequena estruturação, condicionados por lineamentos estruturais. Devido a tal configuração, conclui-se que o nível erosivo da área não é muito profundo, pois os altos estruturais permanecem com suas feições amplas (largas) e os baixos estruturais com feições estreitas.

Além de caracterizar as estruturas a análise morfoestrutural pode ser aplicada a diferentes áreas das geociências, entre elas a pesquisa de hidrocarbonetos, planejamento territorial, obras civis e sanitárias, problemas de erosão e questões ambientais. Jiménez-Rueda *et al.* (1993) propõem que análise morfoestrutural é fundamental para a estabelecer a dinâmica das paisagens e, assim, compreender

suas potencialidades e fragilidades, para que desta maneira se possa planejar as diversas formas de uso da terra em concordância com seu potencial ambiental.

Tal afirmação é válida a partir do entendimento de que as morfoestruturas exercem forte controle sobre os processos que ocorrem em subsuperfície e superfície, pois condiciona os aspectos pedogeoquímicos e fisiográficos e, assim, interfere de maneira relevante nas potencialidades e fragilidades frente às intervenções antrópicas e o uso e manejo adequado dos solos.

O Quadro 4 resume a relação entre as morfoestruturas e processos pedogeoquímicos e o Quadro 5 relaciona as morfoestruturas e suas principais aplicações ambientais.

Quadro 4: Relação entre anomalias morfoestruturais e processos superficiais, modificado de Jiménez-Rueda *et al.* (1993)

	<b>Alto Topográfico Alto Estrutural</b>	<b>Baixo Topográfico Alto Estrutural</b>	<b>Baixo Topográfico Baixo Estrutural</b>	<b>Alto Topográfico Baixo Estrutural</b>
Intemperismo	Muito forte	Forte	Fraco	Moderado/forte
Circulação de água	Intensa	Média a alta	Alta e direcionada	Baixa e direcionada
Processos	Pedogênese > Morfogênese	Morfogênese > Pedogênese	Morfogênese > Pedogênese	Pedogênese > Morfogênese
Coberturas de Alteração Intempérica	Latossolização Ferruginização Laterização	Latossolização Ferruginização Laterização Argilização Melanização	Melanização Gleização Cambissolização	Argilização Latossolização Melanização Cambissolização
Unidades de Alteração Intempérica	Alíticas Monosialíticas Mono/alítica/bisialítica	Monosialíticas Alíticas Mono/bisialítica	Bisialítica Monosialítica	Mono/bisialítica Bi/monosialítica Mono/ali/bisialítica
Minerais de Argila	Caulinita Gibsitita	Caulinita Gibsitita Esmectita	Esmectita Caulinita	Caulinita Esmectita
Processos Especiais	Bauxitização Latossolização Laterização Hidrólise total Oxidação total Dessilicificação Depotatização Desodificação Descalcificação Descarbonatação	Hidrólise total/parcial Silicificação parcial Argilização parcial Oxidação parcial	Hidrólise insipiente Silicificação intensa Redução intensa Argilização intensa	Hidrólise total/parcial Oxido/Redução moderada Argilização
Tipos de solos	Argissolos Cambissolos	Argissolos Cambissolos Neossolos	Gleissolos Neossolos Organossolos	Argissolos Cambissolos Neossolos Gleissolos

Quadro 5: Morfoestruturas: potencialidades e limitações, modificado de Jiménez-Rueda *et al.* (1993) e Shimbo (2006).

	Alto Topográfico Alto Estrutural	Baixo Topográfico Alto Estrutural	Baixo Topográfico Baixo Estrutural	Alto Topográfico Baixo Estrutural
<b>Agricultura</b>				
Fertilidade	Atual e potencial muito baixa	Atual e potencial baixa/média	Atual e potencial muito alta	Atual e potencial média/alta
Erosão	Quase nula	Moderada a forte	Muito forte	Muito forte a moderada
Potencialidades gerais	Rotação de culturas anuais e culturas semiperenes	Culturas semiperenes e anuais	Reflorestamentos, horticultura e áreas de proteção ambiental	Culturas semiperenes e reflorestamentos
Mecanização	Intensa	Moderada a restrita	Restrita	Moderada a restrita
Uso de adubos	Restrito	Restrito a inadequado	Inadequado a restrito	Adequado
<b>Obras Civas e Sanitárias</b>				
Estradas	Adequado	Adequado a moderado	Inadequado	Moderado a inadequado
Edificações	Adequado	Moderado	Inadequado	Moderado a inadequado
Aterros	Restrito	Restrito a inadequado	Muito restrito a restrito	Adequado
Efluentes líquidos e sólidos	Restrito	Restrito a inadequado	Inadequado a restrito	Adequado

A análise da distribuição das morfoestruturas (Figura 24) e sua correlação com as potencialidades e fragilidades apresentadas no Quadro 5, observa-se que de maneira geral o município de Rio Claro apresenta na maior parte de suas terras baixa fertilidade potencial, exceto nos vales dos principais rios e na porção a nordeste da área urbana. Já as taxas de erosão esperadas estão entre baixa e moderada.

Desta forma, os planos de manejo e uso do solo rural devem dar maior atenção e incentivo ao desenvolvimento de culturas anuais rotativas e/ou semiperenes nos altos estruturais e reflorestamento ou manejo restrito aos baixos estruturais. O uso de adubo e maquinário também deve ser restrito a poucas áreas do município e incentivada a adoções de práticas conservacionistas dos solos principalmente nos baixos estruturais.

A implantação de obras civis (estradas e edificações) deve restringir-se aos altos estruturais, preferencialmente aqueles que coincidam com altos topográficos, como é o caso de boa parte da área urbana de Rio Claro. Os baixos estruturais devem ser evitados, principalmente quando associados a baixos topográficos. Em geral os baixos/baixos apresentam problemas constantes com solos mal drenados

(hidromórficos) que quando passam por um processo de drenagem artificial apresentam inúmeros problemas devido à presença de argilominerais 2:1, como a instabilidade, colapsividade e erodibilidade.

Sabe-se que a escolha do local adequado para a implantação de obras sanitárias precisa ser realizada com extremo rigor, pois caso contrário os riscos de contaminação aumentam significativamente. Desta forma, a análise morfoestrutural em muito pode contribuir na prospecção de locais propícios para a implantação desse tipo de obra.

No caso dos aterros sanitários procura-se por morfoestruturas do tipo baixo estrutural e alto topográfico composta por material argiloso impermeável e de alta atividade catiônica, o que dificulta a percolação e circulação dos resíduos líquidos (chorume) inerentes a esse tipo de empreendimento. Para exemplificar esse tipo de estrutura pode ser feita uma analogia com uma taça de vinho, onde todo o vinho derramado na taça fica retido no seu interior em uma posição elevada em relação à base da taça.

Entretanto, a análise morfoestrutural deve ser aplicada apenas na fase inicial da prospecção, com a finalidade de estabelecer áreas com maior probabilidade de acerto. Estudos que permitam detalhar as estruturas e o comportamento dos solos/rocha devem ser aplicados para que a área possa ser explorada de maneira segura e eficiente. Para o detalhamento das feições morfoestruturais são utilizados métodos geofísicos, análises físicas, químicas e mineralógicas dos solos, além de levantamentos em campo.

Na área do município de Rio Claro existem apenas duas áreas que possuem características semelhantes às que contemplem obras sanitárias, uma já discutida a nordeste da área urbana e outra na porção centro-oeste do município. Contudo, ambas as estruturas possuem fraco grau de estruturação e apresentarem solos/rocha extremamente arenosos, o que não contribui para o controle da percolação e circulação do chorume, sendo pouco confiáveis para esse tipo de empreendimento.

### **5.3. Caracterização Fisiográfica**

A caracterização fisiográfica do município de Rio Claro foi elaborada a partir da aplicação do método de interpretação de imagens denominado análise fisiográfica, que permitiu delimitar e caracterizar as unidades fisiográficas. Para a caracterização das

unidades fisiográficas também foram utilizados os dados provenientes da análise geomorfométrica (hipsometria, declividade e curvatura do terreno), análise morfoestrutural (rede de drenagem, linhas de forma, altos e baixos estruturais, lineamentos estruturais e traços de juntas) e levantamentos de campo.

Assim, o objetivo da análise fisiográfica é identificar, delimitar, caracterizar, classificar e cartografar as diferentes unidades da paisagem, unidades essas denominadas de unidades fisiográficas. Os resultados obtidos são representados pelo Mapa Fisiográfico do município de Rio Claro e sua respectiva Legenda Fisiográfica, ambos apresentados no Anexo 2.

A classificação das unidades fisiográficas ocorreu em seis níveis categóricos, de acordo com a proposta de Villota (1992).

Os três níveis categóricos superiores não apresentam variações na área de estudo e sua definição e caracterização ocorreu com o apoio da bibliografia consultada para elaboração do Diagnóstico Zero, recebendo a denominação de Província Paraná (primeiro nível categórico – Província Fisiográfica), Clima tropical úmido com duas estações bem marcadas (segundo nível categórico – Unidade Climática) e Depressão Periférica Paulista (terceiro nível categórico – Grande Paisagem).

Portanto, a análise fisiográfica propriamente dita (fotointerpretação) foi direcionada para a compreensão dos três níveis categóricos inferiores (quarto nível - Paisagens Fisiográficas, quinto nível - Subpaisagens e sexto nível - Elementos da Paisagem). O Quadro 6 apresenta, de forma resumida, a organização hierárquica das unidades fisiográficas mapeadas, para maiores detalhes deve ser observada a Legenda Fisiográfica (ANEXO 2).

Foram identificadas e cartografadas 299 unidades, distribuídas em 4 tipos de Paisagens Fisiográficas (Fluvial, Denudacional/Paleoaluvial, Denudacional e Estrutural). A definição das unidades representativas do quarto nível categórico foi em função da origem das formas de relevo e procurou compreender qual o fator ou processo que predominou quando da origem daquela unidade. A representação das Paisagens Fisiográficas e suas subdivisões pode ser observada na Figura 26, onde a denominação das Paisagens Fisiográficas e escolha das cores seguem a proposta de Verstappen (1983).

Apesar da aparente simplicidade conceitual para a definição das unidades da paisagem, tal definição se apresentou como a tarefa mais complexa da etapa de análise fisiográfica, pois foi encontrada grande variedade de formas de relevo devido à

sobreposição de processos morfogenéticos atuais e passados, que determinam um caráter policíclico à paisagem. Assim, tentou-se identificar qual o fator ou processo, ou conjunto de fatores e processos, que melhor caracteriza a paisagem atual, sua origem e evolução.

Para a melhor representação e caracterização das Paisagens Fisiográficas, essas receberam denominações próprias, com base nas tipologias e denominações locais, como o nome de rios, localidades e feições da paisagem popularmente conhecidas. Desta forma, foram definidas 13 “subunidades”, que não representam um novo nível hierárquico, pois a origem e processos entre as subdivisões das mesmas Paisagens Fisiográficas são semelhantes.

Quadro 6: Síntese da organização hierárquica das unidades fisiográficas do município de Rio Claro-SP.

Paisagem Fisiográfica		Subpaisagem	Elemento da Paisagem
Fluvial	Planície de Inundação do rio Corumbataí (Fc)	1 – do Canal principal 2 – dos Afluentes 3 - Terraço	
	Planície de Inundação dos rios Passa Cinco/Cabeças (Fp)		
	Planície de Inundação do ribeirão Claro (Fr)		
Denudacional Paleoaluvial	Planalto Sedimentar de Rio Claro (Ps.1)	1 - Topo 2 - Encosta 3 - Lagoa abandonada	(Topo) 1 - Extrema// Baixo 2 - Muito Baixo 3 - Baixo 4 - Médio 5 - Alto 6 - Muito Alto 7 - Extrema// Alto
	Planalto Sedimentar do Campo do Coxo (Ps.2)		
	Planalto Sedimentar Residual (Ps.3)		
Denudacional	Planalto/Terraço Dissecado (Pt)	1 - Topo 2 - Encosta	(Forma da Encosta) 1 - Convexa 2 - Côncava 3 - Retilínea 4 - Mista
	Planalto de Itapé (Pi)		
	Planalto de Urucáia (Pu)		
	Planalto do Bizigueli (Pb)		
Estrutural	Planalto do Horto Florestal (Ph)	1 - Topo 2 - Encosta	(Declividade da Encosta) p - Plano s - Suave m - Moderado f - Forte e - Escarpado
	Planalto da Mata Negra (Pm)		
	Domo de Pitanga (D)		

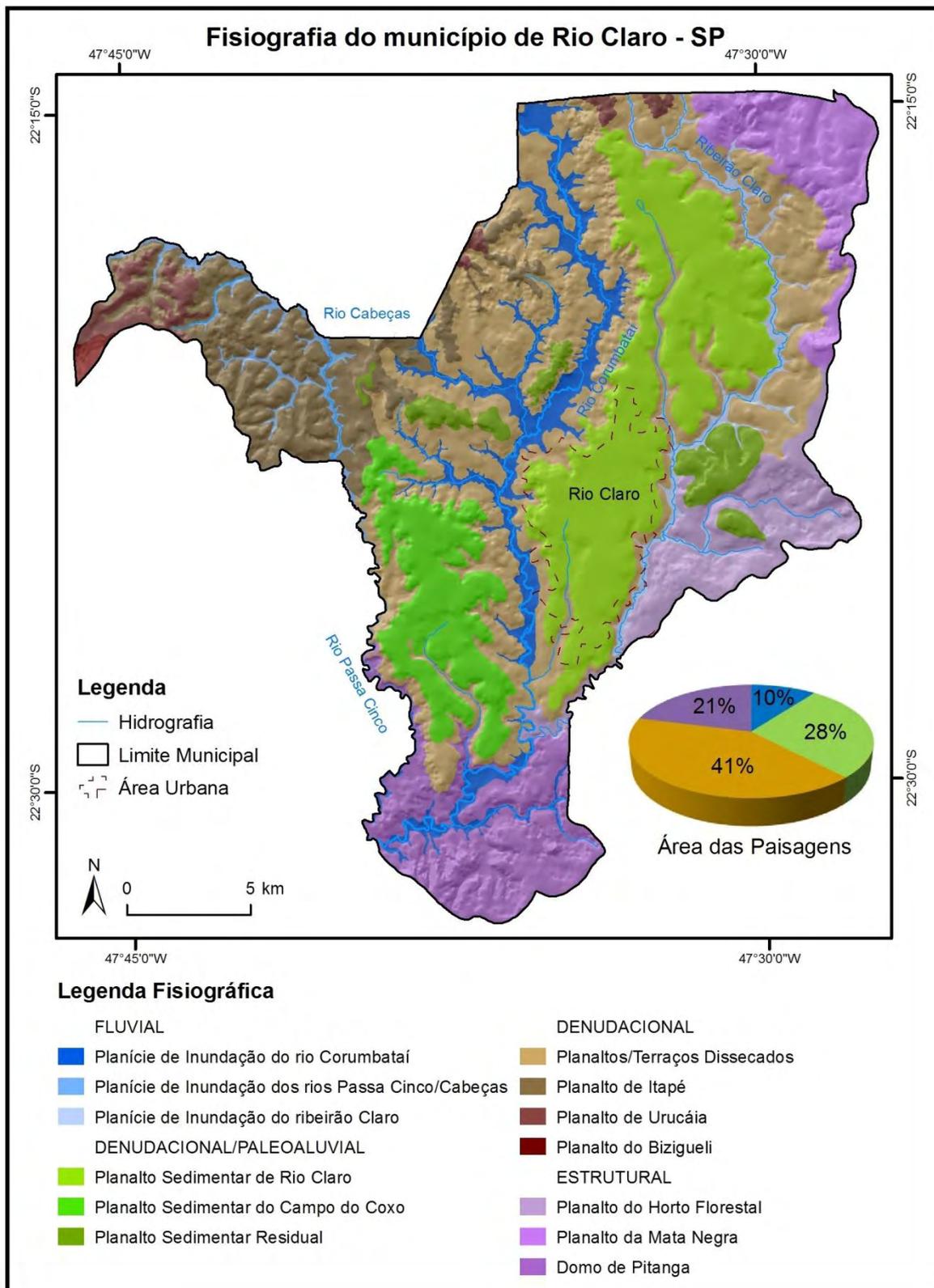


Figura 20: Representação das Paisagens Fisiográficas do município de Rio Claro-SP.

As subpaisagens (quarto nível hierárquico) foram definidas de acordo com as formas básicas do relevo e correspondem a subdivisões das Paisagens Fisiográficas.

Para as paisagens fluviais foram encontradas três subpaisagens, as planícies de inundação dos canais principais, as planícies de inundação dos afluentes e os terraços. Entretanto, a maior parte das paisagens fluviais não foi dividida em subpaisagens devido à limitada espessura dessas unidades. Uma exceção foi a planície do rio Corumbataí que, devido a maior robustez e, conseqüentemente, maior capacidade de erosão e sedimentação do sistema fluvial, foi possível identificar e cartografar planícies de inundação relacionadas ao canal principal, seus afluentes e terraços.

Nas Paisagens Fisiográficas onde predominam os processos erosivos, as formas básicas que definiram as subpaisagens foram os topos, as encostas e algumas lagoas abandonadas. As unidades de topo e encostas são comuns em todas as paisagens que não as Fluviais, entretanto, as lagoas abandonadas são unidades características das paisagens Denudacionais/Paleoaluviais, estando presentes no topo dos planaltos sedimentares que dão origem a essas paisagens.

Os topos foram definidos como unidade superior das vertentes e apresentam relevo plano a quase plano mais elevado que seu entorno, seu limite com as encostas ocorre por ruptura de relevo positiva, quase sempre muito suave.

As encostas foram definidas como unidade intermediária das vertentes e apresentam relevo acidentado que pode variar de suave a forte ondulado, na porção superior geralmente faz limite com os topos por rupturas positivas de relevo, e na porção inferior limita-se com planícies de inundação ou talwegues por rupturas negativas de relevo. Entretanto, comumente as unidades de encosta são limitadas por outras unidades de encosta, tanto na porção superior como na inferior e tal limite pode ocorrer tanto por rupturas de relevo positivas como rupturas negativas.

Para uma melhor caracterização das unidades de topo e encosta foram utilizados parâmetros morfométricos, que possibilitaram a distinção e descrição dessas unidades. Na a descrição dos topos foram utilizados como parâmetros os dados relativos à altitude, obtidos com o auxílio da carta de classes de hipsometria. Assim, os topos foram organizados de acordo com suas altitudes relativas e absolutas e podem variar de uma paisagem para outro e também dentro da mesma paisagem. Já na descrição das unidades de encosta foram utilizados dados advindos das cartas de classe de declividade e curvatura do terreno, assim como a descrição das formas das

encostas a partir de fotointerpretação. A utilização desses parâmetros para a distinção e descrição das subpaisagens permitiu que atingíssemos o sexto nível categórico, representados por Elementos da Paisagem (Quadro 6).

A opção pelos termos topo e encosta se deu pelo caráter genérico e descritivo de ambos, não havendo uma associação direta com a evolução das formas do relevo, mas sim com o tipo da forma, seu posicionamento na vertente e os processos predominantes.

A seguir serão descritas as propriedades e características das Paisagens Fisiográficas mapeadas para o município de Rio Claro. A representação dessas paisagens pode ser observada na Figura 26 e com maior detalhe no Anexo 2, onde além das Paisagens Fisiográficas também são representados os níveis categóricos de Subpaisagens e Elementos da Paisagem.

### **5.3.1. Paisagem Fluvial**

As Paisagens Fisiográficas Fluviais ocorrem em áreas restritas nas porções mais rebaixadas do terreno, ocupando aproximadamente 10% do município de Rio Claro.

Em fotografias aéreas são caracterizadas por tonalidades escuras, devido ao elevado teor de umidade e relevo essencialmente plano, gerado por processos agradacionais de origem fluvial que depositam seus sedimentos a montante dos níveis de base locais, onde se desenvolvem as planícies de inundação e formas de relevo associadas (várzeas, diques marginais, rompimento de diques, praias e terraços).

Entretanto, a jusante dos níveis de base locais, que geralmente estão condicionados por rochas intrusivas (Diabásio), os rios assumem uma condição mais erosiva, com vales profundos em forma de “V” e leitos diretamente sobre as rochas mais antigas e profundas.

Os sedimentos encontrados nessas paisagens são de idade holocênica, com domínio de material arenoso e arredondado, exceto em lagoas marginais onde predominam sedimentos finos e material orgânico. Portanto, os solos são pouco desenvolvidos e constantemente retrabalhados e/ou renovados pelos processos fluviais, caracterizados como Neossolos Flúvicos, Gleissolos ou Organossolos nas áreas mais frequentemente alagadas.

Na área de estudo os três principais sistemas de drenagem que dão origem a paisagens fluviais são os rios Corumbataí, Passa Cinco/Cabeças e o ribeirão Claro. A

seguir serão apresentadas as propriedades e características de cada um desses sistemas.

### 5.3.1.1. Planície de Inundação do rio Corumbataí (Fc)

A Planície de Inundação do rio Corumbataí está localizada as margens do rio de mesmo nome, na porção central da área (Figura 27I) e com direção N/S. O rio Corumbataí constitui-se o maior sistema de drenagem que cruza o município de Rio Claro. Apresenta suas nascentes ao norte da área, nas escarpas arenito-basálticas que caracterizam o relevo de cuestiforme da região central do Estado de São Paulo.

