

**PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO
EM
GEOGRAFIA**

MARCELO EDUARDO FRANZIN

**AVALIAÇÃO DA FRAGILIDADE E DOS EFEITOS DA URBANIZAÇÃO
SOBRE O RELEVO NO SETOR OESTE DA CIDADE DE RIO CLARO (SP)**

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS

RIO CLARO/SP

2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

MARCELO EDUARDO FRANZIN

Avaliação da fragilidade e dos efeitos da urbanização
sobre o relevo no setor oeste da cidade de Rio Claro (SP)

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências
Exatas do Câmpus de Rio Claro, da
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Mestre em Geografia.

Orientadora: Prof^a Dr^a Cenira Maria Lupinacci

Rio Claro - SP

2018

551.4281 Franzin, Marcelo Eduardo
F837a Avaliação da fragilidade e dos efeitos da urbanização sobre o relevo
no setor oeste da cidade de Rio Claro (SP) / Marcelo Eduardo Franzin. -
Rio Claro, 2018
109 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros + 13 mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de
Geociências e Ciências Exatas
Orientadora: Cenira Maria Lupinacci

1. Geomorfologia - Brasil. 2. Fragilidade do meio físico. 3.
Fragilidade ambiental. 4. Urbanização. I. Título.

MARCELO EDUARDO FRANZIN

Avaliação da fragilidade e dos efeitos da urbanização
sobre o relevo no setor oeste da cidade de Rio Claro (SP)

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências
Exatas do Câmpus de Rio Claro, da
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Mestre em Geografia

Comissão
Examinadora

Profª Drª Cenira Maria Lupinacci (Orientadora)

Prof Dr Alan Silveira

Prof Dr Roberto Braga

Rio Claro, SP, 07 de dezembro de 2017.

A Renata (minha esposa) pelo carinho e companheirismo,
e Helena (minha filha) pelo brilho à nossas vidas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por essa jornada que chamamos de vida.

À minha companheira, Renata, pela força e pelo amor que tem me dado nesses anos, pela paciência, pela motivação e pelo apoio para que pudesse realizar esta dissertação.

Aos meus pais Gilberto e Regina pelo apoio e carinho.

Ao meu irmão Guilherme pela amizade e auxílio nos trabalhos de campo.

À Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci por ter me concedido à oportunidade de realizar este trabalho, pelas contribuições acadêmicas e profissionais.

Ao Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento e a Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, pelas instalações e materiais cedidos para realização deste trabalho.

À Secretaria Municipal de Planejamento Desenvolvimento e Meio Ambiente do Município de Rio Claro, que cedeu parte das fotografias aéreas e as cartas bases para este trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Geomorfologia, em especial Felipe, Estevão e Leonardo, por compartilharmos experiências, ensinamentos e técnicas que contribuíram para elaboração deste trabalho.

À Coordenação de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de mestrado junto ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus Rio Claro.

RESUMO

A urbanização tem crescido consideravelmente nos países tropicais e em desenvolvimento; no Brasil, nas últimas sete décadas, a população passou a ser predominante urbana. A construção das cidades e a expansão das áreas urbanas tem alterado as dinâmicas dos sistemas naturais e provocado profundas alterações nas paisagens, com a criação de novas condições para os fluxos de matéria e energia no sistema relevo, suporte físico para o assentamento urbano. No âmbito da geomorfologia, a antropogeomorfologia considera o homem como um agente geomorfológico, capaz de alterar as formas e os processos geomorfológicos. Essa vertente de estudos tem contribuído com a análise ambiental dos meios urbanos e dos efeitos da ocupação das cidades sobre o relevo. Nesse contexto, a presente pesquisa busca relacionar as características físicas do relevo, a fragilidade do meio físico, a fragilidade ambiental (ROSS, 1990, 1994, 2001) e os padrões de urbanização, buscando colaborar com instrumentos de gestão e planejamento para áreas urbanas. Assim, tem como objetivo avaliar a fragilidade do meio físico e ambiental do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP), a fim de identificar como determinadas características geomorfológicas suportam as transformações promovidas pelo uso urbano. Para alcançar o objetivo exposto, parte-se da análise sistêmica, a partir da Teoria Geral dos Sistemas aplicada a Geografia, e por um referencial metodológico e técnico aplicado aos estudos de ambientes antropizados por meio de níveis hierárquicos de fragilidade potencial e emergente, considerando o histórico evolutivo da área e os parâmetros físicos e ambientais, extraídos da análise de materiais cartográficos elaborados. A síntese das variáveis físicas do relevo na carta de fragilidade do meio físico, possibilitou uma análise articulada: dos parâmetros morfométricos, dos materiais inconsolidados e das feições erosivas, o que permitiu apontar as características geomorfológicas que suportam de maneira estável ou instável diferentes usos da terra, em áreas urbanas e rurais. A fragilidade ambiental é alterada de acordo com as características do uso da terra e o tipo de cobertura vegetal, sendo possível identificar como a urbanização acentua a fragilidade ambiental, enquanto outras formas de ocupação e cobertura vegetal atenuaram a fragilidade. O modelo cartográfico para identificar os padrões urbanos e os efeitos sobre fragilidade ambiental, permitiu setorizar o ambiente urbano a partir da diversidade da forma de ocupação do solo e a capacidade técnica das infraestruturas urbanas utilizadas por diferentes classes sociais.

Palavras – chave: Relevo. Fragilidade do Meio Físico. Fragilidade Ambiental. Urbanização.

ABSTRACT

The urbanization has risen considerably in developing tropical countries; in Brazil, in the last seven decades the population has passed to be mainly urban. The cities' construction and the expansion of urban areas has altered the natural system dynamics and caused deep modifications on landscapes, with the creation of new conditions to the matter and energy flows in the relief system, physical support to the urban settlement. In the scope of geomorphology, anthropomorphology considers man as a geomorphological agent, capable of altering geomorphological forms and processes. This strand of studies has contributed to the environmental analysis of urban environments and the effects of the occupation of cities on relief. In this context, the present research seeks to relate the physical characteristics of the relief, the fragility of the physical environment, the environmental fragility (ROSS, 1990, 1994, 2001) and urbanization patterns, seeking to collaborate with management and planning instruments for urban areas. Thus, the objective of this study is to evaluate the fragility of the physical and environmental environment of the western sector of the city of Rio Claro (São Paulo State), in order to identify how certain geomorphological characteristics support the transformations promoted by urban use. In order to achieve the above objective, it is based on the systemic analysis, based on the General Theory of Systems applied to Geography, and a methodological and technical reference applied to the studies of anthropized environments through hierarchical levels of potential and emerging fragility, considering the evolutionary history of the area and physical and environmental parameters, extracted from the analysis of elaborated cartographic materials. The synthesis of physical variables of relief in the letter of fragility of the physical environment, allowed an analysis articulated: the morphometric parameters, the unconsolidated materials and erosive features, which allowed pointing the geomorphological characteristics that support a stable or unstable different land uses, in urban and rural areas. The environmental fragility is amended in accordance with the characteristics of the land use and the type of plant cover, being possible to identify as urbanization accentuates the environmental fragility, while other forms of occupation and vegetation cover attenuated the fragility. The cartographic model to identify the urban patterns and the effects on environmental fragility, allowed setting the urban environment from the diversity of form of occupation of the soil and the technical capacity of urban infrastructures used by different social classes.

Key words – Environmental Fragility. Physical Environment Fragility. Relief. Urbanization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Amostra da carta de declividade, (A) sem correção manual; (B) com correção manual.....	28
Figura 2 - Padrões urbanos identificados no setor oeste da cidade de Rio Claro (SP).....	48
Figura 3 - Topografia e padrões de arruamentos.....	49
Figura 4 - Localização do setor oeste da cidade de Rio Claro	58
Figura 5 - Litologias do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP)	60
Figura 6 - Corte com altura excessiva no Residencial Jardim dos Bosques.....	66
Figura 7 - Sulcos erosivos decorrentes do escoamento superficial urbano	74
Figura 8 - Erosão em cabeceira de drenagem entre os bairros Jd. Palmeiras e Jd. Esmeralda.....	75
Figura 9 - Efeito erosivo das águas pluviais urbanas ao atingir um canal fluvial nas proximidades do Jardim Palmeiras. Considera-se que a intensa incisão fluvial, apontada pelas setas, indicam tal ação, excepcional para a dimensão do canal.....	75
Figura 10 - Erosão de sub-superfície que compromete o asfaltamento em rua do Jardim Centenário.....	76
Figura 11 - Sulcos erosivos no Jardim Nova Rio Claro	81
Figura 12 - Ocupação da planície e do terraço fluvial no Jd. Nova Rio Claro a esquerda, e entre os bairros Bom Sucesso e o Novo Wenzel, a direita.	82
Figura 13 - Vista do Jardim Nova Rio Claro inundado pelo rio Corumbataí (esquerda). Inundação no Jardim Nova Rio Claro (direita)	83
Figura 14 - Drenagem canalizada no bairro Benjamin de Castro. Na saída dessa canalização observa-se na imagem inferior, o efeito erosivo das águas pluviais potencializado pela canalização.....	84
Figura 15 - Retilização e aterramento do córrego da Servidão	87
Figura 16 - Saída da canalização do Córrego da Servidão, depois de passar debaixo da Avenida Tancredo Neves	87
Figura 17 - Saída da canalização do Córrego da Servidão, depois de passar debaixo da ferrovia	88

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Crescimento populacional do município de Rio Claro (SP)	56
Gráfico 2 - Porcentagem das classes de declividade em relação à área total	65
Gráfico 3 - Porcentagem das classes de dissecação horizontal em relação à área total	68
Gráfico 4 - Porcentagem das classes de dissecação vertical em relação a área total	68
Gráfico 5 - Porcentagem das classes de energia em relação a área total.....	70
Gráfico 6 - Porcentagem dos materiais inconsolidados em relação a área total.....	71
Gráfico 7 - Uso da terra e cobertura vegetal em áreas rurais (em Km ²).....	77
Gráfico 8 - Uso da terra e cobertura vegetal em áreas antrópicas urbanas (em Km ²).....	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fluxograma com as etapas de adaptação metodológica	23
Quadro 2 - Parâmetros para elaboração da carta de declividade.....	26
Quadro 3 - Classes de dissecação horizontal.....	30
Quadro 4 - Classes de dissecação vertical	31

Quadro 5 - Parâmetros para elaboração da carta de energia do relevo.....	31
Quadro 6 - Script de programação lógica para renomear as classes de declividade.....	33
Quadro 7 - Script de programação lógica para renomear as classes de dissecação vertical.....	33
Quadro 8 - Script de programação lógica para elaboração das classes de energia do relevo..	34
Quadro 9 - Simbologia utilizada nos mapeamentos geomorfológicos.....	38