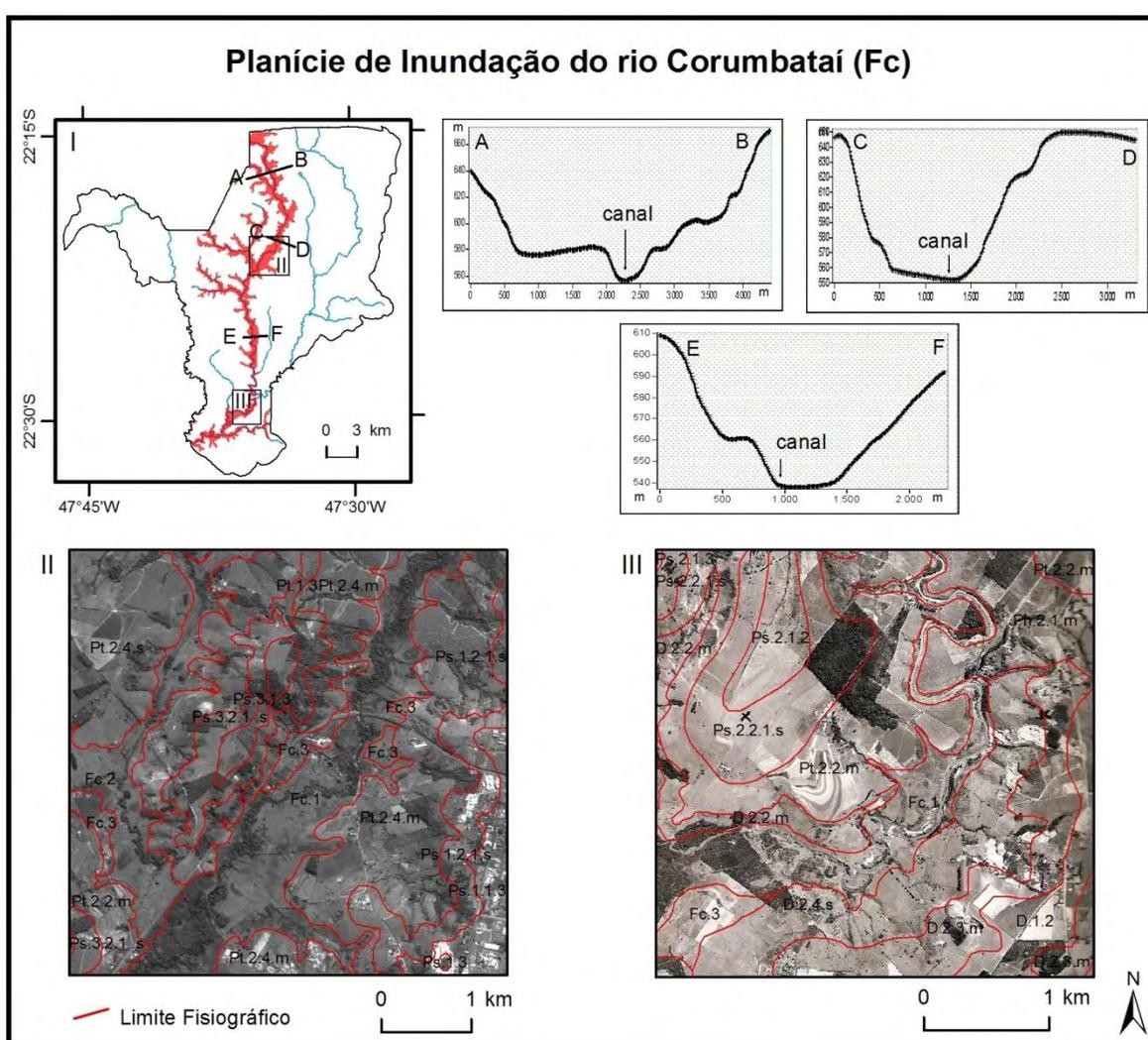


Figura 21: Representação esquemática da unidade Planície de Inundação do rio Corumbataí. I) localização e distribuição da unidade; II) trecho do rio Corumbataí com meandramento e terraços; III) trecho do rio Corumbataí com forte influência estrutural na configuração da planície; A-B, C-D e E-F) perfis transversais representativos da paisagem.

A Planície de Inundação do rio Corumbataí abrange uma área de aproximadamente 34,5 km<sup>2</sup> e corresponde a 6,8% de toda a área de estudo. É representada por relevos planos, gerados a partir da sedimentação de origem fluvial.

Na porção norte e central da área, o rio Corumbataí corre sobre as rochas silto-argilosas da Fm. Corumbataí, onde apresenta planícies mais amplas com canal principal do rio assumindo comportamento meandrante, porém condicionado por uma estrutura geológica que lhe determina a direção a seguir, e o desenvolvimento de terraços fluviais (Figura 27II). Também é frequente a presença de diques marginais de aproximadamente 2 m de altura em relação ao canal (Figura 28C) e presença de várzeas constantemente alagadas (Figura 28 A e B).

A análise dos perfis transversais A-B, C-D e E-F, presentes na Figura 27, permite notar que o vale do rio Corumbataí não se trata de uma feição simétrica, o que reforça a evidência da influência estrutural no seu desenvolvimento.

Nos mesmos perfis transversais observa-se a presença de rupturas de relevo completas (positiva e negativa) bem acentuadas nas encostas desses vales, indicativo de terraços ou resquícios de terraços desenvolvidos em épocas pretéritas.

Morales (2005) aponta que os terraços estão em níveis altimétricos superiores ao canal de drenagem atual, o que pressupõe o abandono desses elementos pelo canal principal, influenciado por movimentos neotectônicos, principalmente falhas normais N/S no vale do rio Corumbataí. Outra explicação que deve ser levada em consideração é a ocorrência de possíveis modificações climáticas, que conferiram maior competência erosiva ao rio Corumbataí o qual erodiu seus próprios sedimentos, entalhando seu vale e deixando como resíduo diversos níveis de terraços.

O mais provável é a ocorrência de processos combinados, onde no decorrer do soerguimento das paisagens a capacidade erosiva da rede de drenagem foi ampliada, o que possibilitou o aprofundamento do vale do rio e o abandono dos terraços, agora elevados e descontínuos na paisagem. Esses terraços fazem parte das unidades de encosta da Paisagem Fisiográfica Denudacionais/Paleoaluviais e Paisagens Fisiográficas Denudacionais, porém não são passíveis de mapeamento na escala em que se trabalhou nesta pesquisa.

Na porção mais ao sul a planície do Corumbataí é fortemente controlada por estruturas geológicas, como diques de Diabásio e o Domo de Pitanga, onde muda sua direção para E/W e, em algumas partes, estreita sua área de espraiamento e sedimentação (Figura 27III). Quando da existência de planícies essas ocorrem a

aproximadamente 3 ou 4 metros acima do leito do rio, com inundações muito menos frequentes (Figura 28D).

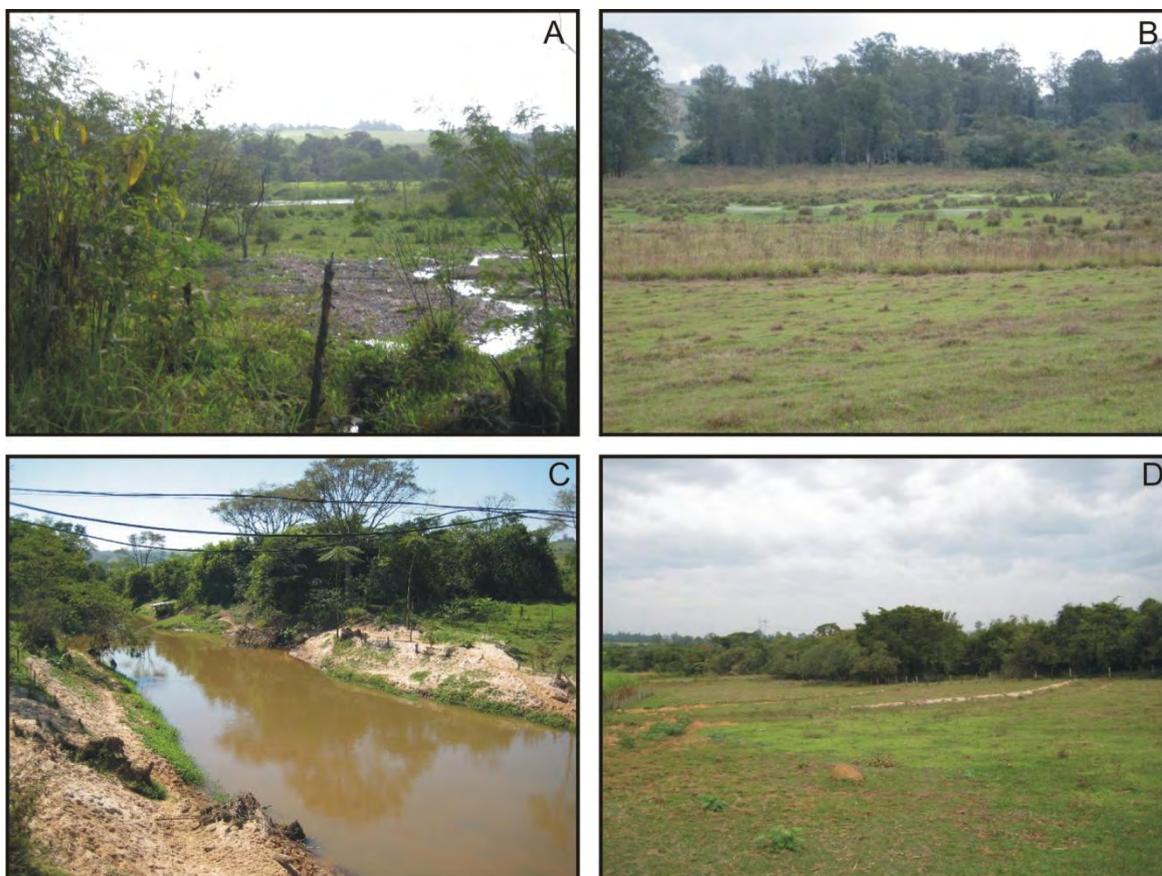


Figura 22: Paisagens representativas da unidade da Planície de Inundação do rio Corumbataí. A) área alagada próxima a cidade de Rio Claro (Ponto 194); B) lagoas marginais (Ponto 153); C) rio Corumbataí e diques marginais (Ponto 165); D) planície do rio Corumbataí na porção sul da área, aproximadamente 4 m acima do nível do rio (Ponto 168).

### 5.3.1.2. Planície de Inundação dos rios Passa Cinco/Cabeças (Fp)

A Planície de Inundação dos rios Passa Cinco/Cabeças, estão localizada as margens dos rios de mesmo nome, na porção extremo oeste da área (Figura 29I), com direção preferencial N/S. O rio Passa Cinco e Cabeças é um sistema de drenagem onde predominam os processos fluviais erosivos frente aos processos deposicionais. Isso ocorre devido o elevado gradiente do perfil longitudinal desses rios.

Essa unidade abrange uma área de aproximadamente 6,4 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 1,3% de toda a área de estudo. O relevo dessa unidade em geral é plano, porém em alguns locais existem grandes desníveis formando corredeiras e cachoeiras.

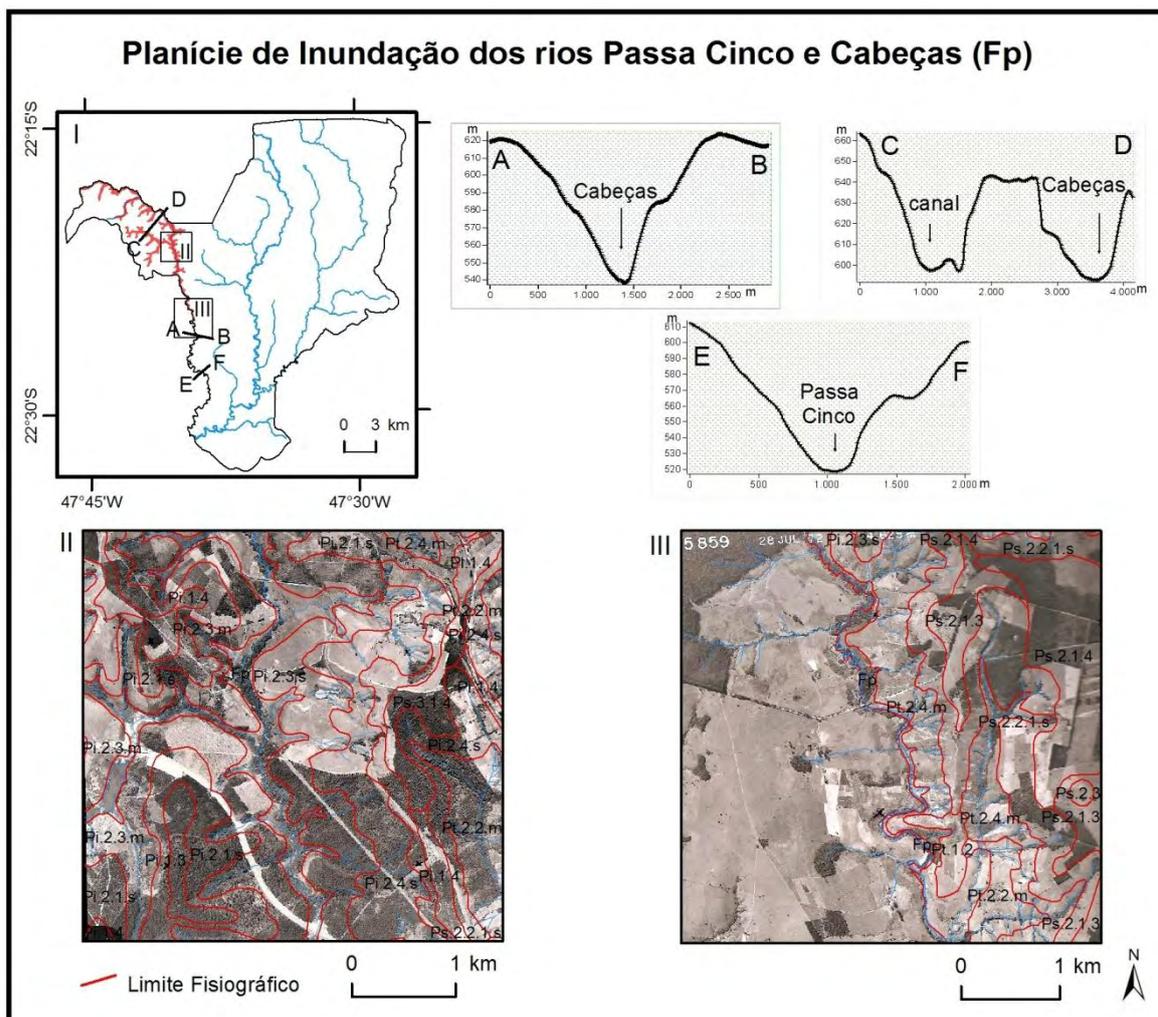


Figura 29: Representação esquemática da unidade Planície de Inundação dos rios Passa Cinco/Cabeças. I) localização e distribuição da unidade; II) trecho da planície do rio Cabeças; III) trecho do rio Passa Cinco sobre rochas intrusivas e vale assimétrico; A-B, C-D e E-F) perfis transversais representativos da paisagem.

Nesse sistema fluvial o rio Cabeças é o principal afluente do rio Passa Cinco e juntos cruzam diferentes unidades geológicas (Fm. Pirambóia, Corumbataí, Irati, Tatuí e Grupo Itararé) desde suas nascentes, nas serras de Itaqueri e Santana respectivamente, até desaguiarem do rio Corumbataí próximo ao extremo sul da área de estudo.

Quando o rio Cabeças apresenta planícies de inundação essas são estreitas, com relevo plano, cercado por relevo suave a ondulado (Figura 29II). Em algumas áreas tais planícies ganham maior amplitude atingindo entre 200 e 300 m de largura (Figura 30A), porém tal situação não é comum. Em geral, o rio Cabeça está fortemente condicionado por estruturas geológicas (Figura 30C), evidenciado por abruptas mudanças de direção do canal principal (cotovelos) e forte angularidade das confluências com os afluentes. Em alguns trechos o curso do rio passa a correr

diretamente sobre o substrato rochoso, predominantemente da Fm. Pirambóia, o que acarreta no aumento da capacidade erosiva do canal e o estreitamento da planície de inundação (Figura 30D), que apresenta pequenas espessuras de sedimentos.

O rio Passa Cinco possui características mais erosivas do que o rio Cabeças, pois praticamente não desenvolve planícies de inundação superiores a 50 m de largura (Figura 29III). Na maior parte do seu curso o canal principal corre sobre substrato rochoso constituído por arenitos, siltitos e argilitos que, em muitas áreas, sofre forte influência de intrusões de Diabásio que comumente afloram no leito do canal (Figura 30B).

Diversos autores (ex. RICCOMINI, 1995; MELO, 1995; SOUSA, 2002) constataram que o rio Passa Cinco é fortemente controlado por falhas e fraturas advindas de eventos tectônicos quaternários, portanto neotectônicos. Uma evidência do controle estrutural no vale do rio Passa Cinco é a forte assimetria das encostas no seu entorno. Os perfis transversais A-B e E-F da Figura 29 demonstram que a assimetria do vale rio Passa Cinco é significativamente maior do que do vale do rio Cabeças e seus afluentes, porém a assimetria se faz presente nos dois sistemas fluviais, o que evidencia a existência de influência estrutural em ambos os casos.



Figura 23: Paisagens representativas da unidade da Planície de Inundação dos rios Passa Cinco/Cabeças. A) planície de inundação do rio Cabeças (Ponto 135); B) leito rochoso (Diabásio) do rio Passa Cinco (Ponto 195); C) controle estrutural no rio Cabeças (Ponto 182); D) leito rochoso (Fm. Pirambóia) e estreita planície de inundação do rio Cabeças (Ponto 173).

### 5.3.1.3. Planície de Inundação do ribeirão Claro (Fr)

A Planície de Inundação do ribeirão Claro está localizada às margens do rio de mesmo nome, na porção leste da área (Figura 31I) e apresenta um comportamento curvilíneo, porém sua direção preferencial é N/S. Trata-se do único dos sistemas fluviais individualizados para este estudo que nasce e deságua no interior do município e é o maior afluente da margem esquerda do rio Corumbataí

Essa unidade abrange uma área de aproximadamente 10,8 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 2,1% de toda a área de estudo. Em sua maior parte, principalmente na porção norte e central, corresponde a relevos planos gerados a partir de sedimentação de origem fluvial.

O ribeirão Claro apresenta comportamento variado no decorrer de seu curso. Próximo as suas nascentes seu canal principal é estreito (<2 m), pouco profundo e pouco caudaloso (Figura 32B) com o desenvolvimento de planícies de inundação com larguras inferiores a 20 m. Apresenta forte controle estrutural evidenciado pela assimetria do seu vale (Figura 31, perfil A-B) que provavelmente foi influenciada pela intrusão de Diabásio na região da Mata Negra, a leste do ribeirão Claro.

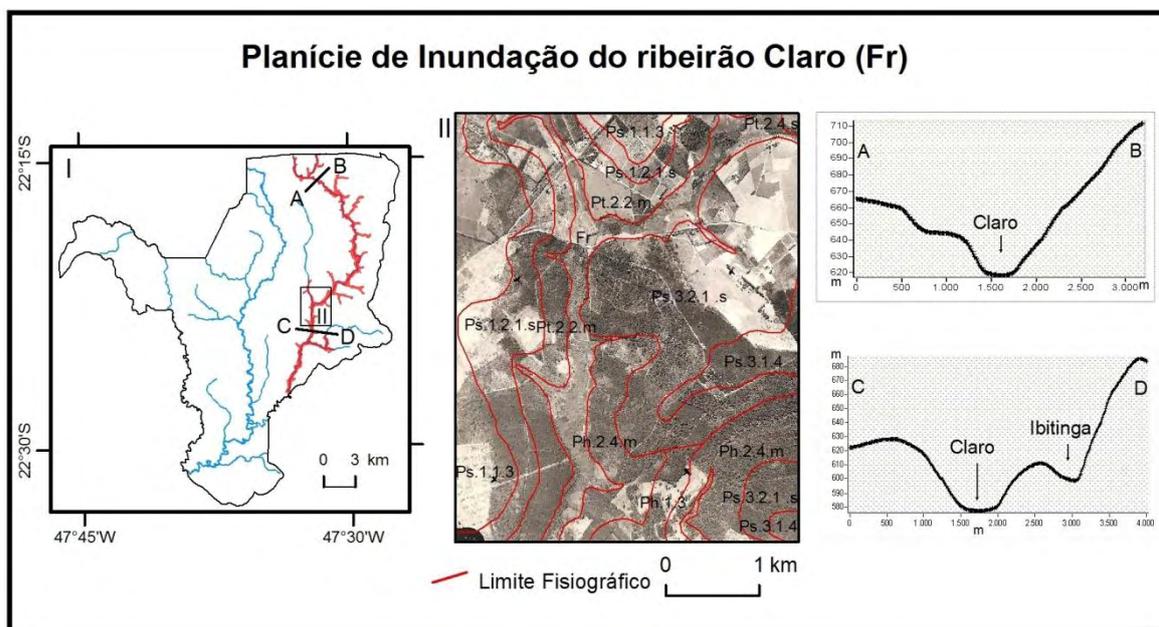


Figura 24: Representação esquemática da unidade Planície de Inundação do ribeirão Claro. I) localização e distribuição da unidade; II) trecho da planície do ribeirão Claro próxima ao horto florestal; A-B, C-D) perfis transversais representativos da paisagem.

No médio curso o canal principal continua com aspecto raquítico, entretanto são encontradas planícies de inundação com larguras de até 100 m (Figura 32C e Figura

31II), que apresentam relevo plano e sedimentos arenosos grosseiros. Os solos dessa planície são pouco desenvolvidos, representados por Neossolos Flúvicos e Gleissolos.

Uma peculiaridade que chama a atenção é a geometria do canal principal, que no seu alto e médio curso apresenta uma forma anelar quase perfeita, indicativo de forte controle das estruturas geológicas sobre o desenvolvimento da drenagem.

No baixo curso o controle estrutural também se faz presente, mas agora na forma de grandes trechos alinhados, leito rochoso com afloramento de Diabásio (Figura 32A), mudanças de direção abruptas e forte assimetria do vale principal e seus afluentes (Figura 31, perfil C-D). Segundo Melo (1995) e Sousa (2002) o baixo curso do ribeirão Claro sofre grande influência da estrutura de Pitanga e intrusões magmáticas locais, com seu curso controlado por um sistema de fraturamento de direção NE/SW.

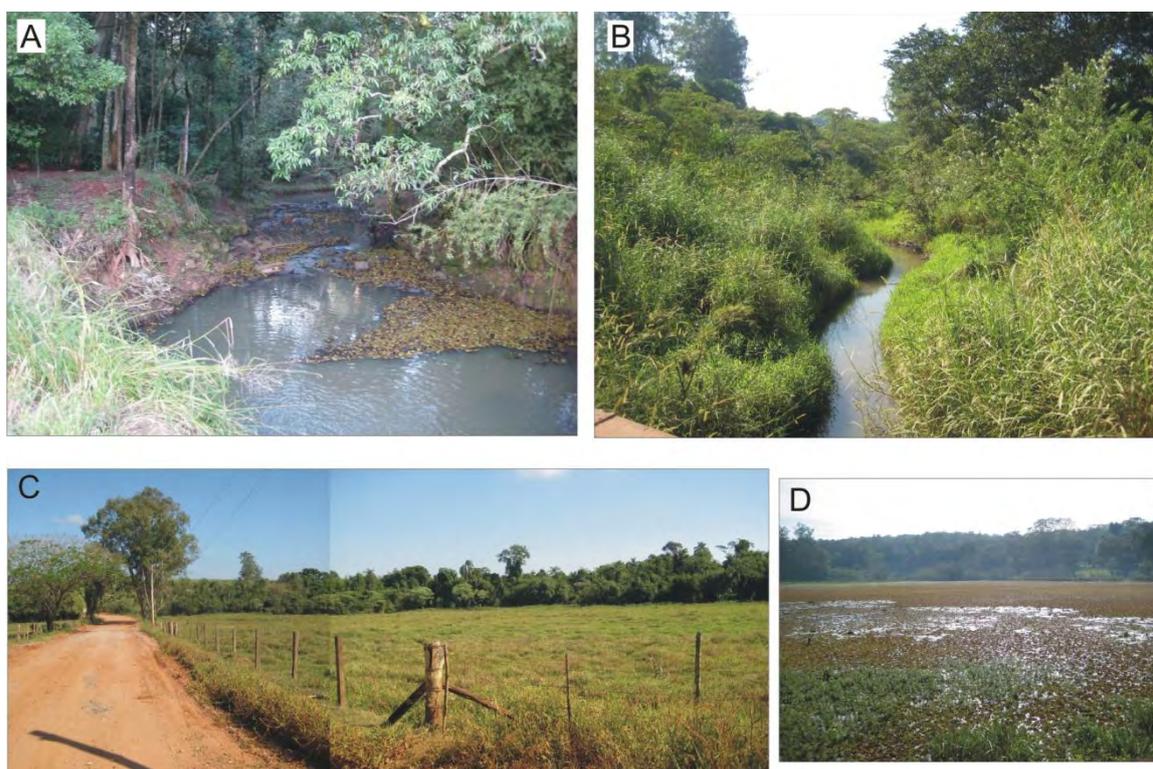


Figura 25: Paisagens representativas da unidade da Planície de Inundação do ribeirão Claro. A) leito do ribeirão Sto. Antônio sobre afloramento de Diabásio (Ponto 83); B) alto curso do ribeirão Claro (Ponto 152); C) planície de inundação no médio curso do ribeirão Claro (Ponto 65) ; D) represa do horto florestal de Rio Claro (Ponto 82).

Os solos presentes nas áreas de entorno do baixo curso apresentam ligeiras características de hidomorfismo, porém são mais representativos os Neossolos Litólicos, Neossolos Regolíticos, Cambissolos e, quando do afloramento de Diabásio, Argissolos Vermelhos.

Devido ao forte controle estrutural, a área da planície de inundação no baixo curso é pouco significativa, com maior expressão em locais específicos, como no setor leste da área urbana de Rio Claro e na sede o horto florestal, onde parte das águas da bacia do ribeirão Claro encontra-se represadas (Figura 31D).

### 5.3.2. Paisagem Denudacional/Paleoaluvial

As Paisagens Fisiográficas Denudacionais/Paleoaluviais estão localizadas na porção central da área (Figura 33I) e ocupa aproximadamente 28% do município de Rio Claro.

Em fotografias aéreas são caracterizadas por níveis de cinza claro, devido a constituição arenosa do material, baixo teor de umidade, relevo plano a quase plano.

Os processos que atuaram durante a evolução dessa unidade da paisagem são complexos. Sua origem está relacionada à sedimentação da Fm. Rio Claro, interpretada por Melo (1995) como um sistema antigo fluvial meandrante, sendo que a quase ausência de minerais pesados instáveis e os valores relativamente altos de índice de maturidade mineralógica são sugestivos de condições de intemperismo químico pronunciado, sob clima quente e úmido.

A idade da sedimentação da Fm. Rio Claro ainda não está bem definida na literatura e, em geral, está relacionada ao limite Plioceno/Pleistoceno (SOARES & LANDIM, 1976) e Mioceno/Plioceno (MELO, 1995) e, mais recentemente, foi indicada com do Pleistoceno médio a superior, com idade entre 150.000 e 800.000 anos AP (FERREIRA & CHANG, 2008).

O período de sedimentação da Fm. Rio Claro foi sucedido por aproximadamente 300 a 200 mil anos de clima tropical intenso (GOUVEIA *et al.*, 2002), onde os processo fluviais de agradacão deram lugar aos processos fluviais erosivos, que entalharam essa superfície agradacional e iniciaram a dissecação das encostas e o desenvolvimento pedogenético dos materiais de topo. Morales (2005) coloca que a atuação dos processos morfogenéticos responsáveis pela esculturação do relevo está relacionada a eventos tectônicos modernos, que se desenvolveram a partir da retomada de antigas falhas e fraturas com direção preferencial NW/SE e NE/SW.

Para aumentar a complexidade dessa unidade, a mesma ainda foi recoberta por depósitos colúvio-eluviais areno-argilosos e depósitos lamíticos de fluxos gravitacionais (MELO, 1995). Esses depósitos apresentam materiais que vem sendo

retrabalhados desde o terciário, porém sua deposição ocorreu entre 9.000 e 4.000 AP, portanto no Holocênio (MELO & CUCHIERATO, 2004).

Devido à sobreposição de processos e o caráter eminentemente policíclico dessa unidade fisiográfica optou-se por denominar a unidade em função dos processos denudacionais, responsáveis pela esculturação da paisagem e que predominam atualmente, e os processos aluviais passados (paleoaluviais), responsáveis pela origem da paisagem. Entretanto, se admite que atividades tectônicas exerceram um papel importante na formação dessa unidade, porém suas evidências estão mascaradas devido à superposição de processos deposicionais, erosivos, intempéricos.

#### 5.3.2.1. Planalto Sedimentar (Ps)

As unidades denominadas de Planalto Sedimentar encontram-se localizadas na porção central do município de Rio Claro (Figura 33I) e correspondem à totalidade da paisagem Denudacional/Paleoaluvial. Esta unidade é predominantemente representada por relevo plano a quase plano (topo) e, secundariamente, por relevo suave ondulado (encosta) (Figura 33IV), com altitudes que variam entre 530 m na base das encostas até 680 m no alto dos topos.

Para uma melhor compreensão e identificação, os planaltos sedimentares receberam denominações locais como o Planalto Sedimentar de Rio Claro, Planalto Sedimentar do Campo do Coxo e o Planalto Sedimentar Residual.

O Ps de Rio Claro (Figura 33II) trata-se de uma unidade contínua, com direção N/S, localizada na porção centro-leste da área, entre o rio Corumbataí a oeste e o ribeirão Claro a leste e corresponde a 17,4% do total das paisagens, com aproximadamente 88 km<sup>2</sup>.

O Ps do Campo do Coxo (Figura 34III) trata-se de uma unidade contínua, com direção N/S, localizada na porção centro-leste da área, entre os rios Corumbataí a leste e Passa Cinco/Cabeças a oeste e corresponde a 7,4% do total das paisagens, com aproximadamente 37,5 km<sup>2</sup>.

Os Ps Residuais são unidades descontínuas, que surgem no relevo local como remanescentes isolados das planaltos sedimentares. Correspondem a 3% do total das paisagens, com aproximadamente 15,2 km<sup>2</sup>.

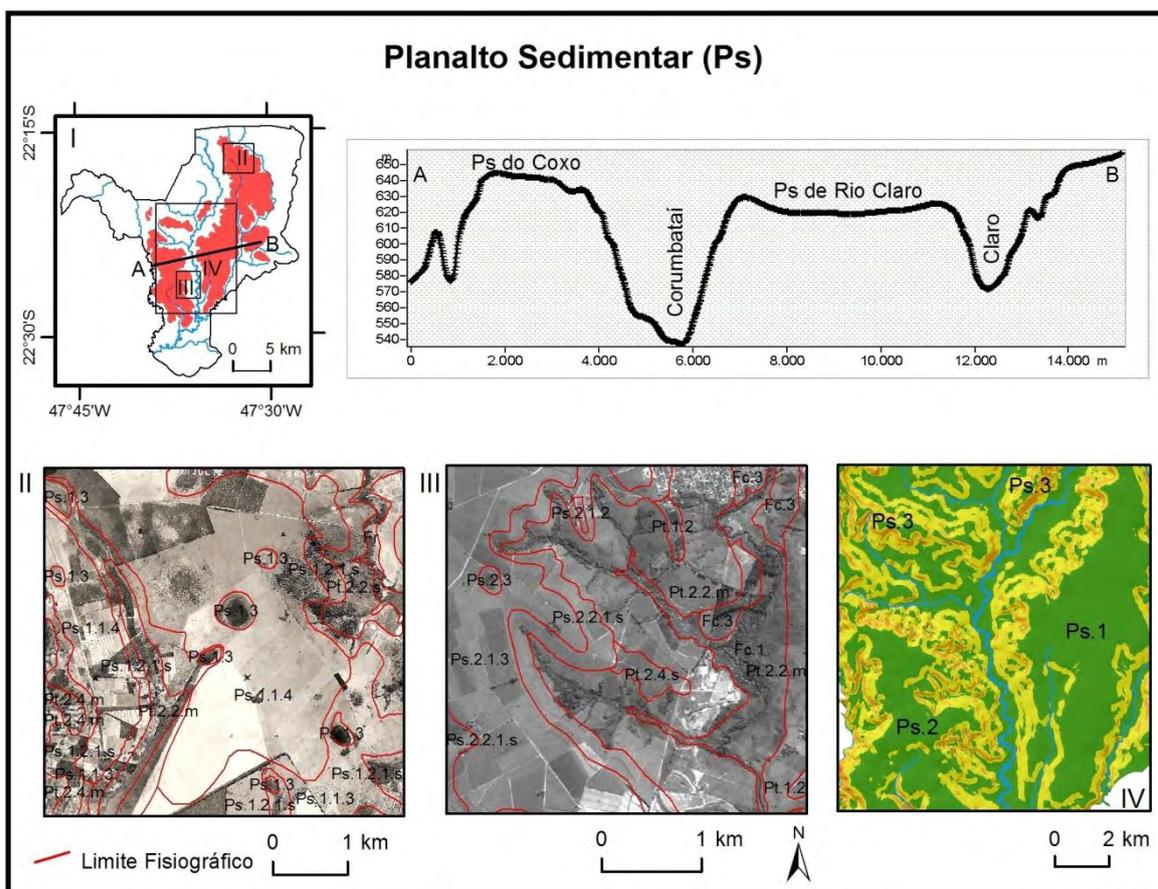


Figura 26: Representação esquemática da unidade dos Planaltos Sedimentares. I) localização e distribuição da unidade; II) trecho do Ps de Rio Claro que representa as subpaisagens de topo, lagoa abandonada e encosta; III) trecho do Ps do Campo do Coxo representando a relação de contato entre o Planalto Sedimentar e os Planaltos/Terraços Dissecados; IV) representação do relevo plano que predomina nos topos e relevo suave ondulado das encostas; A-B) perfil transversal representativo da paisagem.

As subpaisagens de Topo, Encosta e Lagoas abandonadas, foram definidas em função de variáveis geomorfométricas como a altitude para os topos e o grau de inclinação e curvatura para as encostas.

Os topos representam as unidades superiores das vertentes, que nessa paisagem caracterizam-se por sua grande amplitude lateral (largos), com baixa densidade de drenagem e traços de juntas, relevo plano a quase plano e pequena inclinação de norte (mais alto) para sul (mais baixo) (Figura 34a). Seu limite inferior com as encostas ocorre por meio de rupturas de relevo positivas e suaves.

Os solos mais corriqueiros nos topos são os Neossolos e Cambissolos, que apresentam cores vermelho-amarela, amarela e pardo-amarelada, indicando a existência condições óxido-redutoras (Figura 34C). Esses solos são pouco profundos e raramente ultrapassam os 2 m de profundidade, fracamente estruturados e friáveis.

Quando úmidos não apresentam boa plasticidade e pegajosidade, a não ser na presença elevada de matéria orgânica.

No perfil A-B (Figura 33) observa-se que os planaltos de Rio Claro e Campo do Coxo não são exatamente nivelados um com o outro e apresentam diferenças nas morfologias de topo. O topo do Ps de Rio Claro configura-se como uma área ligeiramente deprimida no centro, o que interfere na dinâmica superficial da área e, conseqüentemente, do transporte de material. Já o topo do Ps do Campo do Coxo apresenta morfologia plana ou suavemente convexa o que favorece a intensa infiltração da água.

As encostas representam as unidades intermediárias das vertentes e seus limites inferiores são marcados por rupturas positivas ou negativas (mais comuns) de relevo. Na paisagem as encostas encontram-se altimetricamente abaixo dos topos e são diferenciadas desses pelo aumento da inclinação das vertentes, variando entre 3 e 8% e em alguns locais em 8 e 20%, aumento da densidade de drenagem e traços de juntas e sua forma tipicamente convexa. Devido a tal morfologia predominam processos de transporte de matéria e erosão hídrica superficial o que favorece os processos erosivos lineares (sulcos, ravinas e voçorocas), principalmente ao longo de fraturas e concavidades no terreno.

Os solos mais comuns são os Neossolos Regolíticos ou Litólicos pouco profundo e concrecionário, desenvolvidos a partir de material colúvio-aluvial depositado nas encostas (Figura 34E). Entretanto, também são encontrados Argissolos (Figura 34 D) e Nitossolos, que em geral ocupam áreas da meia encosta, com inclinações entre 3 e 8% e curvaturas convexas.

As lagoas abandonadas (Figura 34B) são as subpaisagens mais impressionantes dos planaltos sedimentares, pois essas atestam a existência de um paleossistema fluvial de grande porte. As lagoas são ambientes sedimentares de baixa energia, onde predominam sedimentos de textura fina, como silte e argila. São facilmente identificadas em fotografias aéreas e imagens de satélite por sua tonalidade escura em contraste com a cinza claro dos topos (Figura 33II). Esta unidade tende a desenvolver solos orgânicos (Organossolos) e/ou Gleissolos, dependendo da profundidade, quantidade de material orgânico e água no sistema.

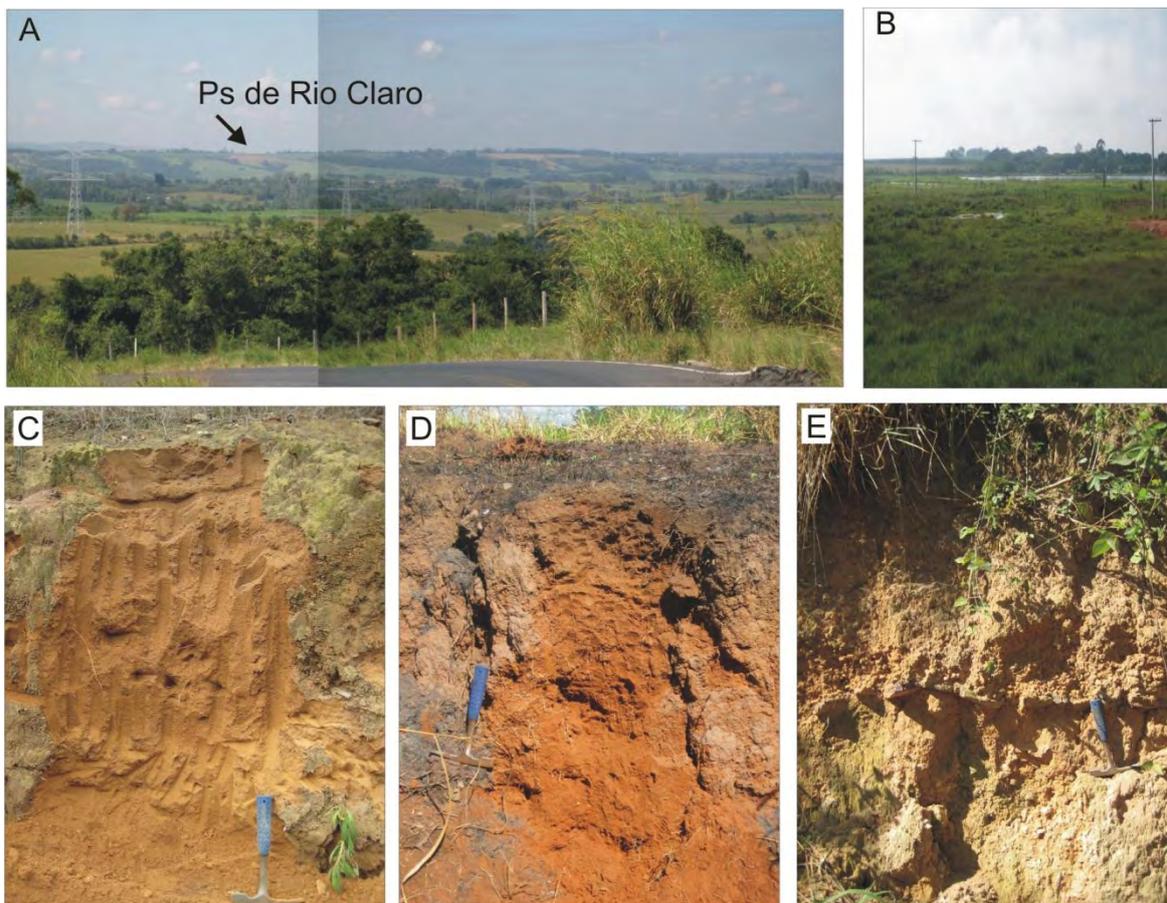


Figura 27: Paisagens representativas da unidade do Planalto Sedimentar. A) topo do Ps de Rio Claro suavemente inclinado no sentido N/S (Ponto 169) ; B) lagoa abandonada típica dos planaltos sedimentares (Ponto 146); C) Cambissolo típico dos topos (Ponto 58); D) Argissolo presentes nas encostas (Ponto 138); E) depósito colúvio-aluvial de encosta (Ponto 17).

### 5.3.3. Paisagem Denudacional

As Paisagens Fisiográficas Denudacionais encontram-se distribuídas por quase toda a área e ocupam aproximadamente 41% do município de Rio Claro. Correspondem a relevo suave ondulado a ondulado, com amplitudes altimétricas locais que raramente ultrapassam os 100 m, densidade de drenagem e de traços de junta entre moderada e alta, com topos planos e predomínio de encostas convexas na parte superior e côncavas na inferior.

Essas paisagens estão associadas a rochas da Fm. Corumbataí e Pirambóia. Entretanto, finos depósitos colúvio-aluviais de composição variada são encontrados capeando das subpaisagens de topo.

Os principais processos responsáveis pela evolução e configuração atual do relevo são processos erosivos superficiais de rastejo, movimentos de massa lentos (solifluxão) e sulcos erosivos de pequeno porte. Tais processos erosivos são mais

vigorosos onde a densidade de fraturamento é mais elevada o que culmina na esculptura de relevos mais dissecados, com encostas íngremes e vales mais entalhados, sem o desenvolvimento de planícies de inundação.

Na área as paisagens denudacionais foram divididas em função da sua altitude, litotipos, matérias superficiais e formas de relevo. Assim, foram definidas as unidades dos Planaltos/Terraços Dissecados, o Planalto de Itapé, o Planalto de Urucária e o Planalto do Bizigueli.

### 5.3.3.1. Planaltos/Terraços Dissecados (Pt)

Os Planaltos e Terraços dissecados podem ser encontrados por toda a porção central do município (Figura 35I) e correspondem a aproximadamente 145,3 km<sup>2</sup>, sendo 28,7% da totalidade das paisagens.