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A - Carta de declividade do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP)	97
Apêndice B - Carta de dissecação horizontal do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP)	98
Apêndice C - Carta de dissecação vertical do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP).....	99
Apêndice D - Carta de energia do relevo do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP).....	100
Apêndice E - Carta de materiais inconsolidados do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP)	101
Apêndice F - Carta geomorfológica do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP), cenário de 1988	102
Apêndice G - Carta geomorfológica do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP), cenário de 2010	103
Apêndice H - Carta de fragilidade do meio físico do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP)	104
Apêndice I - Carta de uso da terra e cobertura vegetal do setor da cidade de Rio Claro (SP), cenário de 1988.....	105
Apêndice J - Carta de uso da terra e cobertura vegetal do setor da cidade de Rio Claro (SP), cenário de 2010.....	106
Apêndice K - Carta de fragilidade ambiental do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP)	107
Apêndice L - Carta de fragilidade ambiental associada aos padrões urbanos do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP)	108
Apêndice M - Carta de derivações ambientais e transgressões legais do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP).....	109

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 A concepção teórica	14
2.2 Antropogeomorfologia: o homem como agente geomorfológico	16
2.3 Geomorfologia urbana: o ambiente geomorfológico urbano	19
2.4 A fragilidade dos ambientes naturais e antropizados aplicada ao planejamento ambiental	21
3. TÉCNICAS CARTOGRÁFICAS	25
3.1 Base cartográfica	25
3.2 Carta de declividade.....	26
3.3 Cartas de dissecação do relevo	28
3.4 Carta de energia do relevo	31
3.5 Carta de Materiais Inconsolidados	35
3.6 Cartas geomorfológicas	36
3.7 Cartas de uso da terra e cobertura vegetal.....	39
3.8 Carta de fragilidade do meio físico e carta de fragilidade ambiental	41
3.9 Carta de fragilidade ambiental associada aos padrões urbanos.....	47
3.10 Carta de derivações ambientais e transgressões legais.....	53
4. CARACTERIZAÇÃO Do meio físico e o processo de ocupação da área estudada.....	56
5. RESULTADOS	63
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
REFERÊNCIAS	92

1. INTRODUÇÃO

As cidades alteram os processos naturais ao impermeabilizar as superfícies e remodelar a topografia, por meio dos arruamentos e dos cortes e aterros, provocando mudanças significativas na dinâmica do relevo sobre o qual se assentam. Assim, podem-se considerar as cidades como uma das mais profundas intervenções humanas no relevo, pois estas criam novas condições aos fluxos de matéria e energia, ao modificar significativamente suas formas e a cobertura da superfície.

A urbanização, portanto, altera de modo significativo a morfodinâmica, e acelera ou retarda os processos naturais. Pode-se considerar desse modo a ação do homem, enquanto ser social, como um agente geomorfológico, pois quase todos os processos geomorfológicos se encontram sob a influência da atuação antrópica, segundo Nir (1983).

A paisagem alterada pela urbanização tem no relevo o suporte físico sobre o qual as diferentes formas de ocupação ocorrem, refletindo o momento histórico, econômico e social. Assim, o relevo e suas formas representam o fruto da dinâmica entre os processos físicos e antrópicos atuantes (JORGE, 2011).

No entanto, as alterações promovidas no relevo nem sempre se adequam as características físicas existentes, e seus efeitos atingem áreas além das urbanizadas. De acordo com Goudie (2004), por não compreender o funcionamento do sistema geomorfológico natural, as ações antrópicas alteram as formas e os processos e, em certas situações, podem provocar eventos não antecipados ou desejados.

Embora a urbanização tenha a intenção de promover alterações benéficas do ponto de vista humano, nem sempre essas se adequam as características físicas existentes em certas organizações espaciais. Desse modo, mudanças inesperadas, ou até reações em cadeia, podem resultar daquilo que pretendia ser uma "benfeitoria" (DREW, 2005). Assim, a interação entre o sistema natural e o sistema antrópico urbano, poderá ser estável ou instável, dependendo das características físicas do relevo e dos impactos provocados pelo modelo de urbanização adotado.

Os ambientes naturais possuem diferentes graus de fragilidade natural, e são mais ou menos afetados pelas mudanças provocadas pelo sistema antrópico de acordo com suas características genéticas (ROSS, 1994), ou seja, existe em todas as organizações espaciais uma capacidade de suporte do relevo diante das modificações antrópicas. Considera-se, portanto, a necessidade de compreender como e quais características geomorfológicas suportam maior ou menor grau de transformação pelo meio urbano. Desse modo, é preciso avaliar se determinados

usos da terra em áreas urbanizadas e de expansão urbana são adequados a capacidade de suporte do sistema relevo.

A ciência geográfica tem contribuído nas últimas décadas para a compreensão dos problemas socioambientais urbanos. No âmbito da geomorfologia, vários estudos têm sido desenvolvidos no mundo (NIR, 1983; GOUDIE, 1993; HAFF, 2001) e no Brasil (PELLOGIA, 1998; RODRIGUES, 2005, 2010; ROSS, 1990), e visam melhor compreender como a ação humana pode se constituir em um agente geomorfológico, capaz de alterar as formas e os processos morfodinâmicos.

Esse ramo da geomorfologia, que considera o homem como agente geomorfológico, denominado de antropogeomorfologia, tem contribuído para a análise ambiental urbana e os efeitos da ocupação das cidades sobre o relevo. Para avaliar a interferência antrópica sobre o relevo deve-se, de acordo com Rodrigues (2005), considerar a história cumulativa bem como a dinâmica das intervenções antrópicas, buscando analisar os efeitos destas sobre a dinâmica geomorfológica.

A alteração provocada pelos arruamentos, por exemplo, com cortes e aterros na topografia, que em relevos com maior variação altimétrica necessitam de terraplanagem. Por vezes, há o soterramento de nascentes e de canais pluviais próximos as vias urbanas, em função da terraplanagem. Ainda, a remobilização de solos promovida por este procedimento de engenharia, tornam os materiais pouco coesos, os quais podem ser facilmente transportados pela ação das águas pluviais, provocando assoreamento de nascentes e canais fluviais.

A impermeabilização da superfície, como é comum nas cidades brasileiras, aumenta o escoamento superficial da água, pois a infiltração pode ser reduzida drasticamente, sendo necessário viabilizar o escoamento por meio de tubulações e galerias, que aceleram o tempo de descarga até os cursos fluviais, ocasionando por vezes enchentes nos fundos de vales urbanizados.

A retirada da vegetação de vertentes com maior declividade, assim como a ocupação urbana dessas áreas, potencializa o desenvolvimento de processos erosivos laminares e lineares, e no segundo caso aumenta o risco de escorregamentos e deslizamentos, provocando o desabamento de vias e edificações.

Essas situações são comuns principalmente nas cidades situadas nos trópicos em países em desenvolvimento, onde há acelerado crescimento da população urbana (PNUD, 2015). Essa população vive, muitas vezes, em condições socioambientais urbanas carentes de infraestruturas adequadas ao uso e ocupação da terra e a dinâmica hidro-geomorfológica em climas quentes e úmidos.

Além do acelerado crescimento urbano, principalmente nas áreas periféricas, a expansão dessas cidades ocorre frequentemente sobre condições do relevo que apresentam alto grau de suscetibilidade do meio físico, devido às características genéticas do terreno e atuação de processos geomorfológicos. Em geral são áreas costeiras, pântanos, várzeas e encostas íngremes, e também áreas de deposição de resíduos ou de recarga de aquíferos (GUPTA e AHMAD, 1999).

A partir do fato da maior parte da população brasileira residir hoje nas cidades, torna-se necessário o entendimento de como o aumento da construção dos espaços urbanos tem provocado alterações nos sistemas naturais, principalmente no relevo, o suporte físico sobre o qual as diferentes formas de ocupação territorial ocorrem. Dessa forma, faz-se necessário compreender quais efeitos a urbanização tem provocado em função das diferentes características socioambientais existentes no cenário brasileiro.

Diante das questões mencionadas, a presente dissertação de mestrado delimitou como área de estudo o setor oeste da cidade de Rio Claro (SP), adotando o recorte espacial da Unidade de Planejamento Regional 5 - Corumbataí, expressa na Lei Municipal nº 3.806/2007 (Plano Diretor do município de Rio Claro).

A escolha dessa área se deu por sua característica geomorfológica, constituída por parte das vertentes do vale do Rio Corumbataí. Além disso, este setor urbano se caracteriza como o principal vetor de expansão urbana do município nas últimas três décadas devido à instalação de conjuntos habitacionais, loteamentos e condomínios horizontais e verticais. A expansão urbana tem desencadeando problemas urbanos-ambientais, oriundos da ausência de planejamento urbano e em função das características físicas do relevo.

O estudo de caso proposto para o setor oeste da cidade de Rio Claro (SP) tem como objetivo avaliar a fragilidade natural e ambiental da área de estudo a fim de identificar como o relevo suporta as transformações promovidas pelo uso urbano. Para avaliar a fragilidade do relevo e os efeitos provocados pelas alterações impostas pela urbanização, foram elaborados modelos cartográficos que auxiliam na interpretação do objetivo desta pesquisa. Assim, têm-se os seguintes objetivos específicos:

- Analisar a fragilidade do meio físico identificando áreas suscetíveis à dinamização dos processos morfogenéticos;
- Analisar a fragilidade ambiental identificando como os padrões de uso da terra, com ênfase nos padrões urbanos, influenciam na fragilidade dos ambientes antropizados;
- Apontar as derivações ambientais e transgressões legais resultantes do processo de urbanização do setor oeste da cidade de Rio Claro.

Para alcançar tais objetivos, parte-se da análise sistêmica, a partir da Teoria Geral dos Sistemas aplicada a Geografia, a qual possibilita a compreensão dos sistemas naturais e das ações do homem no meio físico, a fim de reconhecer quais são as funcionalidades existentes entre os elementos que se articulam em uma organização espacial. Esses elementos operam em conjuntos, que interagem entre si, estabelecendo relações de causa e efeito e o reordenamento dos sistemas (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Para identificar como as características geomorfológicas do setor oeste da cidade de Rio Claro suportam as alterações provocadas pelo uso urbano, foram elaborados materiais cartográficos, que correlacionados, indicam as áreas com maior e menor fragilidade ambiental.

Em seguida, avaliou-se como as características geomorfológicas da área de estudo se comportaram devido as alterações, e quais os efeitos promovidos pelo urbano. A carta de fragilidade ambiental subsidiou a análise, com indicações das áreas onde os efeitos da urbanização são mais pronunciados. Assim, foi possível indicar os setores de fragilidade e como as características geomorfológicas responderam ao processo de urbanização.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo destaca as principais teorias no âmbito da Geografia que contribuíram com a análise geomorfológica adotada para esta pesquisa, os referenciais teóricos da Teoria Geral dos Sistema, da antropogeomorfologia, e os procedimentos metodológicos.