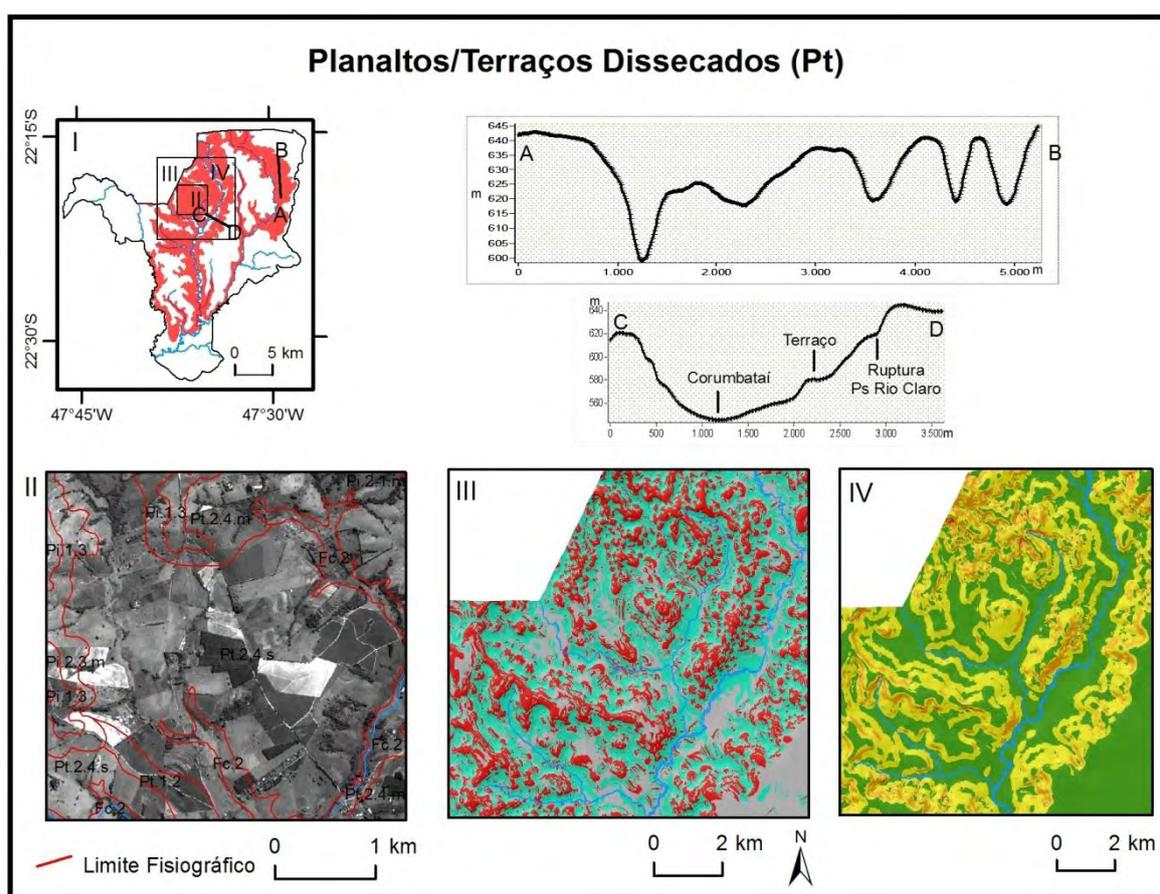


Figura 28: Representação esquemática da unidade dos Planaltos/Terraços dissecados. I) localização e distribuição da unidade; II) relevo típico da unidade Pt e subpaisagens; III) curvatura terreno; IV) declividade; A-B, C-D e E-F) perfis transversais representativos da paisagem.

O relevo da unidade é predominantemente suave ondulado (Figura 35III), com vertentes de topo plano ou suavemente convexo e encosta côncava, convexa ou mista (Figura 35IV). As altitudes variam entre 540 m e 670 m, com amplitudes locais entre 30 m e 70 m.

Quando observada em imagens de satélite e fotografias aéreas apresenta baixa densidade textural e tonalidades entre níveis de cinza médio e cinza escuro, tal tonalidade depende da existência (nível de cinza médio) ou não (nível de cinza escuro) de coberturas superficiais capeando as rochas da Fm. Corumbataí (Figura 35II).

As subpaisagens de topo são pequenas e pouco representativas quando comparadas às encostas, que são amplas e dominam a paisagem. Tais características, somadas ao comportamento pouco permeável dos siltitos e argilitos da Fm. Corumbataí, conferem um aspecto colinoso para o relevo da área (Figura 35 perfil A-B e Figura 36A), com o desenvolvimento de densa rede de drenagem (densidade moderada a alta) condicionada por intenso fraturamento dessas rochas.

A evolução da paisagem ocorre por meio de processos erosivos superficiais, de rastejo, movimentos de massa lentos e pequenos sulcos erosivos. Tais sulcos erosivos ocorrem sobre finos depósitos colúvio-aluviais de encosta (Figura 36B) e antigos terraços do rio Corumbataí ainda preservados na meia encosta.

A presença desses depósitos de encosta e terraços elevados são características marcantes dessa paisagem como pode ser observado no perfil C-D (Figura 35). Nota-se que o canal principal do rio Corumbataí possui uma tendência de migração lateral para oeste, devido ao provável controle estrutural evidenciado pela assimetria das vertentes. Outra evidência dessa migração para oeste é a presença de rupturas e patamares que indicam a presença de prováveis paleoterraços ou o que restou desses.

Em função do relevo colinoso, com topos estreitos e encostas amplas de baixa e média declividade, os solos em geral são Neossolos Litólicos da Fm. Corumbataí (Figura 36C) em relevo ondulado a suave ondulado e Argissolos nos relevos mais planos (Figura 36D).

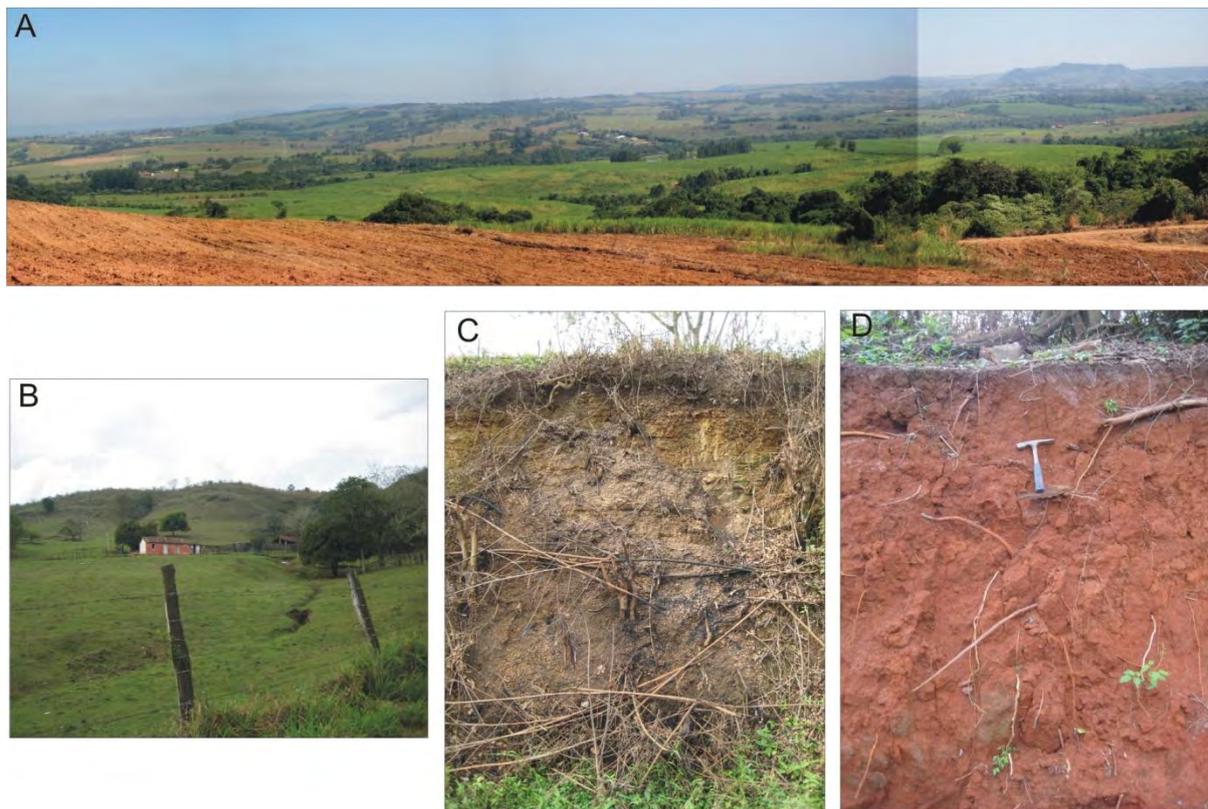


Figura 29: Paisagens representativas da unidade do Planaltos/Terraços dissecados. A) vista geral da unidade Pt (Ponto 162) ; B) processos erosivos sobre depósitos de encosta (Ponto 63); C) Neossolo Litólico da Fm. Corumbataí (Ponto 61); D) Argissolo próximo ao distrito de Ferraz (Ponto 72).

### 5.3.3.2. Planalto de Itapé (Pi)

O Planalto de Itapé localiza-se na porção oeste do município (Figura 37I) e corresponde a aproximadamente 50,9 km<sup>2</sup>, referente a 10% da totalidade das paisagens. O relevo da unidade é suave ondulado a ondulado (Figura 37IIIb), com vertentes de topo plano ou suavemente convexo e encosta convexas, retilíneas ou mista (Figura 37IIIa) e as altitudes variam entre 600 m e 690 m, com amplitudes locais entorno de 60 m. A configuração do relevo dessa unidade pode ser observada na Figura 38A.

A área apresenta dissecação vertical moderada, devido à densidade moderada da rede de drenagem, assim como densidade moderada de traços de juntas e lineamentos estruturais. As drenagens da área são respectivas da bacia do rio Cabeças e desenvolvem planícies de inundação estreitas e de fundo plano, colmatadas por material detrítico proveniente das encostas (Figura 38II e Figura 38A).

Quando observada em imagens de satélite e fotografias aéreas a unidade apresenta densidade textural moderada e tonalidades entre níveis de cinza claro e

cinza médio, devido ao afloramento dos arenitos eólicos da Fm. Pirambóia (Figura 37II).

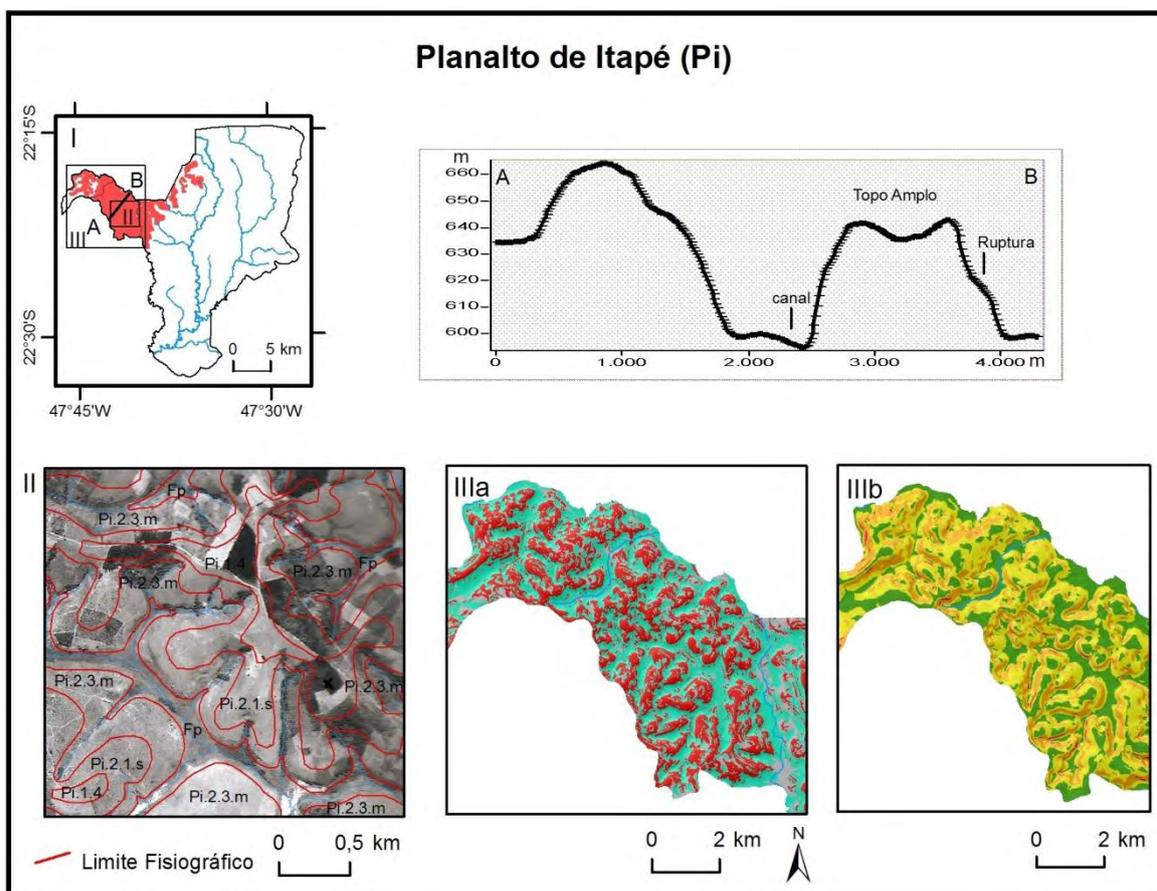


Figura 30: Representação esquemática da unidade do Planalto de Itapé. I) localização e distribuição da unidade; II) relevo típico da unidade Pi e subpaisagens; III) curvatura terreno; IV) declividade; A-B) perfil transversal representativo da paisagem.

As subpaisagens de topo são estreitas e alongadas e seu contato com as encostas ocorre por rupturas de relevo positiva. As encostas geralmente são divididas em duas unidades, uma na porção superior, mais suave (3 a 8%) e convexa, e outra na porção inferior, mais inclinada (8 a 20%) e retilínea.

O contato entre as unidades de encosta foi definido por ruptura de relevo negativa (Figura 38D), que representa o limite entre os depósitos colúvio-aluviais de cimeira ou topo (Figura 38B) e Plintossolos da Fm. Pirambóia (Figura 38C). O perfil A-B (Figura 37) permite observar a configuração dos topos amplos e as rupturas de relevo que delimitam topo-encosta-encosta.

Os depósitos colúvio-aluviais dificilmente possuem espessuras superiores a 2 m e são constituídos de material variado, com grande diversidade de tamanhos e composições, onde predominam grãos de quartzo de diferentes formatos, com grau de

arredondamento entre arredondados a angulares e mais ou menos ferruginizados. Pode haver ainda presença de concreções de lateritas. Acredita-se que a idade desses depósitos seja possivelmente contemporânea aos depósitos superficiais da paisagem dos Planaltos Sedimentares, definido por Melo & Cuchierato (2004) como holocênicos.

Alguns desses depósitos apresentam em seu contato basal cascalheiras decimétricas (Figura 38B) compostas por seixos de quartzo arredondados a subarredondados, o que indica a ocorrência de um ambiente com alta competência erosiva, possivelmente um canal fluvial.

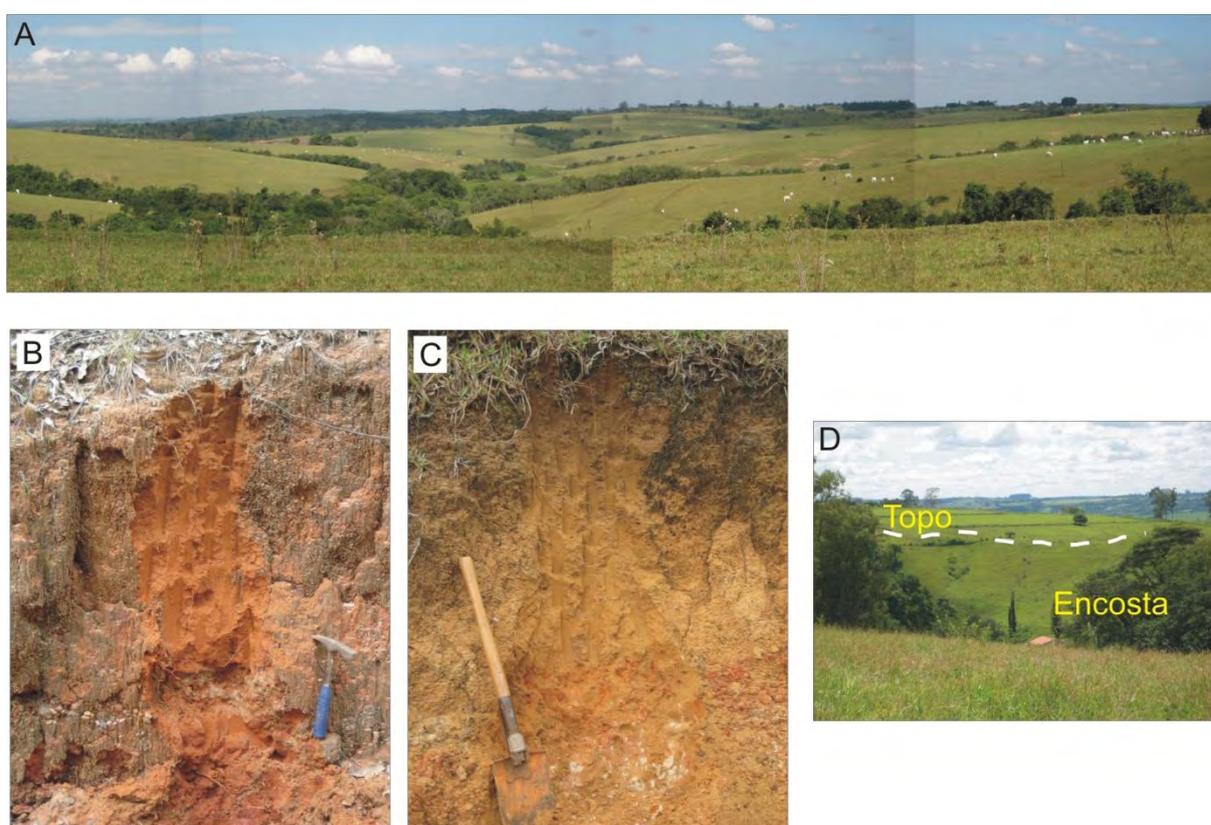


Figura 31: Paisagens representativas da unidade do Planalto de Itapé. A) vista geral da unidade Pi (Ponto 178); B) depósito colúvio-aluvial de topo, com cascalheira basal (Ponto 123); C) depósito colúvio-aluvial em discordância com plintito da Fm. Pirambóia (Ponto 116); D) exemplo de ruptura de relevo negativa entre topo com depósito colúvio-aluvial e encosta sobre Plintossolo da Fm. Pirambóia (Ponto 142).

Os solos geralmente são jovens e desenvolvidos a partir dos depósitos colúvio-aluviais, predominam Neossolos Regolíticos e Cambissolos Háplicos de coloração pardo-amarela, vermelho-amarela e pardo-avermelhada. Nas encostas podem ser encontrados Plintossolos da Fm. Pirambóia.

Fato interessante em relação aos solos dessa unidade é a coloração dos horizontes superiores, principalmente os situados nos topos, pois apresentam cores escuras a pardo-escura que indica a presença de quantidades consideráveis de matéria orgânica (Figura 38C). Possíveis explicações para tal quantidade de matéria orgânica seria a presença, em um passado recente, de condições mais redutoras em ambientes alagados de ampla extensão ou fases de clima mais frio que o atual, o que possibilitou a decomposição lenta da matéria orgânica e a sua fixação nos horizontes do solo.

#### 5.3.3.3. Planalto de Urucáia (Pu)

O Planalto de Urucáia é uma unidade descontínua, localiza-se nas áreas elevadas do extremo oeste e noroeste do município de Rio Claro (Figura 39I) e corresponde a aproximadamente 10 km<sup>2</sup>, o que representa 2% da totalidade das paisagens. O relevo da unidade é ondulado a suave ondulado (Figura 40IV), com vertentes de topo plano ou suavemente convexo e encostas retilíneas ou mistas (Figura 39V). Suas altitudes variam entre 640 m e 740 m, com amplitudes locais entorno de 80 m.

A rede de drenagem é fortemente controlada por fraturas e assimetria do relevo e apresenta densidade moderada. Assim, os processos erosivos responsáveis pela evolução do modelado da área estão condicionados aos planos de fraturas, o que proporciona o desenvolvimento de processos erosivos lineares e leques aluviais de pequeno porte, espalhados sobre as encostas (Figura 40A).

O Planalto de Urucáia situa-se em uma posição no relevo mais elevada do que o Planalto de Itapé (Figura 40A), o contato entre essas duas unidades é uma feição marcante na paisagem e ocorre por ruptura de relevo negativa entre unidades de encosta (Figura 40II). O mesmo tipo de contato também ocorre entre o Planalto de Urucáia e os Planaltos/Terraços dissecados e Planaltos Sedimentares (Figura 39III).

No perfil A-B (Figura 39) são representadas as feições que compõem o relevo local. Assim, observa-se que os topos estão altimetricamente nivelados, porém o relevo não possui uma simetria entre as vertentes e essas possuem mais de uma ruptura de relevo. Tais feições de rupturas de relevo e nivelamento dos topos evidenciam que o relevo passou por diversos ciclos erosivos ao longo de sua história geológica, entretanto esses os processos erosivos foram condicionados por elementos estruturais, evidentes na assimetria das encostas e na geometria dos canais fluviais.