2.1 A concepção teórica

O referencial teórico desta pesquisa está embasado na teoria geral dos sistemas, a qual surgiu no campo da termodinâmica, aplicada por Defay em 1929 e teve suas proposições ampliadas por Bertalanffy, a partir de 1932, na biologia teórica, auxiliando na formulação básica para sua aplicação universal (CHRISTOFOLETTI, 1979).

Na geografia, mais especificamente no campo da geomorfologia, Chorley (1962) destaca a contribuição de Strahler (1950), o qual introduz a teoria geral dos sistemas nos estudos geomorfológicos, mencionando as pesquisas de Bertalanffy. Hack (1960) também se utiliza dessa teoria para a criação da teoria do equilíbrio dinâmico (CHRISTOFOLETTI, 1979).

A obra “Physical geography: a systems approach” de Chorley e Kennedy (1971) é considerada um marco na geografia com relação à aplicação da teoria geral dos sistemas (RODRIGUES, 2010).

Esta teoria é aplicada para compreender o funcionamento e as leis que regem a natureza e as ações do homem no meio, a fim de reconhecer quais são as funcionalidades existentes entre os elementos que se articulam em uma organização espacial. Esses elementos operam em sistemas, ou seja, em conjuntos, nos quais os elementos interagem entre si, estabelecendo relações de causa e efeito e o reordenamento dos sistemas.

Um sistema pode ser compreendido como um conjunto de componentes conectados por fluxos de energia e matéria, funcionando como unidade, e oscilando em torno de uma situação média, denominada de equilíbrio dinâmico. De acordo com Casetti (2005) as alterações no fluxo de energia incidentem tende a provocar manifestações no comportamento da matéria, evidenciando alterações morfológicas.

Assim a intensidade das modificações naturais ou antrópicas impõem a quebra deste equilíbrio, dependendo da energia aplicada no sistema e de acordo com o grau de suscetibilidade. A manutenção do equilíbrio se dá quando seu limiar de resiliência não foi rompido, sendo possível que o sistema se restaure em busca do ponto médio de oscilação. Quando há quebra de equilíbrio o sistema busca um reordenamento entre os fluxos de matéria e energia (DREW, 2005).

Desde a pré-história, a humanidade desenvolveu técnicas para modificar o meio físico, transportando materiais de um lugar para outro, utilizando-os em suas construções. O crescimento populacional e o desenvolvimento de técnicas e da tecnologia proporcionaram as sociedades acelerar o processo de transformação das paisagens e de seus elementos naturais, elevando exponencialmente a ação humana sobre a superfície terrestre (HOOKE, 2000).

Essas transformações fizeram com que os seres humanos se apropriassem dos territórios, criando vínculos a esses, modelando a paisagem e alicerçando modos de viver. Dentre os aspectos naturais transformados pela ação humana, o relevo pode ser considerado o elemento mais evidente (PELOGGIA, 2005), pois este se constitui como o suporte físico sobre o qual as atividades humanas se realizam.

De acordo com Christofolletti (1999), os sistemas em geomorfologia podem ser classificados sob duas perspectivas: segundo o critério funcional, que diz respeito às funções exercidas no sistema e como estas se relacionam, ou não com outros sistemas; e segundo a complexidade estrutural, que articula a organização do sistema e dos subsistemas.

Com relação à complexidade estrutural, para esta pesquisa optou-se pela utilização dos sistemas controlados, caracterizados pela ação humana, associada aos sistemas processos-respostas. Um sistema processo resposta é entendido pela articulação de dois outros sistemas que o sustentam: o sistema morfológico, relacionado às formas e a geometria do relevo, e o sistema em sequência, relacionado aos processos, os quais estão associados ao sistema antrópico urbano.

Em comparação a outros fenômenos naturais e antrópicos, as intervenções provocadas pelo uso urbano sobre o relevo podem provocar intensas transformações na paisagem (NIR, 1983). Além disso, possui algumas características únicas, como concentração e densidade, a influência e disparidade dos fatores econômicos e de engenharia, os quais estão relacionados ao uso de técnicas e tecnologia na ocupação do relevo (CHENGTAI, 1996).

As cidades possuem formas diversas e quase sempre não planejadas, sendo que suas infraestruturas de edificações, arruamentos, pontes, sistemas de drenagem pluvial e fluvial artificiais, atendem uma lógica socioeconômica e por vezes desconsideram as características naturais do sítio urbano.

A implantação dessas infraestruturas acarreta efeitos na organização espacial, pois as partes integrantes do sistema antrópico-urbano causam modificações no sistema geomorfológico (escoamento superficial e topografia), no sistema hidrológico (impermeabilização e redução da infiltração) e hidrográfico (vazão fluvial, erosão e

sedimentação), alterando diretamente a morfodinâmica, a morfogênese e a morfologia (NIR,1983).

A partir das considerações expostas, pode-se considerar o homem como um agente geomorfológico (NIR, 1983; GOUDIE, 1993; HOOKE, 2000), capaz de interferir na esculturação do relevo, devido às modificações impostas pela ação antrópica aos fluxos de matéria e energia, as quais desencadeiam processos geomorfológicos sob influência antrópica. Esta influência ocorre de forma diferenciada no espaço ao longo do tempo histórico, e possui relação com a capacidade e a velocidade que as sociedades desenvolveram para modificar os elementos da natureza,

Para “denominar essa nova ênfase e essa maior complexidade na abordagem geomorfológica, vem sendo utilizada a denominação antropogeomorfologia, originalmente proposta por NIR (1982)” (RODRIGUES, 2005, p. 101).

2.2 Antropogeomorfologia: o homem como agente geomorfológico

A compreensão do homem como um agente geomorfológico tem evoluído ao longo do tempo. Vários campos da ciência têm contribuído com este avanço, como a geografia, a geologia e as ciências da terra (PELOGGIA, 2005).

A compreensão da “ação antrópica como ação geomorfológica possibilita ter uma concepção de geomorfologia que permite abordar as recentes e profundas mudanças impostas pelas sociedades humanas na superfície terrestre” (RODRIGUES, 2005, p.102).

A respeito da evolução e sistematização da compreensão da ação antrópica sobre a superfície terrestre, pode-se dizer que os pressupostos já haviam sido lançados segundo Rodrigues (2005) nas obras de Bertrand (1971), Chorley (1971), Tricart (1977) e Sotchava (1977), porém não consideravam o homem como um agente geomorfológico.

O primeiro estudo a mencionar o homem como um agente capaz de alterar a dinâmica geomorfológica do relevo foi a obra de Charles Lyell de 1833 (apud Peloggia 2005), a qual se refere as atividades humanas de drenagem de lagos e pântanos e às consequências dos desmatamentos extensivos em regiões montanhosas, como os Alpes, na geração de cargas sedimentares que vão modificar as planícies e linhas costeiras. Porém Lyell (apud Peloggia 2005) considerou que a ação humana era insignificante perante às forças naturais, pois segundo o autor o homem seria, um agente nivelador do relevo.

Mais recentemente a obra de Nir (1983), sistematiza uma orientação metodológica para compreender a interferência do homem nos processos geomorfológicos, por diferentes tipos de atividades: agricultura, pecuária, mineração e urbanização, considerando o contexto

socioeconômico dos lugares. Para Nir (1983), os estudos em antropogeomorfologia devem considerar a intervenção antrópica (condições anteriores e posteriores à ação humana), a investigação por simulação dos processos antropogeomorfológicos, a investigação dos ambientes completamente antropizados (por estimativas quantitativas de descarga de fluxo e volume de sedimentos nos canais fluviais) e a investigação do comportamento socioeconômico (compreensão da variação antrópica no tempo e no espaço e qual sua influência nos processos geomorfológicos).

Os trabalhos de Goudie (1993, 2004) destacam os impactos da ação humana como ação geomorfológica e contribuem com a sistematização da antropogeomorfologia na atualidade. Entre os impactos resultantes da ação antrópica na criação de formas de relevo, Goudie (1993) destaca os processos antropogênicos diretos e indiretos.

Os processos antropogênicos diretos estão relacionados:

- A construção: com revolvimento do solo, moldagem, aragem e terraceamento;
- A escavação: com cortes de encostas, mineração, explosão de material coeso ou não coeso e abertura de crateras;
- A interferência hidrológica: com inundações, represamentos, construção de canais, drenagem artificial, alterações dos canais e proteção costeira.

Os processos antropogênicos indiretos estão relacionados a:

- Aceleração da erosão e sedimentação: devido à retirada de cobertura vegetal, atividade agrícola, obras de engenharia (especialmente com a construção de estradas e urbanização) e modificações acidentais no regime hidrológico.
- Subsidência: resultante de atividades de mineração, bombeamento de água subterrânea e derretimento de áreas de permafrost.
- Colapso de encosta: deslizamento, fluxo e rastejamento acelerado causado pela carga de material;
- Geração de tremores: provocados pela carga de reservatórios e lubrificação ao longo de planos de blocos.

Outro autor da atualidade que discute as interferências do sistema antrópico sobre o sistema geomorfológico é Haff (2001). Segundo este, existe a possibilidade de previsão geomorfológica para alterações ocasionadas na paisagem pelos fatores humanos por meio da seguinte relação: $I = P.A.T$, sendo I o impacto ambiental ou geomorfológico, P a população, A a riqueza per capita, e T o fator tecnológico empregado.

Compreende-se, portanto, que a intensidade das modificações impostas pelo sistema antrópico depende do esforço aplicado ao sistema natural pela ação humana, o qual varia de

acordo com as técnicas empregadas, com o contingente populacional e com a condição econômica (HAFF, 2001).

No Brasil, os trabalhos a respeito desse tema vêm crescendo nas últimas décadas. Por exemplo, Christofolletti (1967) destacava a necessidade de se considerar nas pesquisas geomorfológicas, as características que os processos assumem frente à ação antrópica e de suas consequências frequentemente desastrosas. No entanto, o autor não explicita maiores detalhes para investigação dos processos geomorfológicos desencadeados pela ação antrópica.

A partir da década de 1990, Rodrigues (2005, 2010) inicia uma série de estudos a respeito da caracterização da ação antropogeomorfológica. Para a autora, a compreensão da ação antrópica e as modificações nas formas e nos processos geomorfológicos podem ser analisados pelos seguintes procedimentos metodológicos:

- Observação das ações humanas como ações geomorfológicas na superfície terrestre;
- Investigar nas ações humanas padrões significativos para a morfodinâmica;
- Investigar a dinâmica e a história cumulativa das intervenções humanas, iniciando com o estágio de pré-perturbação;
- Empregar e investigar as possibilidades da cartografia geomorfológica de detalhe;
- Usar a noção de limiar geomorfológico e a análise de magnitude e frequência;
- Dar ênfase à análise integrada em sistemas geomorfológicos;
- Considerar as particularidades dos contextos morfoclimáticos e morfoestruturais.