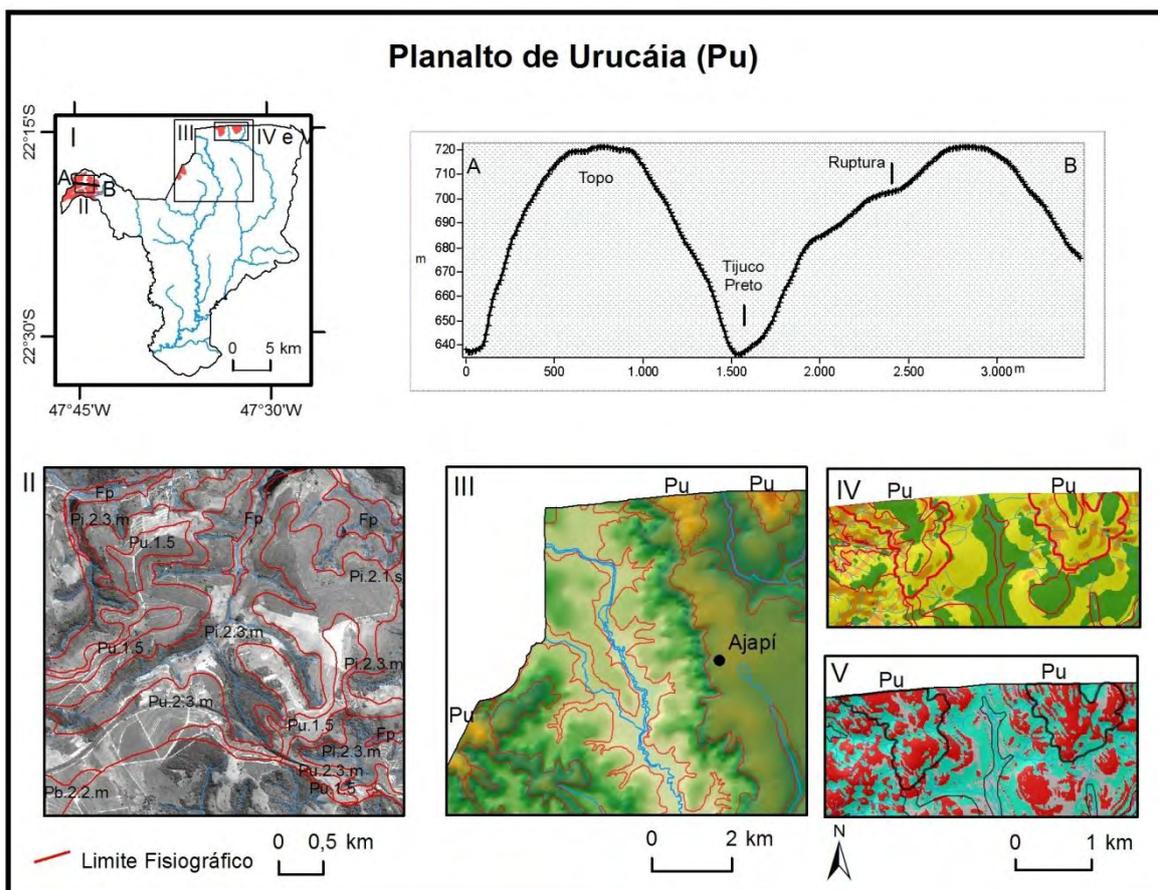


Figura 3932: Representação esquemática da unidade do Planalto de Urucáia. I) localização e distribuição da unidade; II) relevo típico da unidade Pu e subpaisagens; III) níveis altimétricos da unidade Pu na porção nordeste da área ; IV) declividade; V) curvatura terreno; A-B) perfil transversal representativo da paisagem.

O nível mais elevado é sustentado por material plíntico da Fm. Pirambóia (Figura 40B) que, devido seu grau de alteração, onde predominavam condições climáticas de intenso tropicalismo e o desenvolvimento de perfis de alteração muito espessos devido a processos de laterização e latossolização, permite estimar que sua origem seja do Terciário superior (VRIELYNCK & BOUSSE, 2003).

Em algumas subpaisagens de topos mais elevados foi possível identificar coberturas de material laterítico alóctone, com espessuras entre 40 cm e 1 m (Figura 40C) depositadas sobre Plintossolos da Fm. Pirambóia. Provavelmente a fonte desse material encontra-se em áreas próximas ainda mais elevadas (serra de Itaqueri e serra de Santana) e que desenvolveram grandes perfis de alteração desde o Terciário inferior e que posteriormente foram removidos e transportados por processos predominantemente gravitacionais.

Outro fator que contribui para o desenvolvimento de um perfil de alteração tão profundo e intenso é o fato da área estar localizada em um grande alto estrutural e alto

topográfico, o que induz a uma maior dinâmica hidrológica e favorece processos percolativos intensos e, conseqüentemente, as reações da hidrólise total e o desenvolvimento dos minerais caulinita e gibsita que são testemunhos de condições ambientais tropicais.

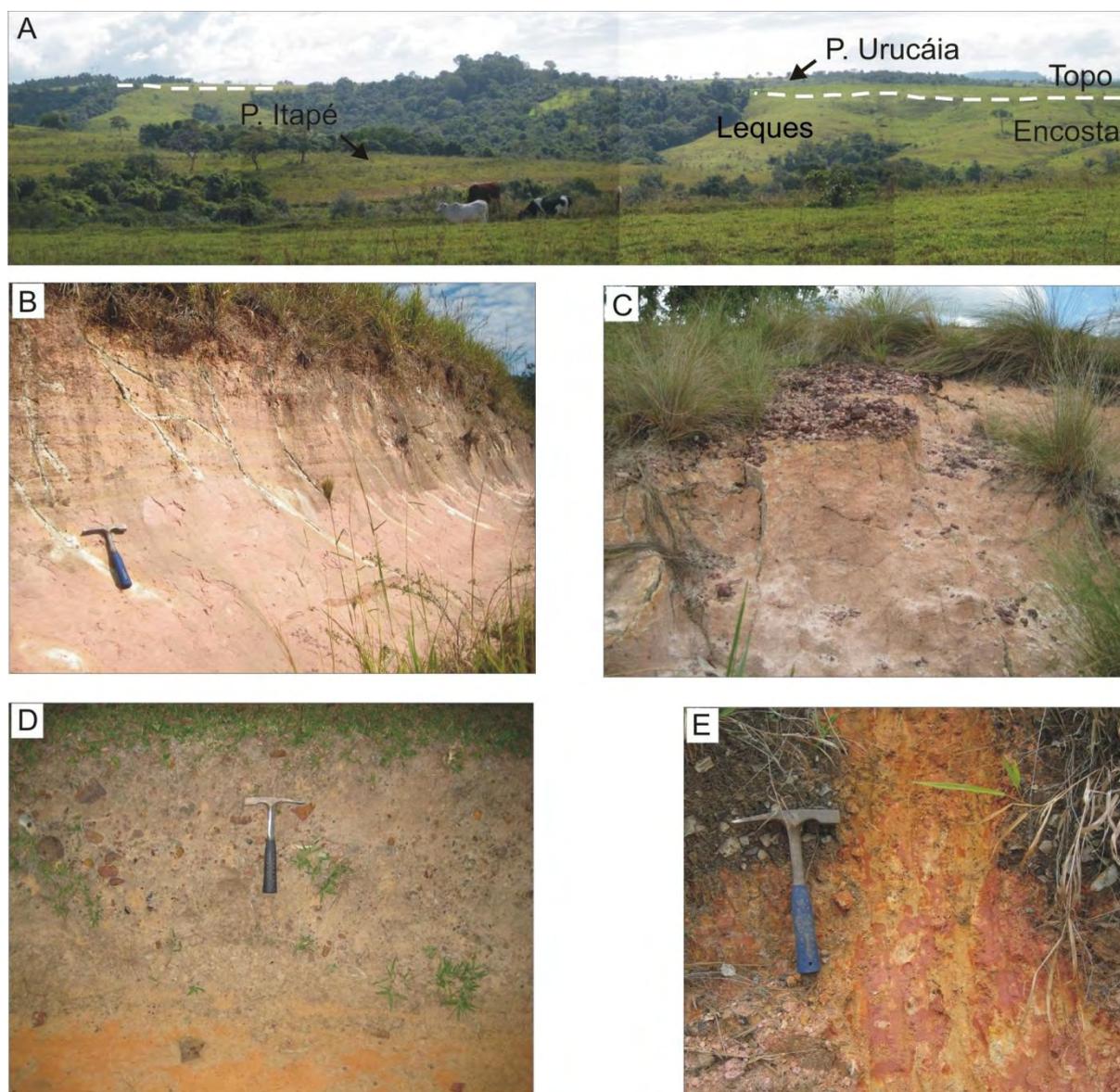


Figura 33: Paisagens representativas da unidade do Planalto de Urucáia. A) vista geral da unidade Pu em contato com a unidade Pi (Ponto 179); B) Plintossolo da Fm. Pirambóia (Ponto 181); C) lateritas espessas sobre Plintossolo da Fm. Pirambóia (Ponto 143) ; D) depósito colúvio-aluvial grosseiro (Ponto 117); E) Fm. Pirambóia fortemente alterada (Plintossolo) (Ponto115).

As subpaisagens de encostas são caracterizadas por inclinações entre 8 e 20%, apresentam formas retílineas ou mistas capeadas por depósitos colúvio-aluviais em pequenos leques coalescentes, com predomínio dos processos gravitacionais (Figura

40A). Esses depósitos são constituídos por material conglomerático onde predominam areia média a grossa com a presença de cascalhos de laterita em meio à massa (Figura 40D), as espessuras são de até 2 m. Quando da não existência desses depósitos as encostas apresentam afloramentos de Plintossolos da Fm. Pirambóia (Figura 40E).

Os solos desenvolvidos a partir dessa paisagem não diferem muito dos solos do Planalto de Itapé e predominam os Neossolos Regolíticos, Cambissolos Háplicos e Plintossolos da Fm. Pirambóia. O que difere do Planalto de Itapé é não existência de horizontes superficiais contendo matéria orgânica em abundância, o que reforça a idéia de que o Planalto de Itapé pode ter sido dominado por um ambiente mais aquoso do que o atual, pois se a origem da matéria orgânica fosse proveniente apenas de mudanças climáticas, deveria estar presente em toda a região.

#### 5.3.3.4. Planalto do Bizigueli (Pb)

O Planalto do Bizigueli caracteriza-se por ser a unidade mais elevada da área do município de Rio Claro, com seu ponto mais alto situado a 989 m sobre o nível do mar. Localizada no extremo oeste do município (Figura 41I) e corresponde a aproximadamente 1,6 km<sup>2</sup>, o que representa apenas 0,3% da totalidade das paisagens. A amplitude do relevo local está entorno de 280 m, conferindo um aspecto extremamente dissecado para a unidade.

Em uma análise regional essa unidade é interpretada como um morro testemunho ou forma residual de um relevo do tipo Cuesta, localizado a oeste da área de estudo, onde suas escarpas são o limite entre os compartimentos geomorfológicos da Depressão Periférica Paulista e do Planalto Ocidental Paulista (ROSS & MOROZ, 1997).

A unidade é composta por dois compartimentos morfogenéticos, suas formas e distribuição estão apresentadas nos esquemas da Figura 41.

O topo do Planalto do Bizigueli apresenta configuração estreita e alongada, com relevo plano, sustentado pela presença de lateritas da Fm. Itaquerí. Essa unidade desenvolve-se por processos erosivos severos, sendo a fonte de sedimentos para as unidades inferiores. Os solos da unidade de topo são Plintossolos e Plintossolos Pétricos.

Os leques coalescentes ou cones de dejeção se desenvolvem sobre as encostas e são compostos por material de origem gravitacional. Esse compartimento

foi subdividido em duas subpaisagens de encostas: a encosta superior mais inclinada (20 e 45%) e retilínea, onde predominam os processos erosivos e a acumulação de material muito grosseiro; e a encosta inferior, com declividades mais suaves (8 a 30%) e forma côncava, onde predominam processos de sedimentação de material médio a fino. Os solos das unidades de encosta são Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos.

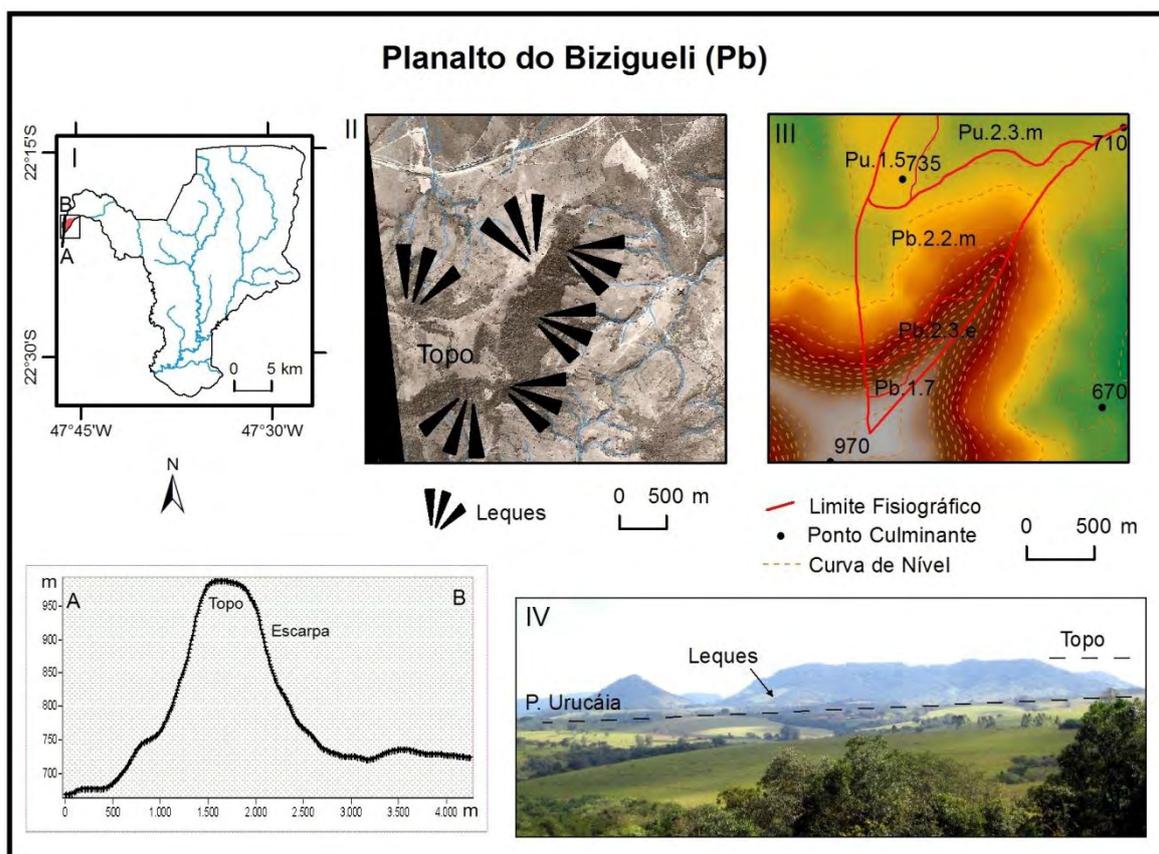


Figura 34: Representação esquemática da unidade do Planalto do Bizigueli. I) localização e distribuição da unidade; II) visualização das subpaisagens em fotografias aéreas; III) níveis altimétricos da unidade Pb; IV) elementos que compõem a paisagem do Pb e sua relação com o Pu (Ponto 175, rumo 230°); A-B) perfil transversal representativo da paisagem.

### 5.3.4. Paisagem Estrutural

Todas as paisagens da área de estudo possuem algum tipo de controle estrutural, seja esse litológico ou tectônico. Entretanto, as paisagens fisiográficas denominadas de Estrutural apresentam uma relação direta entre a origem das formas de relevo e o condicionante estrutural como uma característica marcante das paisagens.

As Paisagens Fisiográficas Estruturais encontram-se distribuídas na porção leste (Planalto do Horto Florestal), na porção nordeste (Planalto da Mata Negra) e no extremo sul da área (Domo de Pitanga). Para uma melhor compreensão e classificação as paisagens foram subdivididas em referência a denominações locais.

Essas paisagens representam aproximadamente 21% da área de estudo e estão associadas a corpos intrusivos de Diabásio, em geral corpos concordantes, ou eventos tectônicos com movimentação vertical, que deram origem a relevos elevados e com formas extremamente perturbadas. De maneira geral, estão associadas a anomalias morfoestruturais do tipo alto estrutural e alto topográfico.

As formas de relevo são complexas, com declividades entre 3% e 30% e amplitudes altimétricas locais entre 70 m e 100 m.

Os principais processos responsáveis pela evolução atual dessas paisagens são processos erosivos de superfície, como a erosão laminar, rastejo e movimentos de massa lentos. Também são observados processos erosivos lineares de pequeno porte, como sulcos e ravinas.

As subpaisagens de topo são frequentemente pequenas e de forma circular, já as encostas são muito amplas e com diferentes conformações. A rede de drenagem possui densidade moderada e é fortemente condicionada por estruturas geológicas, onde praticamente não foram identificadas planícies de inundação significativas em área ou como ambiente deposicional.

#### 5.3.4.1. Planalto do Horto Florestal (Ph)

O Planalto do Horto Florestal localiza-se na porção extremo leste do município (Figura 42I) e corresponde a aproximadamente 34,3 km<sup>2</sup>, o que representa 6,8% da totalidade das paisagens. O relevo é suave ondulado, com vertentes de topo plano ou suavemente convexo e encosta das mais variadas formas, onde predominam encostas mistas (Figura 42V) e algumas encostas mais íngremes (declividade entre 8 e 20%) (Figura 42IV). Suas altitudes variam entre 580 m e 740 m, com amplitudes locais próximas a 100 m (Figura 42III).

O controle estrutural dessa unidade ocorre em função da presença de corpos magmáticos contemporâneos a Fm. Serra Geral. A presença dessas intrusões pode ser notada em toda área da unidade, devido à presença de afloramentos de Diabásio, descontinuidades litológicas, rupturas abruptas de relevo, formas assimétricas de drenagem e relevo.

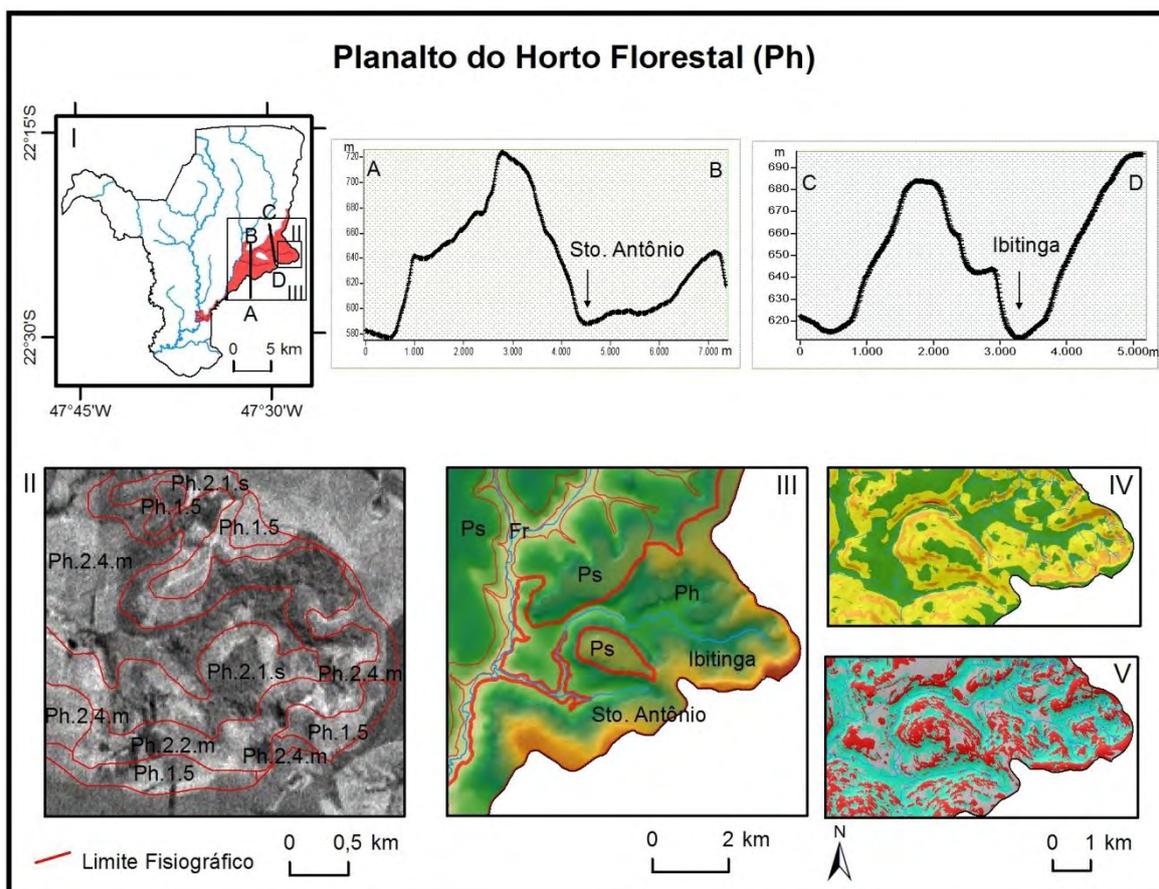


Figura 35: Representação esquemática da unidade do Planalto do Horto Floresta. I) localização e distribuição da unidade; II) relevo típico da unidade Ph e subpaisagens; III) níveis altimétricos da unidade Ph; IV) declividade; V) curvatura terreno; A-B e C-D) perfis transversais representativos da paisagem.

Nos perfis A-B e C-D da Figura 42, fica evidente o quanto os vales dos córregos Sto. Antônio e Ibitinga possuem formas assimétricas, típicas de forte controle estrutural. Além da assimetria, podem ser notadas rupturas abruptas de relevo que, no caso da margem esquerda do córrego Ibitinga, coincide com descontinuidades litológicas e possíveis falhamentos com movimentação vertical.

Existe o predomínio de subpaisagens de encosta com as mais variadas formas e declividades, sobre as paisagens de topo, que se concentram nos divisores de água da bacia do Corumbataí e, quando mais amplos, possuem formas extremamente planas (Figura 42II), com o desenvolvimento de drenagens endorréicas e a formação de pequenas lagoas (Figura 44A). Os solos mais comuns nessa unidade são os Argissolos (Figura 43B) e Cambissolos, quase sempre de coloração vermelho escura por influência do material magmático, mas também ocorrem Argissolos Vermelhos e Neossolos Litólicos da Fm. Corumbataí, em áreas menos elevadas.

O padrão de fraturamento dessa unidade não nos permite ter informações precisas sobre sua configuração do contorno estrutura, porém, é possível afirmarmos que as áreas mais elevadas estão associadas a altos estruturais e as áreas menos elevadas, em um contexto mais amplo, estão associadas a baixos estruturais.

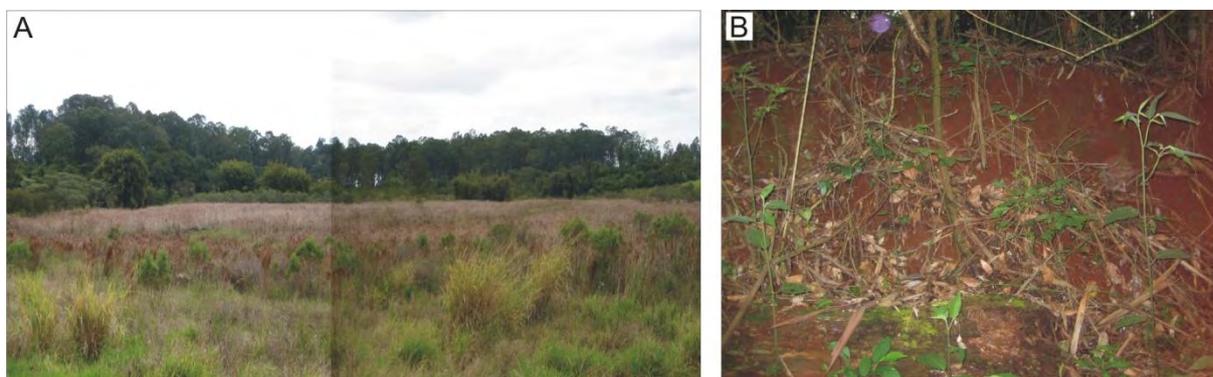


Figura 36: Paisagens representativas da unidade do Planalto do Horto Florestal. A) relevo plano dos topos com a presença de áreas alagadas (Ponto 105); B) Argissolo Vermelho-Escuro (Ponto111).

#### 5.3.4.2. Planalto da Mata Negra (Pm)

O Planalto da Mata Negra está localizado na porção nordeste do município (Figura 44I) e corresponde a aproximadamente 28,9 km<sup>2</sup>, o que representa 5,7% da totalidade das paisagens. O relevo é suave ondulado, no entanto algumas áreas possuem declividades de até 30% (Figura 44IV), os topo são plano ou suavemente convexos e as encostas apresentam as mais variadas formas (Figura 44V), com o predomínio de encostas convexas na parte superior e encostas côncavas na parte inferior das vertentes. As altitudes variam entre 660 m e 830 m, com amplitudes locais entre 80 m e 120 m (Figura 44III).

A morfoestrutura da unidade compreende um amplo alto estrutural com forma elíptica de direção NW/SE, concordante com uma intrusão de Diabásio que cruza praticamente toda a unidade do Planalto da Mata Negra. Tal morfoestrutura apresenta em seu interior fraturas e falhamentos que somados imprimem um aspecto irregular ao relevo, com encostas muito inclinadas por influência tipicamente estrutural (Figura 45B).

As subpaisagens de topo são unidades pequenas e arredondadas ou estreitas e alongadas preferencialmente na direção NW/SE, concordante com as intrusões, lineamentos e morfoestrutura. Sobre as unidades mais elevadas são encontrados depósitos de material extremamente friável, muito semelhante à Latossolos.

Entretanto, quando observados com maior detalhe percebe-se a presença de pequenas concreções subangulares a angulares em meio à massa, que são evidências de ser um material alóctone.

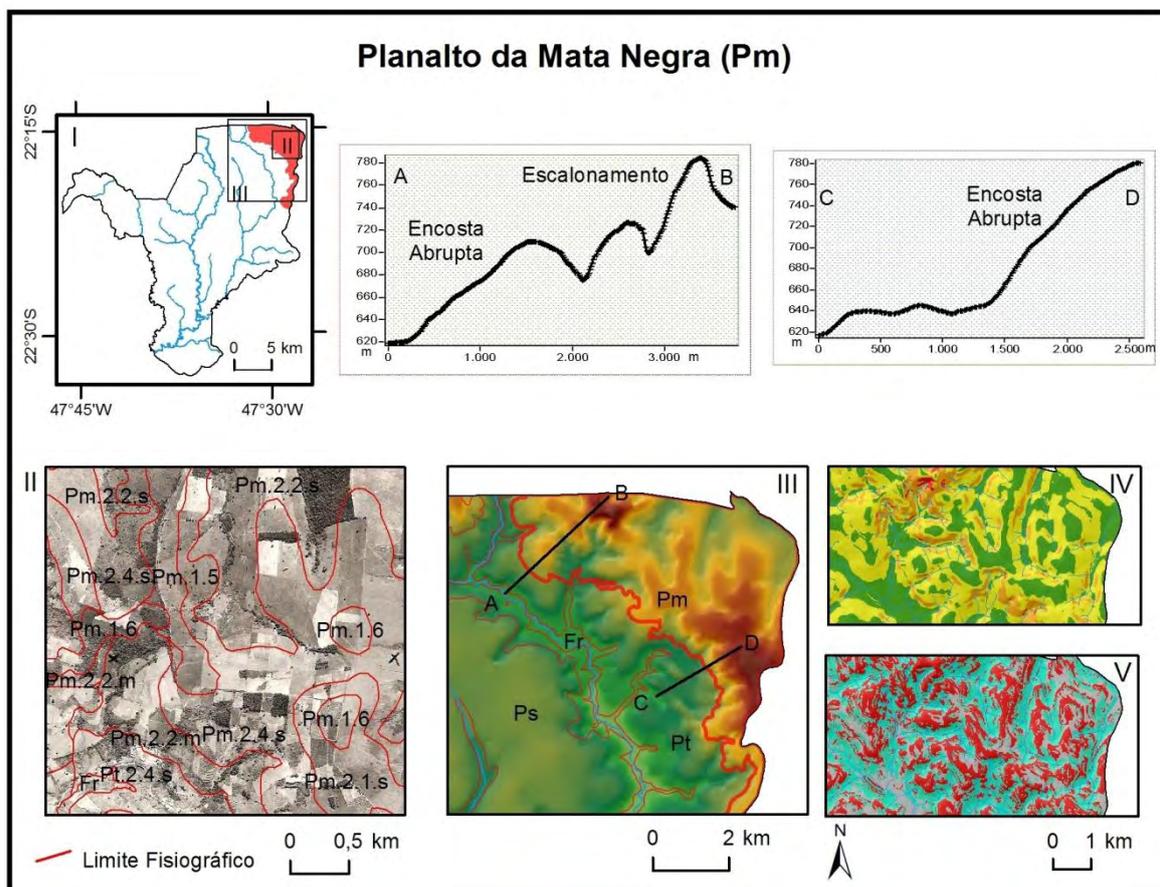


Figura 37: Representação esquemática da unidade do Planalto da Mata Negra. I) localização e distribuição da unidade; II) relevo típico da unidade Pm e subpaisagens; III) níveis altimétricos da unidade Pm na porção nordeste da área; IV) declividade; V) curvatura terreno; A-B e C-D) perfis transversais representativos da paisagem.

As encostas são mais amplas, convexas e pouco inclinadas quando próximas aos topos e, estreitas, retilíneas ou côncavas e mais inclinadas quando da influência direta das intrusões de Diabásio (perfil C-D, Figura 44). A Figura 44II possibilita uma visão em detalhe das subunidades que compõem a paisagem.

Outra condição de relevo típica da unidade é o escalonamento de blocos e a presença de vales entalhados juntos as encostas voltadas para SW (perfil A-B, Figura 44) e vales amplos com vertentes suaves nas áreas mais elevadas (Figura 45A).

Devido à grande variedade de formas de relevo e tipos de rochas, os solos da unidade apresentam igual variabilidade, pois as intrusões e os movimentos tectônicos colocaram lado a lado litologias de épocas diferentes, como as rochas da Fm.

Corumbataí, Fm. Pirambóia e Fm. Tatuí. Os solos mais comuns são os Argissolos (Figura, 45E), Neossolos Litólicos, Neossolos Regolíticos e Cambissolos.

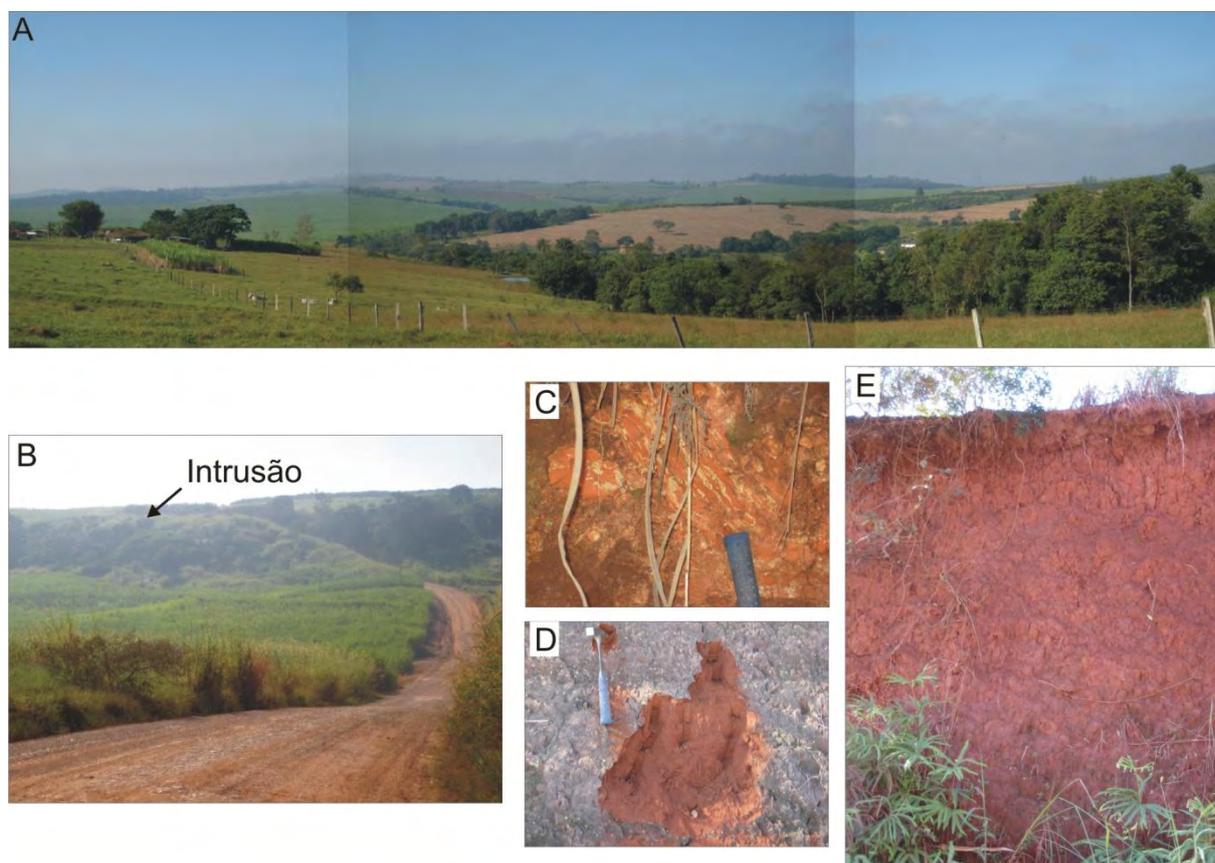


Figura 38: Paisagens representativas da unidade do Planalto da Mata Negra. A) vista geral da unidade Pm (Ponto 150); B) controle estrutural por intrusão de Diabásio (Ponto 148); C) Fm. Corumbataí com pequenas dobras e alterada (Ponto 22); D) material de topo, concrecionário e muito friável (Ponto 23); E) Argissolo com substrato da Fm. Corumbataí (Ponto 22).

#### 5.3.4.3. *Domo de Pitanga (D)*

O Domo de Pitanga é uma unidade tipicamente controlada por estruturas geológicas, como intrusões, fraturamentos e falhamentos (SOUSA, 2002). Localiza-se na porção sul do município (Figura 46I) e corresponde a aproximadamente 43 km<sup>2</sup>, o que representa 8,5% da totalidade das paisagens.

O relevo é suave ondulado, com a presença de encostas mais íngremes e declividades entre 20 e 45% (Figura 46IV). Os topos apresentam superfície plana ou suavemente inclinada e as encostas as mais variadas formas (Figura 47V), com o predomínio de encostas levemente côncavas. Suas altitudes variam entre 500 m e 660 m, com amplitudes locais médias de 70 m (Figura 46III).

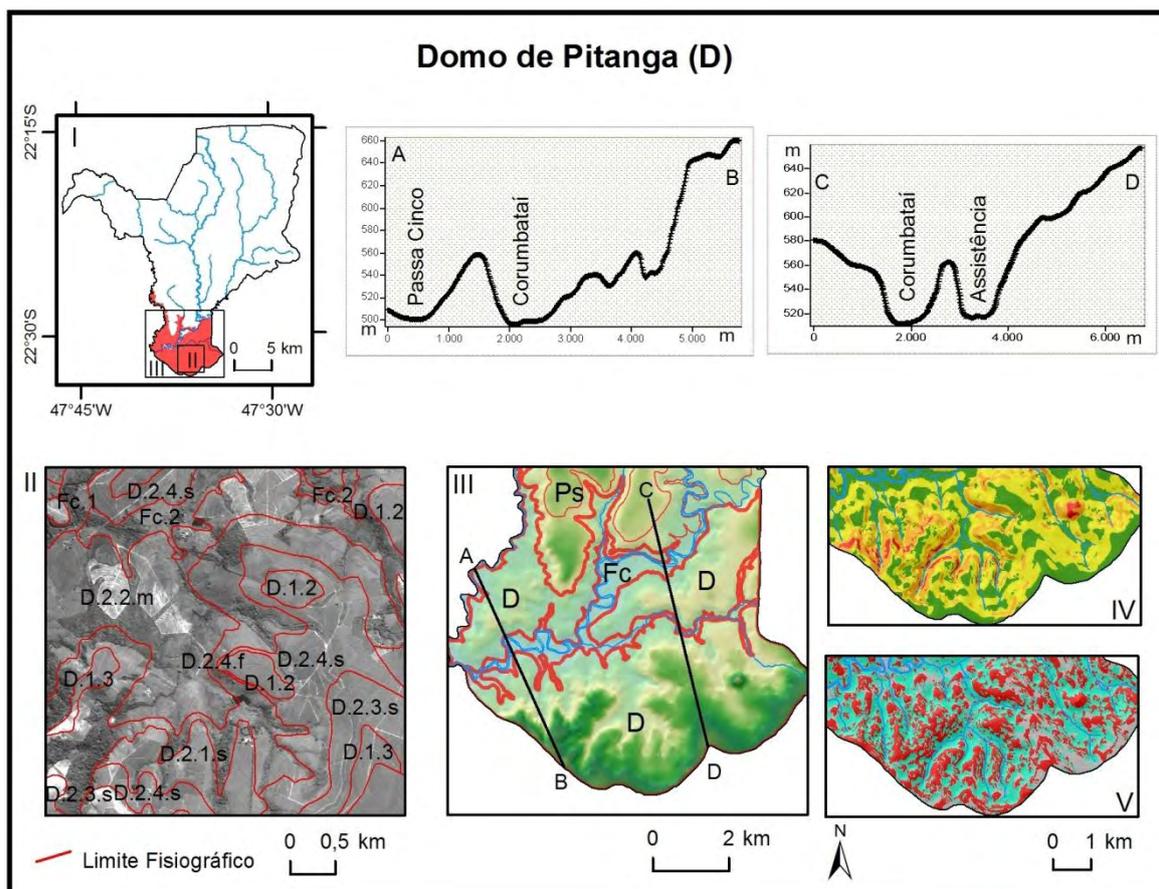


Figura 39: Representação esquemática da unidade do Domo de Pitanga. I) localização e distribuição da unidade; II) relevo típico da unidade D e subpaisagens; III) níveis altimétricos da unidade D na porção sul da área; IV) declividade; V) curvatura terreno; A-B e C-D) perfis transversais representativos da paisagem.

A rede de drenagem apresenta densidades entre moderada e baixa, com vales pouco profundos e fortemente assimétricos (perfis A-B e C-D, Figura 46). A rede de drenagem apresenta no seu alto curso grande poder erosivo, com anfiteatros relativamente amplos e planícies de inundação estreitas, porém colmatadas por sedimentação recente (Figura 47A). Os canais apresentam mudanças de direção abruptas e trechos retilíneos, o que evidencia a presença de controle estrutural.

A origem da estrutura de Pitanga (Domo de Pitanga) é anterior ao magmatismo Serra Geral, por movimentos tectônicos que perturbaram a Bacia do Paraná no limite Permiano-Triássico (RICCOMINI, 1995). Entretanto, essa estrutura passou por reativações como falhas de movimentação vertical durante o magmatismo Serra Geral (SOARES, 1972) e, posteriormente, por reativações neocenozóicas, com movimentação vertical de blocos (soerguimento) foi gerado um barramento no paleocanal do rio Corumbataí, o que permitiu e condicionou a deposição da Fm. Rio Claro (MELO, 1995).

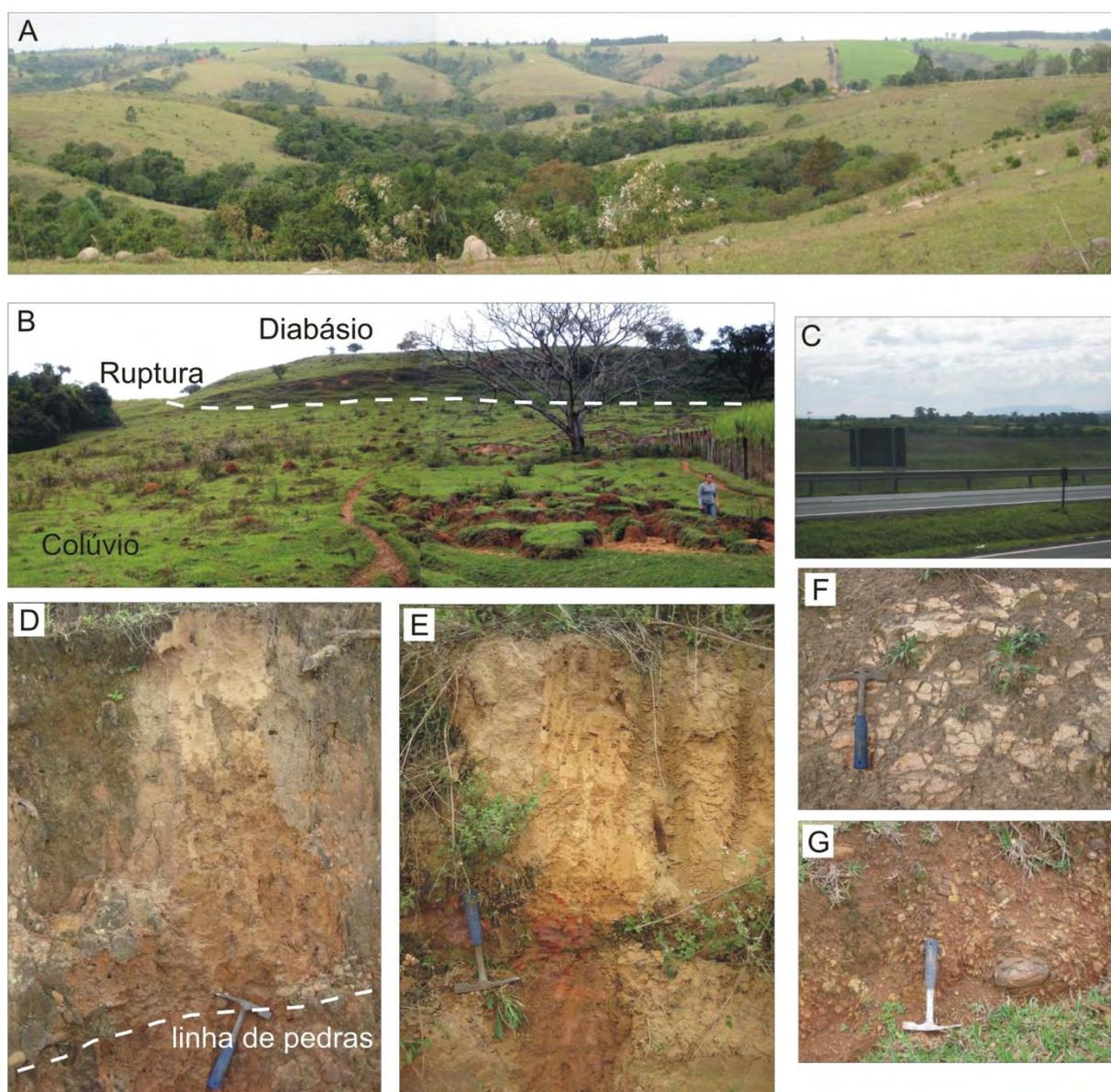


Figura 40: Paisagens representativas da unidade do Domo de Pitanga. A) vista geral da unidade do Domo de Pitanga (Ponto 48); B) controle estrutural evidente por intrusões de Diabásio e rupturas de relevo abruptas (Ponto 37); C) planície de inundação situada na meia encosta, evidência de soerguimento (Ponto 187); D) depósito colúvio-aluvial com base cascalhenta (Ponto 36); E) depósito colúvio-aluvial sobre Plintossolo do grupo Itararé (Ponto 46); F). siltito do grupo Itararé (Ponto 34); G) alteração esferoidal de Diabásio (Ponto 41).