Outra contribuição significativa na antropogeomorfologia brasileira é a de Pellogia (2005), que destaca a ação humana sobre o meio como ação geológica, porém possui consequências referentes a modificação do relevo e as alterações da paisagem. Tais alterações seriam provocadas por retificações de canais fluviais, terraplanagem e surgimento de áreas erodidas, além de modificações dos processos geomorfológicos e a criação de depósitos tecnogênicos.

Pode-se considerar que a ação humana chegou a um estágio no qual os efeitos geológicos e geomorfológicos se acumulam em quantidade e se diversificam em qualidade, havendo a possibilidade de apontar um novo período geológico para caracterizar a época, o tecnógeno; período em que a atividade humana passa a ser qualitativamente diferenciada da atividade biológica, provocando o desencadeamento de processos, cujas intensidades ultrapassam os processos naturais (PELOGGIA, 2005).

O relevo como suporte físico para a urbanização é um elemento transformado da paisagem, devido aos vínculos estabelecidos pela sociedade no território, para atender as necessidades de moradia, alimentação, transporte, lazer, trabalho, etc.

Desse modo, o ambiente urbano pode ser interpretado como um sistema, composto por elementos que se relacionam uns com os outros, formando uma entidade, sendo que o substrato terrestre foi modificado pela ação antrópica, produzindo formas antropogênicas no relevo.

Os estudos antropogeomorfológicos abarcam a investigação ambiental urbana devido à importância da cidade como ambiente de concentração populacional humana, e pelas modificações geomorfológicas (RODRIGUES, 2010; PELOGGIA, 2005), que por vezes ultrapassam a própria cidade, como contaminação em áreas periurbanas, perda de solo, aumento de sedimentos e sedimentação nos cursos fluviais, entre outros.

2.3 Geomorfologia urbana: o ambiente geomorfológico urbano

Pode-se compreender a geomorfologia urbana, segundo Goudie e Viles (1997), como a relação entre os fatores do meio físico e os impactos provocados pela ocupação urbana no relevo.

A obra de Coates (1976) é pioneira no contexto internacional a respeito da geomorfologia urbana, e aborda o papel do homem como agente modificador da paisagem e as consequências dessas modificações.

Os trabalhos direcionados ao meio urbano têm como orientação comum apresentar os estágios de urbanização, os quais estão associados aos processos morfodinâmicos (RODRIGUES, 2005), e correspondem as etapas de modificações impostas pelo processo de urbanização.

Para Nir (1983), o homem alcançou a capacidade técnica de intervir na topografia e dificilmente existem hoje cidades que não tiveram sua topografia original modificada. Essas modificações podem ser compreendidas em três estágios:

- Período pré-urbano: as alterações relacionam-se à retirada da cobertura vegetal original e à construção das primeiras habitações. O principal impacto relaciona-se à aceleração dos processos erosivos sobre as vertentes e, conseqüentemente, ao excesso de sedimentação nas drenagens.

- Período de construção: provoca um grande distúrbio relacionado às alterações topográficas derivadas de aterros, terraplanagens, assim como da impermeabilização generalizada do solo; existe maior importação de matéria para a construção das edificações.

Os impactos estão relacionados com a diminuição da infiltração, aumento dos processos erosivos, devido ao revolvimento dos solos, aumento do assoreamento dos canais fluviais e do sistema de drenagem artificial (bueiros, bocas de lobo, galerias, etc.), que necessariamente acompanham a construção da área edificada.

- Período urbano consolidado: a área urbana construída e adensada, com poucas áreas sem impermeabilização, provoca outra topografia e conseqüentemente um novo sistema de circulação da água (relevo antropogênico). O escoamento da água caracteriza-se por não obedecer mais, necessariamente, a topografia original e sim ser induzida por sistemas artificiais.

Esta nova circulação da água sobre a superfície artificial modifica a ação dos processos erosivos, que tendem a diminuir nas áreas impermeabilizadas e são mais comuns nas áreas peri-urbanas. Nessas áreas, a energia de escoamento superficial produzida pela impermeabilização é descarregada, provocando a ocorrência e aceleração dos processos erosivos lineares.

No Brasil, as obras referentes a geomorfologia urbana ganharam ênfase nas últimas décadas; a obra de Ab'Saber (1957, 2007) foi o primeiro estudo de relevância que associa as condições do relevo ao fenômeno da urbanização, abordando a ideia de sítio urbano como o assaolho topográfico sobre o qual se assentou a metrópole paulista, e as implicações da urbanização sobre as formas de relevo.

O artigo de Penteado-Orellana (1981) trata das características geomorfológicas e geológicas sobre as quais o sítio urbano da cidade de Rio Claro está assentado, destacando a influência do relevo no desenvolvimento urbano e os impactos ambientais resultantes da ocupação urbana sobre as formas do relevo.

Mais recentemente, Rodrigues (2005, 2010) desenvolve pesquisas na Grande São Paulo e na Região Metropolitana de São Paulo adaptando o referencial de Nir (1983) para áreas urbanas, a fim de melhor compreender as alterações provocadas pela urbanização sobre o relevo e nos processos geomorfológicos.

O livro organizado por Guerra (2011) reúne autores que discutem a questão da urbanização e os impactos geomorfológicos provocados pela transformação das paisagens, indicando metodologias de análise para os estudos geomorfológicos em áreas urbanas e subsídios a gestão e planejamento do meio urbano-ambiental.

O ambiente geomorfológico urbano, de acordo com Chengtai (1996), é constituído pelas formas físicas, formas artificiais e formas físicas e artificiais:

- As primeiras formas são modificadas principalmente pelos agentes exógenos e endógenos, com pouco ou nenhuma influência humana.

- As segundas, pelo homem, compreendido como agente geomorfológico que transforma e produz as formas do relevo, pela alteração superficial e subterrânea do relevo e pela construção das edificações.

- As terceiras dizem respeito às transformações realizadas pela ação humana, as quais modificam as características e fluxos de matéria e energia, porém possuem relação direta com os padrões naturais, como os gramados artificiais, as áreas verdes urbanas e os canais alterados.

O crescimento populacional rápido, espontâneo e desordenado, muito comum nas cidades brasileiras, principalmente nos centros urbanos de grande e médio porte, gera a ocupação de áreas periféricas, por vezes impróprias à urbanização, desconsiderando os limites impostos pelas características do relevo.

Desse modo, considera-se necessário compreender a fragilidade dos ambientes naturais e antropizados, a fim de subsidiar o planejamento territorial ambiental, com vista à gestão ou gerenciamento ambiental.

2.4 A fragilidade dos ambientes naturais e antropizados aplicada ao planejamento ambiental

A abordagem geográfica integrada proposta por Tricart (1977), denominada de ecodinâmica, visa analisar a natureza, com ênfase ao ecossistema, e as interferências ambientais provocadas pela sociedade.

Segundo Tricart (1977), a gestão dos recursos ecológicos tem por objetivo avaliar o impacto da inserção da tecnologia humana no ecossistema, determinando a taxa aceitável de extração de recursos, sem causar degradação do ecossistema, ou estabelecer quais medidas devem ser executadas para permitir uma extração mais elevada sem degradação. Essa concepção ecológica permite analisar o ambiente a partir da teoria geral dos sistemas, e parte do pressuposto que na natureza as trocas de energia e matéria se processam através de relações em equilíbrio dinâmico.

Para avaliar as relações de equilíbrio existentes no ambiente, Tricart (1977) integra o conceito de unidade ecodinâmica ao de ecossistemas, com foco nas relações mútuas existentes entre os componentes da dinâmica e os fluxos de matéria e energia.

Essas unidades são caracterizadas pela dinâmica do meio ambiente, que possui relações mais ou menos imperativas sobre os seres vivos de um ecossistema (biocenoses), sendo a morfodinâmica (relacionada ao clima, à topografia e ao material rochoso) o elemento determinante na articulação entre os elementos constituintes do ambiente (TRICART, 1977).

Com o intuito de classificar os tipos de ambientes, de acordo com seu grau de estabilidade e instabilidade morfodinâmica, baseado na conservação/restauração dinâmica dos recursos ecológicos, Tricart (1977) propôs uma taxonomia desses ambientes, descritos sucintamente a seguir:

- Os meios morfodinamicamente estáveis encontram-se em regiões que apresentam: cobertura vegetal densa, capaz de frear o desencadeamento dos processos mecânicos de morfogênese; dissecação moderada, com fraca incisão dos cursos d'água e vertentes de lenta evolução; ausência de atividade vulcânica capaz de desencadear processos morfodinâmicos.

- Os meios intergrades: asseguram a passagem gradual entre os meios estáveis e os meios instáveis, sendo caracterizados pela interferência permanente de morfogênese e pedogênese. Esses meios são delicados e suscetíveis a fenômenos de amplificação, transformando-se em meios instáveis cuja retirada dos recursos naturais fica comprometida. Com o crescimento da instabilidade geodinâmica, pode ser necessário recorrer à implantação de estruturas.

- Os meios fortemente instáveis: a morfogênese é o elemento predominante da dinâmica natural, e fator determinante do sistema natural; no caso de degradação antrópica, a brusca ativação morfodinâmica acaba por destruir rapidamente os solos preexistentes. Fenômenos menos consideráveis, porém, de maior frequência como ravinamentos são exemplos. O escoamento superficial difuso, ajudado por alguns processos anexos, elimina os detritos mobilizáveis desde que são formados.

O conceito de ambientes ecodinâmicos ou morfodinâmicos inspirou Ross (1990, 1994) a criar uma metodologia de análise da fragilidade dos ambientes naturais aplicada ao planejamento territorial ambiental, com vista à gestão ou gerenciamento ambiental.

Para o autor, os estudos integrados de um território devem compreender a dinâmica de funcionamento do ambiente natural com ou sem as interferências humanas. Para tal, Ross (1990, 1994) propôs uma adaptação dos conceitos originais de Tricart (1977) e inseriu novos critérios de definição para as unidades ecodinâmicas, utilizando os conceitos de ambientes estáveis, que se encontram em equilíbrio dinâmico, e de ambientes instáveis, quando em desequilíbrio.

As unidades instáveis foram definidas como sendo aquelas onde as intervenções antrópicas modificaram intensamente os ambientes, e as unidades estáveis como aquelas que estão em equilíbrio dinâmico, sendo poupadas da ação antrópica.

Segundo Ross (1994), para que esses conceitos pudessem ser aplicados como subsídios ao planejamento ambiental, foi necessário ampliá-los de forma hierárquica, considerando as unidades instáveis como unidades de instabilidade emergente, variando em diferentes graus, desde instabilidade muito fraca a muito forte. O mesmo foi feito para as unidades estáveis, que apesar de estarem em equilíbrio dinâmico, apresentam instabilidade potencial previsível, perante suas características naturais e a possível intervenção antrópica.

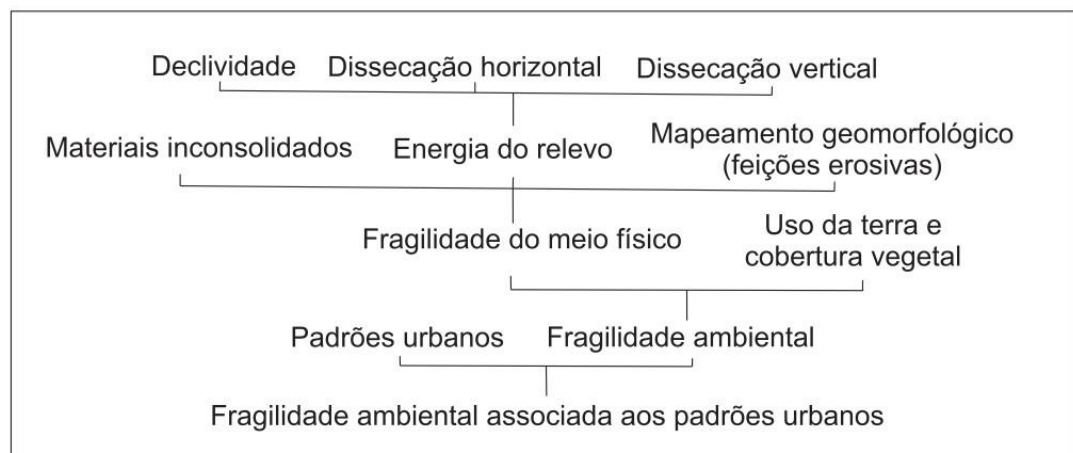
A análise da fragilidade dos ambientes de acordo com Ross (1994), passa pelo levantamento de dados geomorfológicos (declividade e índice de dissecação do relevo), pedológicos, litológicos e climáticos, além do uso da terra e da cobertura vegetal, os quais subsidiam os produtos cartográficos intermediários. Na fase posterior, essas informações são sintetizadas na carta de fragilidade natural e na carta de fragilidade ambiental.

Compreende-se a carta de fragilidade natural como sendo um instrumento de síntese dos elementos naturais de uma unidade territorial, os quais possuem diferentes graus de fragilidade de acordo com sua característica genética, ou seja, depende do tipo de material litológico e do material inconsolidado, associados à potencialidade de processos geomorfológicos, estabelecida pelos parâmetros morfométricos de declividade e dissecação do relevo.

A carta de fragilidade ambiental engloba os padrões de uso e ocupação da terra, os quais possuem maior ou menor influência sobre os ambientes naturais, sendo possível estabelecer níveis hierárquicos de proteção ao solo.

Os trabalhos realizados por Devicari e Werlang (2007), Massa e Ross (2012), Mendes (2015) e Silveira (2009, 2013) demonstraram a aplicabilidade dessa metodologia elaborada por Ross (1990, 1994) para o planejamento ambiental, seja em ambientes rurais ou urbanos e apresentam resultados relevantes para análise da fragilidade natural e ambiental de áreas antropizadas.

Por se tratar de uma pesquisa em uma área de expansão urbana, foram realizadas algumas adaptações dos pressupostos metodológicos de Ross (1990, 1994) (Quadro 1).



Quadro 1 – Fluxograma com as etapas de adaptação metodológica. Elaborado pelo autor.

Para a elaboração da carta de fragilidade natural, foram inseridas as variáveis de dissecação horizontal e vertical, além da declividade proposta por Ross (1990, 1994). O autor utiliza a variável de dissecação geral, neste trabalho utiliza-se os índices de dissecação

horizontal e vertical de Spiridonov (1981) para a elaboração da carta de energia do relevo, a qual permite avaliar a suscetibilidade a ocorrência de processos geomorfológicos.

Além disso, foram introduzidas como variáveis as feições erosivas, as quais permitem avaliar a ação das águas correntes, sendo esta adaptação proposta por Mendes (2015). Ainda, a proposta original de Ross (1990, 1994) por se tratar de áreas rurais utiliza a classificação de solos para aptidão agrícola, por se tratar de uma área urbana estudada nesta pesquisa, optou-se por introduzir da proposta de Silveira (2009, 2013) os materiais inconsolidados, utilizados em mapeamentos geotécnicos e que permitem uma visão sobre a estabilidade, resistência e plasticidade para implantação das infraestruturas urbanas.

Outra adaptação para carta de fragilidade ambiental foi a inserção dos usos da terra relacionados ao urbano, diferenciados por sua densidade e permeabilidade. Desse modo, buscou-se uma análise mais detalhada da superfície urbana e como esta altera os processos geomorfológicos.

Como instrumento complementar a análise do ambiente geomorfológico urbano, faz-se a proposição da elaboração da carta de fragilidade associada aos padrões urbanos para esta pesquisa. Esta carta tem a finalidade de ampliar a análise da fragilidade do ambiente urbano estudado e traçar uma metodologia de análise que englobe os padrões urbanísticos.

A seguir são apresentadas as técnicas cartográficas executadas na elaboração desta pesquisa, com os procedimentos e adaptações realizadas.

3. TÉCNICAS CARTOGRÁFICAS

Os dados geoespaciais utilizados nesta pesquisa foram adquiridos através de levantamento cartográfico e aerofotogramétrico junto a instituições de ensino e pesquisa, órgãos públicos oficiais e complementados por trabalhos de gabinete e de campo.

As cartas temáticas foram elaboradas em meio digital, com aplicação de técnicas automáticas e semi-manuais, utilizando o sistema de informações geográficas *ArcGIS 9.2*, além dos softwares *StereoPhoto Maker 3D*, para gerar a estereoscopia das fotografias aéreas e o *Corel Draw* para edição final das cartas.

Os documentos cartográficos elaborados para esta pesquisa foram confeccionados na escala de 1:10.000 e impressos na escala de 1:15.000, a qual permite a visualização espacial dos fenômenos sem comprometimento dos dados a serem discutidos. A seguir são apresentados os procedimentos técnicos adotados para elaboração desses documentos.

3.1 Base cartográfica

A base cartográfica foi elaborada a partir da Planta Cadastral Municipal, na escala original de 1:10.000, ano de 2007, cedida pelo Centro de Análise e Planejamento Ambiental (IGCE/UNESP, campus Rio Claro).

De posse dessa planta, em formato *.DWG - CAD*, foram extraídos os dados vetoriais de curvas de nível (*polyline*), pontos cotados (*point*), canais fluviais (*polyline*), lagoas (*polygon*), sistema rodoviário (*polyline*), sistema ferroviário (*polyline*) e as quadras (*polygon*).

Esses elementos vetoriais foram exportados para o *ArcGIS* em formato de *shapefiles*, com os respectivos nomes e atributos, fornecendo os dados necessários para confecção das demais cartas temáticas.

A base cartográfica foi utilizada como base digital para fins de georreferenciamento, permitindo a padronização dos documentos cartográficos que foram elaborados. Devido à dinamicidade do ambiente urbano, o traçado das quadras foi adaptado de acordo com as fotografias aéreas, considerando o cenário de mapeamento. Para o cenário de 2010 foram inseridas algumas quadras visíveis nas fotografias aéreas, porém ausentes na Planta Cadastral.

O *datum* da base cartográfica, Córrego Alegre, foi transformado para SIRGAS 2000, para atender aos padrões cartográficos vigentes (BRASIL, 2005) com relação ao sistema de coordenadas UTM.

3.2 Carta de declividade

A carta declividade tem por objetivo quantificar o declive do terreno e pode ser considerada documento básico para o planejamento, pois permite avaliar a dinâmica do escoamento superficial por meio das classes de declividade, realçando as áreas com declividades homogêneas (DE BIASI, 1970).

De acordo com De Biasi (1992), os dados de declividade, em porcentagem, podem ser obtidos através da seguinte relação:

$$D = DV/DH \times 100 \quad (1)$$

D= declividade (em porcentagem);

DV= equidistância das curvas de nível (desnível vertical);

DH= distância entre as curvas de nível (distância horizontal).

Os parâmetros utilizados para elaboração das classes de declividade (Quadro 2) foram estabelecidos a partir dos critérios legislativos empregados como instrumentos de planejamento, das leis federais 6.766/1979 (Lei Lehmann) e 12.651/2012 (Código Florestal) e da lei municipal 3.806/2007, bem como as leis complementares municipal 81/2013 e 82/2013.

Classes de declividade	Legenda	Parâmetros
< 2 %		Urbanização restrita – áreas sujeitas à inundação quando em fundos de vale e planície de inundação.
2 ┆ 5%		Urbanização com baixa restrição quanto a áreas inundáveis.
5 ┆ 15%		Urbanização permitida; 15% constitui-se no limite para construção de áreas de uso institucional (Lei 3.806/2007).
15 ┆ 30%		Urbanização permitida com ressalvas – o traçado urbano deve seguir as curvas de nível e os arruamentos devem ser descontínuos. (Lei 3806/2007); 30% - limite máximo para urbanização sem restrições (Lei 6.766/1979).
30 ┆ 45%		Limite máximo de corte raso, a partir do qual a exploração só será permitida se sustentada por cobertura de florestas (Lei 12.651/2012).
≥ 45 %		Uso restrito - (Lei 12.651/2012).

Quadro 2 - Parâmetros para elaboração da carta de declividade. Fonte: Lei 12.651/2012 (Código Florestal); Lei 6.766/1979 (Lei Lehmann); Plano Diretor Municipal (Lei 3.806/2007). Organizado e elaborado pelo autor.

Além disso, optou-se por fragmentar os menores intervalos de declividade, acrescentando a classe $< 2\%$, pois essa classe ocorre em setores que apresentam um escoamento superficial incipiente, com concentração de águas pluviais, e por vezes, próximos a planície de inundação do rio Corumbataí, sendo um atributo relevante no planejamento urbano e característica marcante da área de estudo.

A metodologia empregada para confecção dessa carta, foi desenvolvida a partir dos princípios expostos por De Biasi (1970, 1992), em ambiente digital, utilizando o programa *ArcGIS*, por meio de técnica automática com correção manual.

Os procedimentos técnicos para elaboração dessa carta iniciaram-se com o recorte dos elementos vetoriais (curvas de nível, pontos cotados e hidrografia). Para minimizar os “erros de borda do *software*”, criou-se um *buffer* com limite de 10 metros além da área de estudo, utilizando-se o comando: *ArcToolbox window, Analysis Tools, Proximity, Buffer*. Em *Input Features*, inseriu-se o *shape* limite_área. Em *Output Feature Class*, selecionou-se a pasta na qual o arquivo seria salvo e o nome do arquivo como limite_buffer. Em *Distance*, escolheu-se *Linear Units* e digitou-se o valor de 10 metros.

Após este procedimento, recortou-se a área de estudo, utilizando-se o comando *ArcToolbox window, Analysis Tools, Extract, Clip*. Em *Input Features* foram adicionados cada um dos *shapes* utilizados para a elaboração da carta (curvas de nível, pontos cotados e hidrografia). Em *Output_Features*, adicionou-se o *layer* “limite_buffer”. Em *Output Feature Class* selecionou-se uma *Feature Dataset* dentro do *File Geodatabase*.