Diversas são as formas e feições que argumentam a favor das movimentações mais recentes na área do Domo de Pitanga, como exemplo a Figura 47C apresenta parte de uma planície de inundação situada na meia encosta e mesmo assim ainda conserva condições elevadas de umidade e vegetação característica de áreas úmidas. Entretanto, a unidade do Domo de Pitanga não abrange apenas a estrutura em si, mas também as áreas adjacentes que foram influenciadas pelos mesmos eventos tectônicos que deram origem a estrutura de Pitanga.

Assim, essa unidade é constituída por subpaisagens de topos e encostas, que apresentam grande variedade quanto à forma, declividade e processos envolvidos na evolução (Figura 46II).

Os topos são planos e ocorrem em três níveis altimétricos diferentes, condicionados de acordo com as estruturas e os tipos litológicos. Em geral, os topos extremamente baixos relacionam-se com as rochas do grupo Itararé (Figura 48F), os topos muito baixos com as rochas da Fm. Irati ou Fm. Tatuí e os topos baixos com sedimentos arenosos da Fm. Rio Claro. Porém, é comum a presença de depósitos colúvio-aluviais sobre os topos (Figura 47E) e encostas (Figura 47D).

Assim como os topos, as encostas apresentam grande variabilidade de formas como consequência do controle estrutural. Tal controle fica evidente na Figura 47B, onde nota-se que em uma pequena área existem pelo menos duas unidades de encosta diferentes, limitadas por uma ruptura abrupta de relevo. Essa mesma variedade também está presente nos materiais que constituem cada uma dessas unidades de encosta, onde a encosta superior é constituída por Diabásio (Figura, 47G) e a encosta inferior por material coluvial sobre siltitos do grupo Itararé.

## 6. CONCLUSÕES

1.A fisiografia do município de Rio Claro-SP é caracterizada por paisagens de origem fluvial, denudacional/paleoaluvial, denudacional e estrutural. No interior dessas paisagens encontram-se unidades menores definidas como: subpaisagens do tipo planície de inundação e terraço para as paisagens fluviais; topos e encostas para as paisagens denudacionais/paleoaluviais, denudacionais e estruturais e; lagoas abandonadas nas paisagens denudacionais/paleoaluviais;

2.A análise fisiográfica permitiu identificar e compreender os processos endógenos e exógenos que atuam e atuaram no desenvolvimento da paisagem. A área foi influenciada por inúmeras variações climáticas, ciclos erosivos e eventos tectônicos no decorrer do período Cenozóico, que resultaram na geração de paisagens policíclicas aluviais (atual e passadas) e colúvio-aluviais, desenvolvidas a partir de processos morfogenéticos degradacionais e agradacionais, condicionados por eventos tectônicos modernos que reativaram antigas zonas de fraqueza;

3.A partir da interpretação de fotografias aéreas, levantamentos em campo e auxílio da revisão bibliográfica puderam ser definidos os limites das unidades fisiográficas a partir das propriedades do meio físico (litologia, clima, formas de relevo, padrão de drenagem e tipos de solos);

4.As unidades fisiográficas delimitadas representam áreas com evolução fisiográfica e comportamento natural semelhantes, onde a probabilidade das características do meio físico possuírem inter-relações quanto à gênese é alta. Desse modo, a interpretação dessas unidades permite que as demais propriedades do meio físico (coberturas superficiais, solos, declividade, permeabilidade, forma de relevo, entre outras) sejam delimitadas com um acurado grau de precisão, servindo como base em projetos de zoneamento geoambiental e planejamento territorial;

5.Observa-se, no município de Rio Claro – SP, o predomínio de morfoestruturas do tipo alto estrutural (dômicas) amplas e do tipo baixo estrutural (depressões) estreitas. Tal conformação das morfoestruturas, altos estruturais amplos e baixos estruturais estreitos, é uma evidências de níveis erosivos rasos. Os principais altos estruturais estão associados a intrusões de Diabásio e antigas superfícies erosivas terciárias (Superfície de Urucáia) e os principais baixos estruturais estão associados aos vales fluviais dos rios Corumbataí e Passa Cinco e do ribeirão Claro, que estão condicionados por falhas e fraturas que formam pequenos “grabens” localizados;

6.Para a precisa análise das formas anômalas, a definição do traçado das linhas de contorno estrutural não cotadas e das morfoestruturas foi necessária uma cuidadosa extração da rede de drenagem com o uso de fotografias aéreas na escala 1:25.000. A utilização das fotografias aéreas na escala de 1:25.000 possibilitou o maior detalhamento da rede de drenagem quando comparada com folhas topográficas na escala de 1:50.000 e 1:10.000. O maior detalhamento ocorreu pelo fato das fotografias aéreas apresentarem a totalidade dos dados presentes na superfície terrestre, enquanto que as folhas topográficas apresentam dados extrapolados e por vezes simplificados da topografia do terreno, que são mais ou menos precisos dependo da escala de levantamento e publicação das folhas topográficas.

7.A aplicação da análise morfoestrutural pode ser considerada uma técnica expedita e de baixo custo, que atende a levantamentos de reconhecimento do arcabouço estrutural geológico em bacias sedimentares antigas. Tal afirmação tem embasamento no fato de que atualmente existe uma gama de produtos de sensoriamento remoto disponíveis gratuitamente, o que permite a extração e análise da rede de drenagem e relevo e conseqüentemente a análise morfoestrutural a um baixo custo. A análise

morfoestrutural permitiu recuperar informações das deformações dúcteis e rúpteis a partir da análise e interpretação de elementos superficiais de drenagem e relevo;

8.A aplicação da análise morfoestrutural em questões ambientais e de planejamento territorial contribui para a compreensão dos processos superficiais (Quadro 4) relacionados à dinâmica das paisagens e, assim, corrobora para um melhor planejamento dos recursos naturais de acordo com suas potencialidades e fragilidades naturais;

9.A realização da análise geomorfométrica em ambiente SIG proporcionou maior agilidade na realização dos mapas de hipsometria, classes de declividade e curvatura do terreno. Além de possibilitar uma avaliação conjunta dos dados geomorfométricos, morfoestruturais e fisiográficos a partir da sobreposição desses dados e a análise em escalas menores pela aplicação do *zoom* sobre áreas de interesse;

10.Os parâmetros geomorfométricos exercem forte influência sobre os agentes intempéricos e erosivos responsáveis por esculpir as formas de relevo. A compreensão desses parâmetros foi fundamental para a caracterização morfométrica das unidades fisiográficas, como a diferenciação dos topos por altitude e das encostas por declividade e forma, e contribuiu para o entendimento da dinâmica superficial da água como principal agente geológico responsável pela evolução das vertentes;

11.A análise geomorfométrica não deve ser entendida como o fim, mas sim como uma técnica de extração de dados que, necessariamente, precisam ser analisados em conjunto com outros dados fisiográficos e morfoestruturais. Pois, dessa maneira, será possível gerar interpretações mais completas sobre as propriedades e características que contemplam a complexidade das paisagens.

12.Recomenda-se que sejam realizadas análises laboratoriais granulométricas, químicas e mineralógicas das coberturas superficiais e solos. Tais análises contribuirão para melhor caracterizar e distinguir as coberturas superficiais e solos, entender sua origem e evolução, estágio intempérico e, conseqüentemente, suas potencialidade e fragilidades para múltiplos usos.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A.N. A terra paulista. **Bol. Paul. de Geografia**, São Paulo, n. 23, p. 5-38, jul. 1956.
- ALLUM, A. E. **Photogeology and regional mapping**. J. Pergamon, Oxford, **1966**, 107 pp., 29 Fig., 16 Plates, 2 Tables.
- ALMEIDA, F.F.M & BARBOSA, O. Geologia das quadrículas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo. **Bol. Div. Geologia e Mineralogia**, DNPM, n. 143, p. 1-96, 1953.
- ASSINE, M.L. & SOARES, P.C. Interação flúvio-eólica na Formação Pirambóia.. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 4, 1995, Águas de São Pedro, Anais... Águas de São Pedro: SBG, 1995. p. 65.
- ASSINE, M.L.; ZACHARIAS, A. A.; PERINOTTO, J. A. J. Paleocorrentes, paleogeografia e seqüências deposicionais da Formação Tatuí, centro-leste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 33, n. , p. 33-40, 2003.
- BARBOSA, O. & GOMES, F.A. **Pesquisa de petróleo na Bacia do Rio Corumbatai, Estado de São Paulo**. Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, Boletim 171, 1958. 40p.
- BAPTISTA, M.B.; BRAUN, O.P.G; CAMPOS, D.A. **Léxico estratigráfico do Brasil**. Brasília: DNPM-CPRM, 1984, 560p.

- BJÖRNBERG, A.J.S. **Sedimentos pós-cretácio do leste do Estado de São Paulo**. 1964. Tese (Concurso Livre Docência) - Escola de Eng. de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1965.
- BJÖRNBERG, A.J.S. & LANDIM, P.M.B. Contribuição ao estudo da Formação Rio Claro (Neocenozóico). **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, São Paulo, v. 15, n. 4, p. 43-68, 1966.
- BJÖRNBERG, A.J.S.; MACIEL, A.C.; GANDOLFI, N. Nota sobre os depósitos modernos na região de Rio Claro - São Carlos. **Pub. Esc. Eng. São Carlos**, n. 106, p. 21-36, 1964. (Geologia, n. 11)
- BOTERO, J.P. **Fisiografia y estudio de suelos**. Centro Interamericano de Fotointerpretacion (CIAF): Série Docencia, Bogotá, 1978.
- BRASIL. Ministério da agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. Comissão de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo**. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, 1960. Mapa, escala 1:500.000.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADANBRASIL, Folhas SF. 23/24 - Rio de Janeiro/Vitória**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, Levantamento de Recursos Naturais, v. 32, 1983. 780p. Mapas, 5, escala 1:1000.000.
- BURINGH, P. The analysis and interpretation of aerial photographs in soil survey and land classification. **Neth. Journal Agri. Sc.** v.12, n.4, pp. 251-25, 1954.
- BURINGH, P. The applications of aerial photographs in soilsurveys. In: **American Society Photogrammetry. Manual of photographic interpretation**. Washington. 1960. p.633-666.
- CADENAS, F.L & BARCENAS, V.G. **Aplicacion de La fotografia aerea a los proyectos de restouracion hidrológico-florestal**. Instituto Florestal de Investigaciones y experiencias, Madri, 1968, 164p.
- CAETANO-CHANG, M.R. **A Formação Pirambóia no centro-leste de São Paulo**. 1997. 196f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, 1997.
- CAETANO-CHANG, M. R. & WU, F. T. Diagênese de arenitos da Formação Pirambóia no centro-leste paulista. **Geociências**, São Paulo, v. 22 (nº especial): p. 33-39, 2003.
- CEAPLA. **Atlas ambiental da Bacia do Rio Corumbataí**. <<http://ceapla.rc.unesp.br/atlas/atlas.html>>. Acesso em 20/01/2010.
- CHORLEY, R.J., MALM, D.E.G., POGORZELSKI, H.A. **A new standard for estimating drainage basin shape**. Am. J Sci. v. 255, p. 138-141, 1957.
- CRISOSTOMO-NETO, A. P. **Mapeamento geoambiental com imagem de satélite do Vale do Paraíba**. 2003. 67f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio

- Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.
- DAEMON, R. F. & QUADROS, L. P. Bioestratigrafia do Neopaleozóico da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 24. Brasília, 1970. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Geologia, 1970. v. 1, p. 359-412.
- DE BIASI, M. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Dep. De Geografia**, São Paulo, USP-FFLCH, n. 6, p. 45-60, 1992.
- DE MARTONNE, E. Problemas morfológicos do Brasil Tropical Atlântico. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, IBGE, n. 4, 1943.
- DERRUUAU, M. **Geomorfologia**. Trad. Luis Sole Sabaris, Barcelona, Ediciones Ariel, 1966, 442p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA produção de informação: Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006.
- FACINCANI, E.M. **Morfotectônica da Depressão Periférica paulista e Cuesta Basáltica: regiões de São Carlos, Rio Claro e Piracicaba**. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2000. 222 p
- FERREIRA, S.R. & CHANG, M.R.C. Datação das Formações Rio Claro e Piraçununga por termoluminescência. **R. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 61(2), 129-134, abr. jun. 2008.
- FROST, R.E. 1960. Photo-interpretation of Soils. Manual of Photographic Interpretation. Amer.Soc.Photogr. Washington, D.C.
- FULFARO, V.J. & SUGUIO, K. A Formação Rio Claro, Neoceno-zóico, e seu ambiente de deposição. IGG, **Revista de Instituto Geográfico e Geológico**, São Paulo, v. 20, n. único, p. 45-60, 1968.
- FULFARO, J.V.; STEVAUX, J.C.; SOUZA FILHO, E.E.; BARCELOS, J.H. A Formação Tatuí no estado de São Paulo. In Congresso Brasileiro de Geologia, 33, 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 1984, v2, p. 711-724.
- GAMA JR, E. Sistemas deposicionais do Grupo Passa Dois. In: Simpósio Regional de Geologia., 2, 1979. **Anais...** Rio Claro, v. 1, p.195-202, 1979.
- GOOSEN, D. Interpretación de fotos aereas y su importancia em levantamiento de suelos. **Boletín Sobre Suelos** - Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion, Roma, n. 6, 1968, 58 p.
- GOOSEN, D. **Physiography and soils of the Llanos Orientales, Colômbia**. Academisch Proefschrift, 1971, 199 p.
- GOUVEIA, S.E.M.; PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; SCHELLYBERT, R.; BENDASSOLI, J.A.; RIBEIRO, A.S.; FREITAS, H.A. Carbon isotopes in charcoal

- and soils in studies of pleovegetation and climate changes during the late Pleistocene and the Holocene in the southeast and centerwest regions of Brazil. **Global Planetary Change**, n.33, p.95-106, 2002.
- GUY, M. Quelques principes e quelques expériences sur la methodologie de la photo-interpretation. IN: Symposium International de Photo-Interpretation, 2, 1966, Paris. **II Symposium International de Photo-Interpretation: Acte**, 1966, v.1, p.21-41.
- IG - Instituto Geológico (São Paulo. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Coordenadoria da Pesquisa de Recursos Naturais). **Formações geológicas de superfície- Folha Geológica de Rio Claro (SF-23-M-I-4)**. Carta 1:50.000. 1986
- JIMÉNEZ-RUEDA, J. R. **Modelos seqüenciais de gênese aplicados a solos da Região de Jequitáí - MG.** (1980). Dissertação (Mestrado) – ESALQ/USP, Piracicaba, 188 p.
- JIMÉNEZ-RUEDA, J. R.; PESSOTI, J. E. S.; MATTOS, J. T. Uso de sensoriamento remoto no zoneamento agroecológico da região as Serra do Mar no Estado de São Paulo. In: Simpósio Latinoamericano de Percepción Remota, n. 4, **Anais ... Bariloche.**, 1989.
- JIMÉNEZ-RUEDA, J.R. **Caracterização das coberturas de alteração intempéricas e suas múltiplas aplicações na região centro oeste do Estado de São Paulo.** Rio Claro, Relatório Final de projeto auxílio à pesquisa FAPESP (nº 89/3495-0), 1993.
- JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; NUNES, E.; MATTOS, J.T. Caracterização fisiográfica e morfoestrutural da folha São José de Mipibu-RN. **Geociências**, São Paulo, v.12, n.2, pp. 481-491, 1993.
- JIMÉNEZ-RUEDA, J. R.; PESSOTI, J. E. S.; MATTOS, J. T. Modelo para o estudo da dinâmica evolutiva dos aspectos fisiográficos dos pantanais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, Número Especial, pp. 1763-1774, outubro, 1998.
- KING, L.C. A geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, n. 18, 1956.
- LANDIM, P. M. B. **O Grupo Passa Dois na Bacia do Rio Corumbataí (SP)**. 1967, 98f. Tese (Doutorado em Geociências), Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras/Rio Claro, 1967.
- LANDIM, P. M. B. **O Grupo Passa Dois na Bacia do Rio Corumbataí (SP)**. DNPM, DGM, Bol. 25:103p., 1970.
- LEPSCH, I. F., BELINAZZI JR., R., BERTOLINI, D., ESPINDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4.a. aproximação. Campinas: SBCC, 1991. 175p.
- LUEDER, D.R. **Aerial photographic interpretation: principles and applications**. New York, McGraw-Hill. 1959. 462p.
- LOCZY, L. & LADEIRA, E.A. **Geologia estrutura e introdução à geotectônica**. Ed. Edgard Blucher, Rio de Janeiro, CNPq, 134p., 1980.

- MADRUCCI, V; ARAUJO, C.C.; TAIOLI, F. Sensoriamento remoto, aerogeofísica e geoprocessamento aplicados ao estudo de aquífero fraturado em terreno cristalino, leste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33 (2), p.43-52, jun 2003.
- MCCOY, J. & JOHNSTON, K. **Using ArcGis Spatial Analyst**. New York, ESRI, 2002, 232p
- MELO, M.S. **A Formação Rio Claro e depósitos associados**: sedimentação cenozóica na depressão periférica paulista. 1995. 144 f. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- MELO, M.S. & CUCHIERATO, G. Quaternary colluvial–eluvial covers of the Eastern Paraná Basin, Southeastern Brazil. Elsevier: Amsterdam. **Quaternary International**, v. 114. 45–53, 2004.
- MELLO e SOUZA, S.H. **Fácies sedimentares das Formações Estrada Nova e Corumbataí no Estado de São Paulo**. São Paulo. 1985. 142 f. Dissertação (Mestrado em Paleontologia e Estratigrafia)- Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 1985.
- MEZZALIRA, S. descrição geográfica e geológica das folhas de Piracicaba e São Carlos, SP. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, n. 43, 1965, 42p.
- MEZZALIRA, S. **Folha geológica de São Carlos 1:100.000**. São Paulo: Instituto Geográfico Geológico do Estado de São Paulo, 1966.
- MILANI, E.J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental**. 1997 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Tese de Doutorado, 2 volumes. 1997.
- MONTEIRO, C.A.F. **A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo: estudo geográfico sob forma de Atlas**. São Paulo: Instituto de Geografia - USP, 1973.
- MORAES REGO, L.F. Notas sobre a geomorfologia de São Paulo e sua gênese. **Inst. Astron. Geofísico de São Paulo**, São Paulo, 1932.
- MORALES, N. **Neotectônica em ambientes intraplaca**: exemplos da região sudeste do Brasil. Tese de Livre Docência, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro-SP, 2005. 201p
- MULDERS, M.A. Remote sensing in soil science. **Developments in Soil Science**, Amsterdam, v. 15 (Series), 1987, 379p.
- NARDY, A.J.R.; MACHADA, F.B.; OLIVEIRA, M.A.F. As rochas vulcânicas mesozóicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímico-estratigráficas. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, 38(1): 178-195, março de 2008.

- OHARA, T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; MATTOS, J.T. de; CAETANO, N.R. Zoneamento geoambiental da região do alto-médio rio Paraíba do Sul e a carta de aptidão física para a implantação de obras viárias. **Rev. Br. de Geociências**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 173-182, jun. 2003.
- OKA-FIORI, C. Mapeamento das formações superficiais entre Piracicaba e São Carlos (SP), Curitiba, UFPR, **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 37, pp. 53-64, 1987.
- O'LEARY, D.W.; FRIEDMAN, J.D.; POHN, H.A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. **Geol. Soc. of Am. Bul.**, n. 87, p. 1463-1469, 1976.
- OLIVEIRA, J.B. de. **Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico**. Campinas, Instituto agrônômico, 1999, 112 p. (Boletim científico, 45)
- OLIVEIRA, J.B.; PRADO, H. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de São Carlos**. II Memorial Descritivo. Campinas: Instituto Agrônômico, 1984, 188p. (Boletim técnico, nº 98)
- PENTEADO, M. M. Contribuições ao estudo do clima do Estado: caracterização da área de Rio Claro/SP. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, n.º 11 (VI), p. 33-39, 1966.
- PENTEADO, M. M. Esboço geomorfológico da área de Rio Claro – São Paulo. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 29, n.3, pp. 64-76, 1967.
- PENTEADO, M. M. **Geomorfologia do setor centro-oeste da Depressão Periférica Paulista**. 1968. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, Rio Claro. (Série Teses e Monografias, São Paulo, n. 22, 1976, p. 86.).
- PENTEADO-ORELLANA, M.M. Estudo geomorfológico do sítio urbano de Rio Claro (SP). **Geomorfologia**, Campinas, v.21, n. 42, p. 23-56, dez. 1981.
- PERROTTA, M.M.; SALVADOR, E.D.; LOPES, R.C.; D'AGOSTINO, L.Z.; PERUFFO, N.; GOMES, S.D.; SACHS, L.L.B.; MEIRA, V.T.; GARCIA, M.G.M.; LACERDA FILHO, J.V. 2005. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000**. Programa Geologia do Brasil - PGB, CPRM, São Paulo.
- PRADO, H.; OLIVEIRA, J.B.; ALMEIDA, C.L.F. Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de São Carlos. Campinas, EMBRAPA/CPA/IA, 1981. Mapa, escala 1:100.000.
- RICCI, M. & PETRI, S. **Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica**. São Paulo: Editora Nacional, 1965, 226 p.
- RICCOMINI, C. 1995. **Tectonismo gerador e deformador dos depósitos sedimentares pós-gondvânicos da porção centro-oriental do Estado de São Paulo e áreas vizinhas**. Tese de Livre-docência. Instituto de Geociências Universidade de São Paulo, IG-USP.