Para a criação do modelo numérico do terreno (MNT), a partir dos dados altimétricos da base cartográfica (curvas de nível e pontos cotados), foram utilizados os comandos *3D Analyst, Create TIN From Features*. Em *Create TIN From Features*, foram selecionados os *shapes* “curvas_mestras_clip”, “curvas_intermediarias_clip” e “pontos_cotados”. Em *Settings for selected layer* foram selecionados os comandos *Height source, Elevation* e *Triangulate as, hard line*.

As classes de altitude, geradas automaticamente pelo programa, foram reclassificadas, com intervalos de 5 metros. Esse procedimento é feito através da opção *Properties, Symbolology, Elevation*. Em seguida, devem ser realizados os seguintes procedimentos: em *Classification*, escolher o intervalo de classes. Em *Classify*, escolher *Manual* em *Method*.

Para a criação da carta de declividade, utilizou-se o MNT gerado, utilizando-se os seguintes comandos: *Layer Properties, Symbolology, add*. Em *Add Renderer, Face slope with graduated color ramp, Add, Dismiss*. A declividade foi gerada em graus (*degree*) e alterada para porcentagem em *Layer Properties, Label, Format Labels, Numeric Options, Percentage*.

Em *classification* optou-se pelas classes de declividade apresentadas na tabela 1, utilizando o comando *Classify, Manual*.

Em seguida, o MNT foi transformado em *TIN Triangle*, utilizando-se a ferramenta *Conversion, From TIN, TIN Triangle*. Esse procedimento foi necessário para que se pudesse trabalhar com cada um dos polígonos gerados automaticamente e efetuar a correção manual da declividade, pois o programa, em alguns setores como topos, fundos de vale e áreas que apresentam muitas irregularidades nas curvas de nível (Figura 1), provocando distorções do dado de declividade.

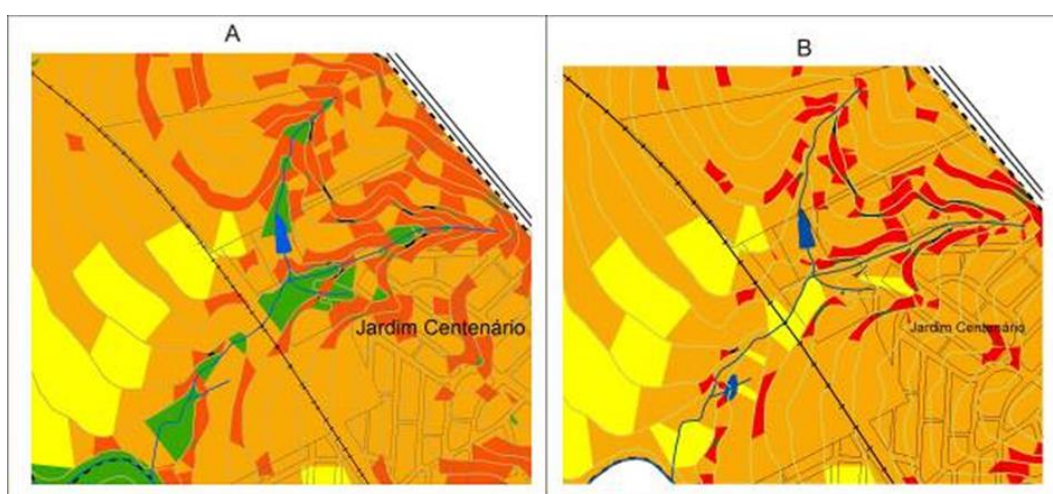


Figura 1 - Amostra da carta de declividade, (A) sem correção manual; (B) com correção manual. Elaborado pelo autor.

Para a correção da declividade, foi utilizada a proposta de Sanchez (1993), considerando a equidistância das curvas de nível para as áreas de vertentes, e metade da equidistância das curvas de nível para as áreas de fundo de vale.

Este procedimento visa aproximar o modelo de declividade da realidade, editando as triangulações com erros, a partir da seleção do *Triangle TIN* com o botão direito, *Edit*, alterando o campo de atributo *Slope_Pct*, pelo valor da declividade medido manualmente na carta.

3.3 Cartas de dissecação do relevo

Para a análise dos parâmetros morfométricos de dissecação do relevo foram confeccionadas as cartas de dissecação horizontal e dissecação vertical, a partir das orientações de Spiridonov (1981). Os procedimentos técnicos para elaboração desses produtos cartográficos foram baseados em Ferreira et. al. (2014; 2015), o qual desenvolveu uma técnica digital automática no programa *ArcGIS* para esses tipos de mapeamentos.

A primeira etapa para elaboração dessas cartas foi a inserção dos elementos da base cartográfica (curvas de nível, pontos cotados, hidrografia e limite da área de estudo) em um *File Geodatabase*, por meio do seguinte procedimento: *Arc Catalog*, botão direito sobre a pasta de trabalho definida pelo usuário, *New File Geodatabase*. Depois com o botão direito sobre o *File Geodatabase* criado, utilizou-se a opção *import*, para realizar a importação dos elementos da base cartográfica.

Em seguida foram delimitadas as bacias hidrográficas de cada curso fluvial presente na área de estudo, cujos terrenos por vezes extrapolaram o limite da área. Desse modo, foi preciso extrapolar a delimitação original e depois recortar os dados de dissecação horizontal e vertical considerando a área de estudo. As bacias foram salvas no *File Geodatabase* criado anteriormente.

A partir dos elementos da base cartográfica (curvas de nível e pontos cotados), foi criado o modelo numérico do terreno (MNT), já mencionado anteriormente. Esse MNT foi convertido para Raster, por meio do seguinte procedimento: *3D Analyst Tools, Conversion, TIN to Raster*; e ajustado a base cartográfica, na escala de 1:10.000 com equidistância das curvas de nível de 5 metros.

Na sequência, empregou-se a ferramenta desenvolvida por Ferreira et.al (2014), capaz de gerar polígonos que representem a dissecação horizontal a partir de retas que delimitam polígonos, conectando um ponto do canal de drenagem a um ponto do limite da bacia, com um ângulo de aproximadamente 90 graus em relação ao canal de drenagem. Tais retas apresentam medidas definidas de acordo com a proposta de Spiridonov (1981).

Para o processamento da dissecação horizontal deve-se acessar a ferramenta através do *Arc Catalog*, *Dissecação Horizontal.tbx*, *Dissecação Horizontal*; em seguida definir a pasta de trabalho (esta pasta deve estar vazia), e inserir os arquivos do *File Geodatabase* criados anteriormente, de bacias, dos canais de drenagem, os parâmetros de segmentação e agrupamento, o MNT (em formato *raster*), além de definir o *File Geodatabase* de saída, o nome do arquivo de saída e as classes de dissecação horizontal.

É oportuno destacar que em trechos do rio Corumbataí, com grande sinuosidade, foi preciso corrigir manualmente a dissecação horizontal, em função dos erros gerados pela ferramenta, pois não foi possível estabelecer um parâmetro de segmentação aceitável para o processamento desse trecho.

Após o processamento, o arquivo de saída foi adicionado no *Table of Contents*, com o botão direito sobre esse, selecionou-se *Properties, Symbolology, Categories, Unique Values*, em

Value Field substitui-se o campo por *Classe_Dis*. Esse procedimento adiciona as classes de dissecação horizontal ao *layer*.

As classes de dissecação horizontal foram elaboradas a partir das orientações de Spiridonov (1981), considerando a menor classe com 10 metros, por ser o menor segmento representado nessa escala de trabalho (1:10.000). As classes seguintes foram estabelecidas pelo dobro da classe anterior, até a classe final com valor superior a 640m, que representa a dissecação mínima da área, sendo as cores na legenda para as classes de dissecação horizontal baseadas na rosa cromática, conforme o quadro 3.

Classes de dissecação horizontal (m)	Legenda
< 10	
10- 20	
20- 40	
40- 80	
80- 160	
160- 320	
320- 640	
≥ 640	

Quadro 3 - Classes de dissecação horizontal. Elaborado pelo autor.

Para a elaboração da carta de dissecação vertical, utilizou-se a técnica automática desenvolvida por Ferreira et. al. (2015), baseada na proposta de Spiridonov (1981), tendo como procedimentos a delimitação das bacias e, em seguida, a identificação dos pontos nos quais ocorrem as interseções entre o talvegue e cada curva de nível. Estes pontos são unidos por uma reta às linhas de cumeada, de maneira a respeitar a linha de menor distância entre o talvegue e a linha de cumeada, em uma altitude superior a curva de nível cortada pela drenagem.

Para o processamento da dissecação vertical realizaram-se os seguintes procedimentos: *Arc Catalog*, ferramenta de dissecação vertical, *Dissecação Vertical.tbx*, *Dissecação Vertical*, em seguida adicionaram-se os dados da pasta de trabalho e os arquivos do *File Geodatabase* importados da base cartográfica, de drenagem, bacias, curvas de nível e o MNT (*Raster*), e informou-se a equidistância das curvas de nível, no campo de elevação das curvas de nível (Z), a escala de trabalho, o *File Geodatabase* de saída e o nome do arquivo de saída.

Em seguida foi adicionado o *layer* criado ao *Table of Contents*, e realizaram-se as alterações das classes de dissecação vertical da seguinte forma: com o botão direito sobre o *layer*, selecionou-se *Properties*, *Symbolology*, *Categories*, *Unique values*, em *Value Field*

substitui-se o campo por *DissectionV*. Nota-se que as classes estão distribuídas de acordo com a equidistância das curvas de nível, informada anteriormente.

As classes de dissecação vertical utilizadas foram definidas a partir da proposta de Spiridonov (1981), em agrupamentos de 10 em 10m, por ser a menor altitude relativa representativa nessa escala de trabalho, até se atingir a classe superior que generalizasse a dissecação vertical máxima da área, maior que 70m. As cores utilizadas na legenda seguem o padrão da rosa cromática, conforme a quadro 4.

Classes de dissecação vertical (m)	Legenda
< 10	
10- 20	
20- 30	
30- 40	
40- 50	
50- 60	
60- 70	
≥ 70	

Quadro 4 - Classes de dissecação vertical. Elaborado pelo autor.

Para mais informações a respeito dos procedimentos técnicos, consultar os roteiros de dissecação horizontal e vertical elaborados por Zanatta (2015a, 2015b).

3.4 Carta de energia do relevo

A Carta de energia do relevo constitui-se em uma carta de integração dos parâmetros morfométricos, através da associação das informações das cartas Declividade (DE BIASI, 1970, 1992), Dissecação Horizontal (SPIRIDONOV, 1981) e Dissecação Vertical (SPIRIDONOV, 1981).

Esta carta possibilita a classificação qualitativa da potencialidade da geometria do relevo para a ocorrência de processos geomorfológicos e sua elaboração tem como referencial as técnicas propostas por Mendes (1993), sendo possível identificar as classes de potencial de energia do relevo que variam de muito forte a muito fraco. De acordo com Cunha (2001), as classes de energia do relevo devem ser formuladas com base nas características da área de estudo e no interesse do usuário (Quadro 5).

Classes de energia do relevo	Declividade (%)	Operador lógico	Dissecação Horizontal (m)	Operador lógico	Dissecação Vertical (m)
Muito Forte	> 45	OU	0 - 20		
Forte	30 - 45	OU	20 - 40		
	15 - 30			E	> 60
Medianamente forte	15 - 30	OU	40 - 80	OU	40 - 60
Média	5 - 15	OU	80 - 160	OU	30 - 40
Fraca	2 - 5	OU	160 - 320	OU	20 - 30
Muito fraca	0 - 2	OU	> 320	OU	0 - 20

Quadro 5 - Parâmetros para elaboração da carta de energia do relevo. Elaborado pelo autor.

Desse modo, a classe de energia muito fraca abarca os terrenos com declividade < 2%, onde o escoamento superficial é incipiente com concentração de águas pluviais, e por vezes, próximos a planície de inundação das drenagens, ou aqueles terrenos que são minimamente afetados pela ação erosiva exercida pelas drenagens, com dissecação horizontal $\geq 320\text{m}$, ou ainda aqueles que possuem pequeno desnível altimétrico em relação a drenagem, com dissecação vertical < 20m, como ocorre na maior parte dos fundos de vale.

A classe de energia fraca contempla os terrenos de declive suave entre 2 - 5%, com baixa restrição a urbanização quanto a áreas inundáveis, ou que possuam dissecação horizontal entre 160 - 320m, onde a ação erosiva das drenagens começa a exercer pequena influência sobre as formas de relevo, ou terrenos com dissecação vertical entre 20 - 30m, onde a baixa vertente começa a ser afetada pelos processos de erosão devido ao desnível altimétrico já ser representativo.

A classe de energia média define os terrenos com declividade entre 5 - 15%, limite máximo para urbanização de áreas institucionais, ou aqueles terrenos com dissecação horizontal entre 80 - 160m, onde a ação fluvial erosiva passa a influenciar diretamente as formas de relevo devido a menor distância entre a drenagem e o divisor de águas, ou ainda aqueles terrenos com dissecação 30 - 40m, onde o desnível altimétrico é maior, e passa a favorecer a ação erosiva nas vertentes.

A classe de energia medianamente forte abarca os terrenos com declividade entre 15 - 30%, situados no limite máximo para urbanização, ou que possuam dissecação horizontal entre 40 - 80m, onde a ação fluvial exerce influência direta sobre as vertentes, ou ainda que tenham dissecação vertical entre 40 - 60m, onde o aumento do desnível altimétrico favorece os processos erosivos sobre as vertentes.

A classe de energia forte contempla duas situações, a primeira com terrenos que possuem declividade entre 15 - 30% associada a uma dissecação vertical com mais de >60 m, pois se compreende que os terrenos com esse valor de dissecação vertical associados a essa declividade estão sujeitos à intensificação de processos erosivos, devido a maior potencialidade do

escoamento superficial. A segunda situação refere-se aos terrenos com declividade entre 30 | 45%, limite máximo de corte raso onde a exploração só é permitida se sustentada por cobertura florestal, ou terrenos onde a dissecação horizontal varia entre 20 | 40m, atuando de maneira direta sobre o modelado do relevo, com intensa ação fluvial erosiva.

A classe de energia muito forte contempla a situação onde a declividade ultrapassa os 45%, sendo o uso da terra restrito; além disso se a dissecação horizontal for menor que 20m entende-se que esses terrenos estão sujeitos a intensa atividade erosiva exercida pelas drenagens, que remobiliza material dos cursos fluviais e da baixa vertente, alterando constantemente a dinâmica de fundo de vale.

Antes de iniciar os procedimentos para elaboração da carta de energia do relevo, foi preciso utilizar um *script* de programação lógica na linguagem *Python*, pois os dados a serem processados precisam estar em formato texto.

Foram elaborados dois *scripts* em formato *.txt*, no bloco de notas do *Windows* (Quadro 6 e Quadro 7) que seguem as classes de declividade e de dissecação vertical, renomeando cada uma das classes de declividade (Dec) e de dissecação vertical (ClassesDV) de acordo com seu valor nominal. Para dissecação horizontal esse procedimento não se faz necessário, pois o campo de atributo gerado pela ferramenta já contém os parâmetros classificados.

```
def Dec(Slope_Pct):
    if Slope_Pct >= 0 and Slope_Pct <= 2:
        return "Classe 1"
    if Slope_Pct > 2 and Slope_Pct <= 5:
        return "Classe 2"
    if Slope_Pct > 5 and Slope_Pct <= 15:
        return "Classe 3"
    if Slope_Pct > 15 and Slope_Pct <= 30:
        return "Classe 4"
    if Slope_Pct > 30 and Slope_Pct <= 45:
        return "Classe 5"
    if Slope_Pct > 45:
        return "Classe 6"
Dec(!Slope Pct!)
```

Quadro 6 - Script de programação lógica para renomear as classes de declividade. Elaborado pelo autor.

Para realizar este procedimento, foram realizadas as seguintes etapas: em *Table of Contents*, com o botão direito no *Layer* da declividade ou dissecação vertical, selecionou-se *Open Attribute Table*, em seguida foi criado um novo campo em *Table Options, Add Field*. O campo criado deve ser do tipo *Text*.

```
def ClassesDV(DissecationV):
    if DissecationV >= 0 and DissecationV <= 10:
        return "Classe 1"
    if DissecationV > 10 and DissecationV <= 20:
        return "Classe 2"
    if DissecationV > 20 and DissecationV <= 30:
        return "Classe 3"
    if DissecationV > 30 and DissecationV <= 40:
        return "Classe 4"
    if DissecationV > 40 and DissecationV <= 50:
        return "Classe 5"
    if DissecationV > 50 and DissecationV <= 60:
        return "Classe 6"
    if DissecationV > 60 and DissecationV <= 70:
        return "Classe 7"
    if DissecationV > 70:
        return "Classe 8"

ClassesDV(!DissecationV!)
```

Quadro 7 - Script de programação lógica para renomear as classes de dissecação vertical. Elaborado pelo autor.

Na sequência, selecionou-se a nova coluna com o botão direito e escolheu-se a ferramenta *Field Calculator*, selecionando o *Parser Python* e acionando o *Show Codeblock*. Em seguida foi inserido o script no campo *Pre-logic Script Code* e preencheu-se o campo Dec= ou ClassesDV=, para processar a operação.

Os procedimentos técnicos cartográficos para o agrupamento das informações da energia do relevo, foram realizados no programa *ArcGIS* a partir dos seguintes procedimentos desenvolvidos por Zanatta e Ferreira (2015): selecionar o comando *Geoprocessing* e clicar na ferramenta *Intersect*. Em seguida, adicionar os *shapefiles* com os dados de Declividade, Dissecação Horizontal e Dissecação Vertical, e selecionar, em *Output Feature Class*, a pasta que deseja salvar o produto gerado e o nome do arquivo de saída (Ex.: Energia).

Depois, em *Table of Contents* com o botão direito no *layer* criado pela operação anterior (Energia), selecionou-se *Open Attribute Table*, em seguida criou-se um novo campo em *Table Options, Add Field*. O campo criado deve ser do tipo *Text*.

Na sequência, foi preciso selecionar a nova coluna, com o botão direito e escolher a ferramenta *Field Calculator*, selecionar o *Parser Python* e acionar o *Show Codeblock*. Para preencher os campos *Pre-logic Script Code* e Energia =, é necessário traduzir as classes de energia do relevo (Quadro 5) para a linguagem Python. O quadro 8 mostra o modelo utilizado.

```

def Energia(Dec, Classe_Dis, ClassesDV,):
    if Dec=="Classe 6" or Classe_Dis=="Classe 1" or Classe_Dis=="Classe 2":
        return "Muito Forte"
    if Dec=="Classe 5" or Classe_Dis=="Classe 3" or Dec=="Classe 4" and ClassesDV=="Classe 7" or
    Dec=="Classe 4" and ClassesDV=="Classe 8":
        return "Forte"
    if Dec=="Classe 4" or Classe_Dis=="Classe 4" or ClassesDV=="Classe 5" or ClassesDV=="Classe
    6":
        return "Medianamente forte"
    if Dec=="Classe 3" or Classe_Dis=="Classe 5" or ClassesDV=="Classe 4":
        return "Media"
    if Dec=="Classe 2" or Classe_Dis=="Classe 6" or ClassesDV=="Classe 3":
        return "Fraca"
    if Dec=="Classe 1" or Classe_Dis=="Classe 7" or Classe_Dis=="Classe 8" or ClassesDV=="Classe 1"
    or ClassesDV=="Classe 2":
        return "Muito Fraca"

Energia(!Dec!, !Classe_Dis!, !ClassesDV!)

```

Quadro 8 - Script de programação lógica para elaboração das classes de energia do relevo. Elaborado pelo autor.

Depois de preencher os campos *Pre-logic Script Code* e Energia, o processamento será realizado com base nos parâmetros definidos pelo usuário. Para visualizar a espacialização das classes de energia do relevo basta clicar com o botão direito no *shape* Energia, selecionar *Properties, Symbology, Categories, Unique Values*, e em Valeu Field selecionar a opção Energia, e clicar em *Add All Values*. Nesta mesma janela é possível alterar as cores da legenda das classes de energia do relevo. Para este trabalho, as cores da legenda variam do verde, para a classe de energia do relevo fraca, até o preto para a classe de energia muito forte.

3.5 Carta de Materiais Inconsolidados

Os dados que compõem a Carta de Materiais Inconsolidados foram extraídos do mapeamento realizado por Zaine (2000), na escala de 1:25.000, e tem por objetivo caracterizar os materiais de cobertura superficial, ou seja, do topo da rocha sã até a superfície. Com vista a subsidiar a carta de fragilidade do meio físico, pois revelam a capacidade de suporte dos materiais aos processos morfogênicos.

Para a elaboração dessa carta foi utilizado o *software ArcGIS*, sendo necessário os seguintes procedimentos técnicos: digitalização do documento cartográfico na escala original; inserção desse documento no formato *raster* no *software*; georreferenciamento da carta considerando o *datum* original (Córrego Alegre); e a vetorização dos polígonos que representam os tipos de materiais presentes na área de estudo. Os dados apresentados por Zaine (2000) foram conferidos em campo, e a precisão dos dados foi satisfatória após a adaptação feita para a escala 1:15.000. O *datum* de referência foi alterado para SIRGAS 2000, como informado anteriormente, para atender os padrões cartográficos vigentes.