- RIVEREAU, J.C. Curso de fotointerpretação: notas de aulas. **Série Didática**. Brasília, Departamento de Geociências - UNB, n. 4, 1972, 128p.
- ROHN, R.& LAVINA, E.L. 1993. Cronoestratigrafia do Grupo Passa Dois. *In*: 1º Simpósio sobre a Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná, 1993, Rio Claro. **Resumos ....** Rio Claro: UNESP, 1993. v. 1. p. 77-80.
- ROSS, J. **Geomorfologia ambiental e planejamento**. Contexto. São Paulo, 1990.
- ROSS, J.L.S. & MOROZ, I.C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: USP, v. I e II, 1997. p. 64 e 2 mapas, escala 1:500.000.
- SANTOS NETO, E. V. **Caracterização geoquímica e paleoambiente deposicional da seqüência carbonato-pelítica superior do Membro Assistência, Formação Irtati no Estado de São Paulo, Bacia do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Ciências). XXII, 203p. Instituto de Geociências, UFRJ, Rio de Janeiro. 1993.
- SCHNEIDER, R.L.; MÜHLAMNN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F.; NOGUEIRA, A.A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, 28, Porto Alegre, 1974. **Anais...**, Porto Alegre: SBG, v. 1, p. 41-65.
- SHIMBO, J. Z. **Zoneamento geoambiental como subsídio aos projetos de reforma agrária: estudo de caso: assentamento rural Pirituba II (SP)**. 2006. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.
- SILVA, A.J.P.; LOPES, R.C.; VASCONCELOS, A.M.; BAHIA, R.B.C. **Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas Interiores**. *In*: Bizzi, L.A.; Schobbennhaus, C.; Vidotti, R.M.; Gonçalves, J.H. Geologia Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: textos, mapas & SIG. Brasília: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2003. 692p.
- SOARES, P.C. O limite glacial/pós-glacial do Grupo Tubarão no estado de São Paulo. 1972. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 44, p.333-342.
- SOARES, P. C. & LANDIM, P.M.B. Aspectos regionais da estratigrafia da Bacia do Paraná no seu flanco nordeste. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27, Aracaju, **Anais...** Aracaju: SBG, v.1, 1973. p. 243-256.
- SOARES, P.C. & LANDIN, P.M.B. Depósitos neocenozóicos na região centro-sul do Brasil. Campinas. **Notícia Geomorfológica**, v. 16, n. 31, p. 17-39, 1976.
- SOARES, P. C. & FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geomorfológica**, v. 16, n. 32, p. 71-104, Dez. 1976.
- SOARES, P. C.; SINELLI, O.; PENALVA, F.; WERNICK, E.; SOUZA, A. de & CASTRO, P. M. R. – 1.973 – Geologia do nordeste do Estado de São Paulo. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27, Aracaju, **Anais...** Aracaju: SBG, v.1, 1973. p. 209-228.

- SOARES, P.C.; MATTOS, J.T.; BALIEIRO, M.G.; BARCELLOS, P.F.; MENESES, P.R.; GUERRA, S.M.; CSORDAS, S.M. Análise Morfoestrutural Regional com imagens de radar e Landsat na Bacia do Paraná. In: Simpósio Regional de Geologia, 3., Curitiba, 1981. **Anais ...** Curitiba, SBG, 1981, v.1, p. 201 – 216.
- SOARES, P.C.; LUZ, M. E. R.; REDAELLI, R.; GUERRA, S. M. S. Análise morfoestrutural em fotos aéreas: aplicação na prospecção de hidrocarbonetos na Bacia do Paraná. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2., 1982, Brasília,. **Anais...** Brasília, DF: CNPQ, 1982. v. 1, p.157-168.
- SOUSA, M.O.L. **Evolução tectônica dos altos estruturais de Pitanga, Artemis, Pau d'Alho e Jibóia – centro do estado de São Paulo**. Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro, Tese de Doutorado, 2002, 206p.
- THONRBURY, W.D. **Princípios de Geomorfologia**. Buenos Aires: ed. Kapelusz, 1960.
- TROPMAIR, H. **Sistemas/Geosistemas/Geossistemas Paulistas/Ecologia da Paisagem**. Rio Claro – SP, 2004, 129p.
- USDA. **Soil Survey Manual**. Washington, SCS, Agriculture Handbook, n. 18, 1951, 646 p.
- VALENTE, A.O.R. **Análise da Estrutura da Paisagem na Bacia do Rio Corumbataí, SP**. 144fl. Tese (Mestrado em Recursos Florestais)- Faculdade Superior de Agricultura “Luiz de Queiros”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.
- VALERIANO, M.M. **TOPODATA: guia de utilização de dados geomorfométricos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008.
- VERSTAPPEN, H. Th. **Applied Geomorphology: Geomorphological surveys for environmental development**. Amsterdam: Elsevier, 1983.
- VILLOTA, H. **Técnicas modernas de mapeo de suelos de Ladera**. Bogotá: Centro Interamericano de Fotointerpretacion (CIAF), 1983, 32 p.
- VILLOTA, H. El sistema CIAF de clasificación fisiográfica del terreno. Bogotá: **Revista CIAF**, v.13, n.1, pp. 55-70, 1992.
- VILLOTA H. **Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras**. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2005, 184p.
- VOLKMER, S. **Caracterização mineralógica das coberturas de alteração intempérica da quadrícula de São Carlos (QSC), SP**: Escala 1:100.000. 1993. 157 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1993.
- VRIELYNCK, B. & BOUSSE, P. **The changing face of the Earth**. Unesco Publishing – Commission for the Geological Map of the World. Paris, France, 2003. 30p.
- WAINWRIGHT, J. & MICHAELIDES, K. Hillslope form. In: GOUDIE, A.S. (ed) **Encyclopedia of Geomorphology**. Ed. Routledge: London, pp. 516 - 521, 2004.

- WU, F. T. **Proveniência das Rochas Arenosas do Subgrupo Itararé no Sul do Estado de São Paulo-SP**. 1989. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T.; ZANOTTO, O.A. Bacia do Paraná. In: GABAGLIA, G.P.R. & MILANI, E.J. (Coords.). **Origem e evolução de bacias sedimentares**. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 1990, p. 135-168.
- ZAINE, J.E. **Geologia da Formação Rio Claro na folha Rio Claro (SP)**. Dissertação de Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 1994, 90p.
- ZINK, A. **Aplicacion de la geomorfologia al levantamiento de suelos em zonas aluviales y definicion del ambiente geomorfologico con fines de descripcion de suelos**. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi; Subdirección Agrologia, 1987, 176 p.

## **ANEXO 1**

### **MAPA DE PONTOS DE OBSERVAÇÃO DE CAMPO**

# LEGENDA

- Ponto de Observação

## CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- ▭ Limite Municipal
- ▨ Área Urbana
- Rodovias
- ~ Hidrografia

# MAPA DE PONTOS DE OBSERVAÇÃO DE CAMPO

Dissertação de Mestrado:

"Fisiografia do município de Rio Claro - SP"

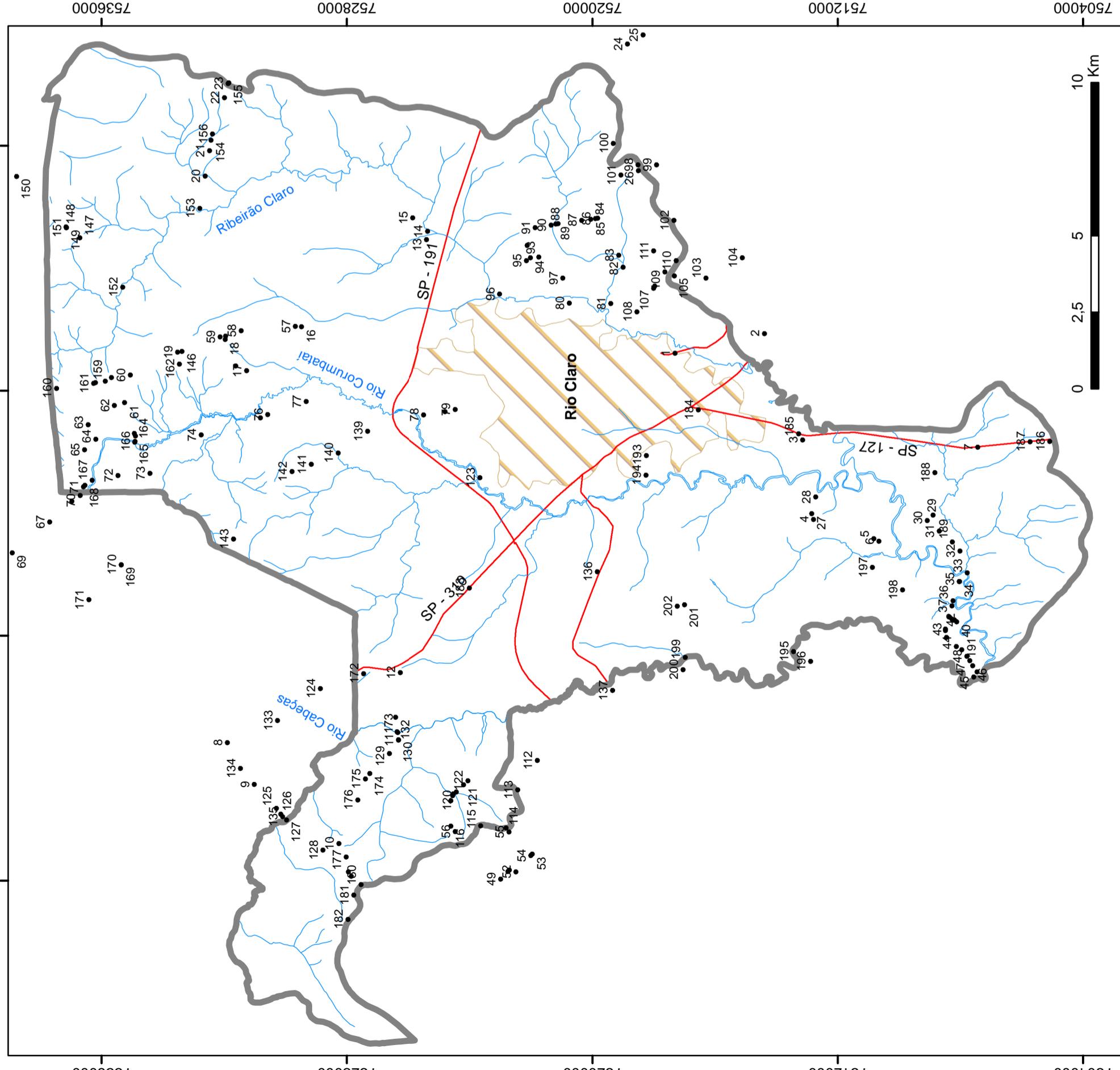
Fabiano do Nascimento Pupim (Autor)

Jairo Roberto Jiménez-Rueda (Orientador)

2010

Escala: 1:140 000

ANEXO 1



## **ANEXO 2**

### **MAPA FISIAGRÁFICO DO MUNICÍPIO DE RIO CLARO-SP**

**LEGENDA FISIOMORFOLÓGICA**

**FLUVIAL**

- Fc – Planície de Inundação do rio Corumbatai**
  - Fc.1 – do Canal principal
  - Fc.2 – dos Afluentes
  - Fc.3 – Terraco
- Fp – Planície de Inundação dos rios Passa Cinco/Cabeças**
- Fr – Planície de Inundação do ribeirão Claro**
  - Fr.3 – Terraco

**DENUDACIONAL/PALEOALUVIAL**

- Ps – Planalto Sedimentar**
  - Ps.1 – de Rio Claro
    - Ps.1.1 – Topo
    - Ps.1.1.2 – Muito Baixo (580 a 610)
    - Ps.1.1.3 – Baixo (610 a 660)
    - Ps.1.1.4 – Médio (660 a 680)
  - Ps.1.2 – Encosta
  - Ps.1.2.1 – Convexa
- Ps.1.3 – Lagoa abandonada
- Ps.2 – do Campo do Coxo
  - Ps.2.1 – Topo
    - Ps.2.1.2 – Muito Baixo (580 a 610)
    - Ps.2.1.3 – Baixo (610 a 640)
    - Ps.2.1.4 – Médio (640 a 680)
  - Ps.2.2 – Encosta
  - Ps.2.2.1 – Convexa
- Ps.2.3 – Lagoa abandonada
- Ps.3 – Residual
  - Ps.3.1 – Topo
    - Ps.3.1.3 – Baixo (620 a 650)
    - Ps.3.1.4 – Médio (650 a 680)
  - Ps.3.2 – Encosta
    - Ps.3.2.1 – Convexa

**DENUDACIONAL**

- Pt – Planaltos/Terraços Dissecados**
  - Pt.1 – Topo
    - Pt.1.2 – Muito Baixo (590 a 590)
    - Pt.1.3 – Baixo (590 a 620)
    - Pt.1.4 – Médio (620 a 660)
  - Pt.2 – Encosta
    - Pt.2.1 – Convexa
    - Pt.2.2 – Concava
    - Pt.2.4 – Mista
- Pl – Planalto de Itapé**
  - Pl.1 – Topo
    - Pl.1.3 – Baixo (610 a 640)
    - Pl.1.4 – Médio (640 a 680)
  - Pl.2 – Encosta
    - Pl.2.1 – Convexa
    - Pl.2.3 – Retilínea
    - Pl.2.4 – Mista
- Pu – Planalto de Uruçatã**
  - Pu.1 – Topo
    - Pu.1.5 – Alto (680 a 730)
  - Pu.2 – Encosta
    - Pu.2.3 – Retilínea
    - Pu.2.4 – Mista

**Pb – Planalto do Biziguelli**

- Pb.1 – Topo
  - Pb.1.7 – Extremamente Alto (960 a 990)
- Pb.2 – Encosta
  - Pb.2.2 – Concava
  - Pb.2.3 – Retilínea

**ESTRUTURAL**

- Ph – Planalto do Horto Florestal**
  - Ph.1 – Topo
    - Ph.1.3 – Baixo (590 a 610)
    - Ph.1.5 – Alto (670 a 730)
  - Ph.2 – Encosta
    - Ph.2.1 – Convexa
    - Ph.2.3 – Retilínea
    - Ph.2.4 – Mista
- Pm – Planalto da Mata Negra**
  - Pm.1 – Topo
    - Pm.1.5 – Alto (680 a 750)
    - Pm.1.6 – Muito Alto (750 a 820)
  - Pm.2 – Encosta
    - Pm.2.1 – Convexa
    - Pm.2.2 – Concava
    - Pm.2.3 – Retilínea
    - Pm.2.4 – Mista
- D – Domo de Pitinga**
  - D.1 – Topo
    - D.1.1 – Extremamente Baixo (510 a 550)
    - D.1.2 – Muito Baixo (550 a 600)
    - D.1.3 – Baixo (600 a 650)
  - D.2 – Encosta
    - D.2.1 – Convexa
    - D.2.2 – Concava
    - D.2.3 – Retilínea
    - D.2.4 – Mista

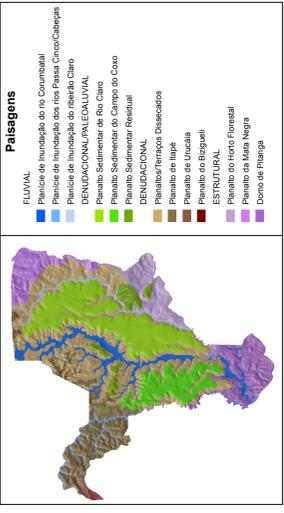
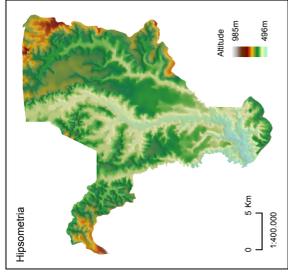
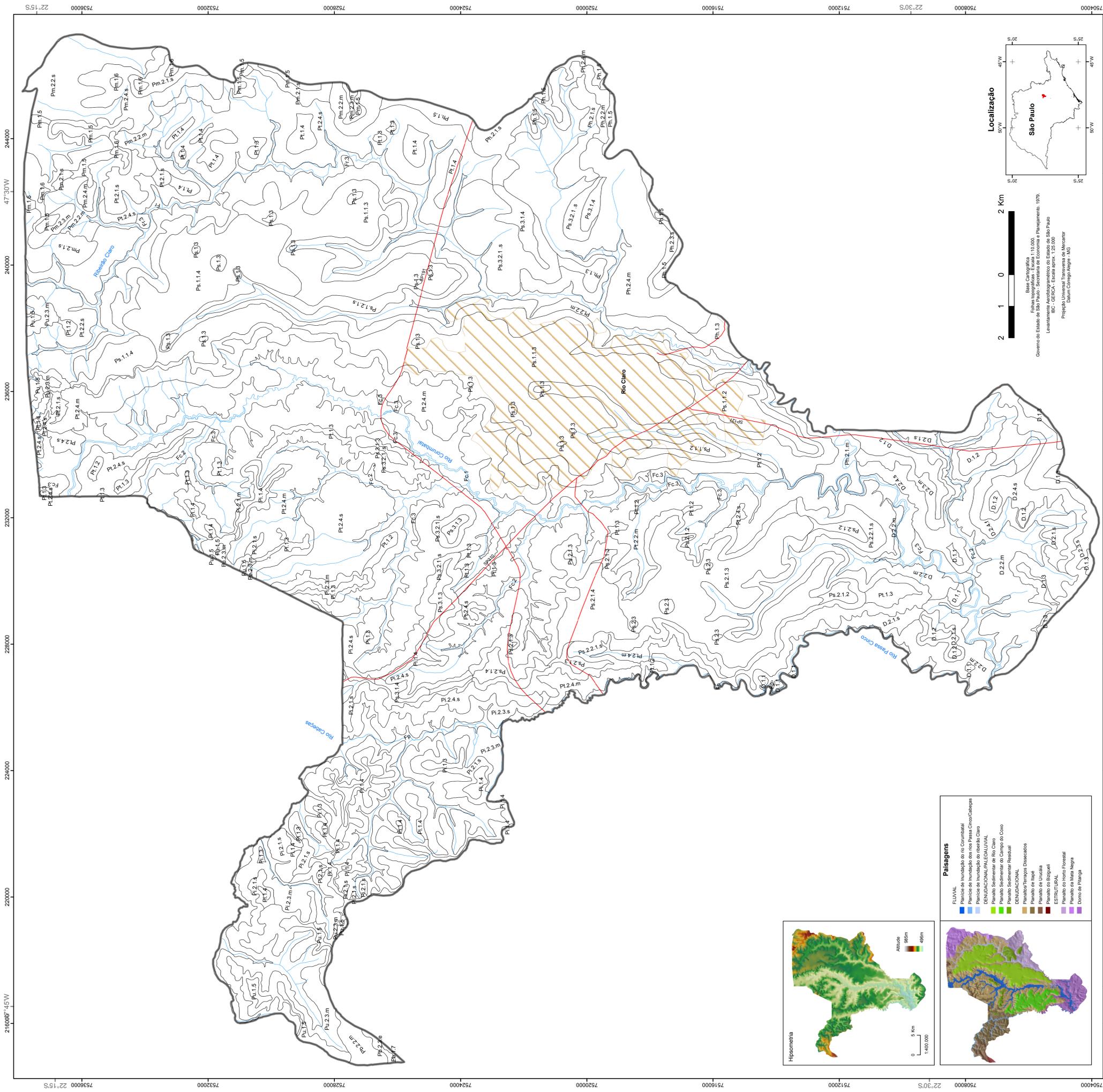
**CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS**

- Limite Municipal
- Área Urbana
- Rodovias
- hidrografia

**DECLIVIDADE DAS ENCOSTAS**

- p - Plana
- s - Suave
- m - Moderada
- f - Forte
- e - Escarpada

<b>MAPA FISIOMORFOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE RIO CLARO - SP</b>	
Dissertação de Mestrado:	
*Fisiografia do município de Rio Claro - SP*	
Fabiano do Nascimento Pupim (Autor)	2010
Juercio Tavares de Mattos (Co-orientador)	
Escala: 1:50.000	<b>ANEXO 2</b>



**Localização**



Bases Cartográficas: IBGE, 1:50.000  
 Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Estado de Planejamento, 1979.  
 Levantamento Aerofotogramétrico do Estado de São Paulo  
 IBGE - CERCA - Escala aprox. 1:250.000  
 Projeção Universal Transversa de Mercator  
 Datum: Córrego Alegre - MG