3.6 Cartas geomorfológicas

A elaboração das cartas geomorfológicas se baseia nas proposições de Tricart (1965) e Verstappen e Zuidam (1975). De acordo com Tricart (1965), tais cartas devem ser elaboradas por meio de fotointerpretação de pares estereoscópicos de fotografias aéreas, abarcando uma série de dados indispensáveis para a cartografia de detalhe. Na visão do autor, apenas o estudo minucioso do terreno permite identificar corretamente as formas do ponto de vista dinâmico.

O mapeamento geomorfológico, segundo Verstappen e Zuidam (1975), tem por finalidade dar uma imagem concisa e sistemática do relevo e dos fenômenos ligados a este. As cartas geomorfológicas constituem-se em ferramentas de grande valor na avaliação dos recursos naturais devido à relação existente entre as características geomorfológicas e os demais fatores do meio ambiente.

Para tanto, uma análise completa deve conduzir a identificação das características geomorfológicas da área, considerando a geologia, os condicionantes climáticos ou outros que predominem. No caso em questão, por se tratar de uma área urbana com alterações no relevo, foram introduzidos os elementos do modelado antrópico.

As cartas geomorfológicas, elaboradas na escala de 1:10.000, visando a identificação e análise das alterações geradas pela urbanização, foram confeccionadas a partir da interpretação de pares estereoscópicos de fotografias aéreas referentes ao cenário de 1988 e ortofotos do cenário de 2010. Os pares estereoscópicos de fotografias aéreas utilizados na fotointerpretação do cenário de 1988 possuem uma escala aproximada de 1:40.000, e as ortofotos do cenário de 2010 possuem uma escala de 1:1.000. Apesar da impossibilidade de realizar a estereoscopia das imagens referentes ao cenário de 2010, a identificação das feições foi facilitada devido à escala (1:1.000).

As fotografias aéreas utilizadas para a carta de 1988 foram as de números 5, 6 e 7, da faixa 46A, obtidas do acervo do Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento (UNESP – Rio Claro). Para a carta geomorfológica de 2010 foram utilizadas as fotografias aéreas números 3 e 4, da faixa 7; 3 e 4 da faixa 8; 3, 4 e 5 da faixa 9; 4,5 e 6 da faixa 10; 3, 4, 5 e 6 da faixa 11; 3, 4, 5, 6 e 7 da faixa 12; 4, 5, 6, 7 e 8 da faixa 13; 4, 5, 6, 7 e 8 da faixa 14 e 6 e 7 da faixa 15. Essas ortofotos foram cedidas pela Secretaria de Planejamento, Desenvolvimento e Meio Ambiente de Rio Claro.

O levantamento geomorfológico realizado foi baseado na quinta escala de grandeza proposta por Tricart (1965), que possui fatos geomorfológicos com alguns quilômetros quadrados.

A fotointerpretação para os mapeamentos foi realizada diretamente no programa Arc GIS. Para tanto, com as fotografias aéreas de 1988, foram geradas imagens tridimensionais utilizando o método Anáglifo, que consiste na sobreposição digital de pares estereoscópicos de fotografias aéreas utilizando o programa *Stereo Photo Maker 3D*, conforme as indicações de Souza e Oliveira (2012). Esse programa seleciona as áreas semelhantes e gera a sobreposição formando uma nova imagem com cores complementares (vermelho e azul-esverdeado). A imagem gerada, quando visualizada com óculos especiais de lentes coloridas (óculos 3D), provoca a percepção de profundidade da superfície a ser mapeada.

As imagens estereoscópicas foram georreferenciadas a partir da base cartográfica, e em seguida foi possível realizar a interpretação das formas e feições geomorfológicas presentes na área de estudo.

As simbologias propostas por Tricart (1965) e Verstappen e Zuidam (1975) atenderam parcialmente às necessidades, sendo utilizadas de forma complementar as simbologias propostas por Rodrigues (2005) e Silveira (2009) no que se refere às feições antropogênicas. As técnicas de criação de simbologias das feições identificadas no sistema relevo foram realizadas no programa *Arc GIS* de acordo com as considerações de Paschoal, Conceição e Cunha (2010). O quadro 9 apresenta as simbologias utilizadas nos mapeamentos geomorfológicos.

1. Litologia	Era Cenozóica	Formação Rio Claro	
	Era Mesozóica	Formação Serra Geral	
	Era Paleozóica	Formação Corumbataí	
2. Formas de vertentes	2.1 Linha de cumeada	Arredondada	
	2.2 Formas de Vertentes	Côncavas	
		Convexas	
		Retilíneas	
		Irregulares	
	2.3 Feições topográficas e morfométricas	Caimento topográfico	
		Curvas de nível	
		Pontos cotados	
	2.4 Feições localizadas - denudacionais	Sulco erosivo	
		Ravina	
		Voçoroca	
3. Ação das águas correntes	3.1 Modelo de entalhe	Formas de vale em V	
		Formas de vale com fundo plano	
		Ruptura topográfica abrupta	
		Ruptura topográfica suave	
	3.2 Formas de acumulação	Planície fluvial	
		Terraço fluvial	
	3.3 Dados hidrográficos	Cursos d'água perenes	
		Curso d'água perene (Rio Corumbataí)	
		Cursos d'água temporários	
		Meandros abandonados	
		Lagoas	
4. Modelado antrópico		Pontes	
		Ruptura topográfica antrópica	
		Caimento topográfico antrópico	
		Terraço agrícola	
		Hidrografia canalizada	
		Canal fluvial retificado	
		Nascente aterrada	
		Saída de cursos fluviais canalizados	
		Cava de mineração desativada	
5. Elementos cartográficos		Limite da área de estudo	
		Ruas	
		Rodovias	
		Ferrovias	

Quadro 9 - Simbologia utilizada nos mapeamentos geomorfológicos.

3.7 Cartas de uso da terra e cobertura vegetal

O mapeamento do uso da terra tem por objetivo indicar “a distribuição geográfica da tipologia de uso, identificada através de padrões homogêneos da cobertura terrestre” (IBGE, 2006). Esse tipo de mapeamento envolve procedimentos de pesquisas de escritório e de campo, relacionadas à interpretação, análise e registro das observações da paisagem, referentes aos tipos de uso da terra e cobertura vegetal.

As cartas de uso da terra nesta pesquisa foram elaboradas através da interpretação manual em meio digital no *software ArcGIS*. Para a interpretação do cenário de 1988 foram utilizados anáglifos georreferenciados, cujos procedimentos para gerar tais imagens foram descritos no item anterior. O mapeamento do cenário de 2010 foi realizado com base na interpretação de ortofotos, as quais possuem escala de detalhe (1:1.000), o que facilitou a identificação dos diferentes usos da terra.

De acordo com Florenzano (2005), a interpretação de fotografias aéreas se baseia na identificação dos elementos e fenômenos da superfície, os quais possuem características espectrais e espaciais diversas. A coleta desses dados é realizada a partir da identificação de parâmetros de chaves de interpretação, tais como tonalidade/cor, textura, tamanho, forma, sombra e padrão dos elementos.

A partir dessa identificação, é possível extrair cada tipo de uso da terra com base nas classes pré-definidas pelo interprete, sendo cada elemento separado em um *shapefile*, de acordo com sua classe.

As classes de uso da terra foram elaboradas com base na proposta do Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2006) e adaptadas pelo autor. A tabela 1 apresenta as classes que foram estabelecidas e mapeadas na escala de 1:10.000.

A necessidade de mapear e diferenciar o uso urbano levou a criação de três classes relacionadas à evolução do processo de urbanização e densidade urbana: os lotes edificadas, classe 1.5, os lotes parcialmente edificadas, classe 1.6 e os lotes sem edificação, classe 1.7. A comparação entre os cenários mapeados permite visualizar o avanço da urbanização e sua consolidação.

Tabela 1 - Classes de uso da terra e cobertura vegetal.

Classes de usos da terra	Cores
1. Áreas antrópicas urbanas	
1.1 Área industrial (áreas de uso industrial com infraestruturas urbanas).	
1.2 Área verde urbana (áreas arborizadas ou com gramados dos espaços públicos como praças e jardins).	
1.3 Cobertura herbácea (áreas com vegetação rasteira ou de porte pequeno que se desenvolveram espontaneamente).	
1.4 Horticultura (áreas de horticultura urbana)	
1.5 Lotes edificadas (áreas com edificações e infraestruturas urbanas).	
1.6 Lotes parcialmente edificadas (áreas com edificações que ocupam menos de 50% lotes e possuem infraestruturas urbanas).	
1.7 Lotes sem edificação (áreas sem edificações que possuem infraestruturas urbanas).	
2. Áreas antrópicas rurais	
2.1 Cana (áreas de plantio de cana-de-açúcar)	
2.2 Chácaras (áreas com lotes de médio porte e edificações).	
2.3 Citrus (áreas de plantio de frutas cítricas).	
2.4 Clube social e esportivo (área de reação, lazer e esportes).	
2.5 Construções rurais (áreas edificadas em sítios e fazendas).	
2.6 Cultura anual (áreas com plantio anual).	
2.7 Mineração abandonada (áreas com cavas de mineração de argila desativadas)	
2.8 Pasto limpo (áreas de pastagem de gado, formadas por espécies de gramíneas).	
2.9 Pasto sujo (áreas de pastagem de gado, formadas mediante plantio de forragens perenes).	
2.10 Silvicultura (áreas destinadas ao plantio de eucalipto).	
2.11 Solo exposto (áreas desprovidas de cobertura vegetal)	
2.12 Vegetação herbácea (áreas onde a vegetação é influenciada pela variação do nível do curso fluvial e do lençol freático).	
3. Áreas de vegetação natural	
3.1 Mata (áreas de vegetação natural de porte médio e grande).	
4. Água	
4.1 Lâminas d'água e rios (áreas com corpos hídricos).	
5. Sistema viário	
5.1 Vias pavimentadas (áreas pavimentadas com asfalto que servem de vias de transporte e acesso aos lotes).	
5.2 Vias sem pavimentação (áreas sem pavimentação que servem de vias de transporte e acesso aos lotes).	

Fonte: Manual técnico do uso da terra do IBGE (2006). Organizado e elaborado pelo autor.

3.8 Carta de fragilidade do meio físico e carta de fragilidade ambiental

A carta de fragilidade do meio físico foi confeccionada a partir de adaptações da proposta de hierarquização das unidades de fragilidade natural e fragilidade ambiental elaboradas por Ross (1990, 1994, 2001). De acordo com Ross (1990, 1994), essa carta tem por objetivo identificar os ambientes de acordo com seus diferentes níveis de fragilidades potenciais e emergentes. O autor considera que os ambientes naturais apresentam níveis de fragilidade potencial e os ambientes intensamente modificados pelas intervenções antrópicas, como as áreas urbanizadas, apresentam níveis de fragilidade emergente.

A proposta original de Ross (1990, 1994) adota como variáveis definidoras da fragilidade potencial para estudos em escalas de maior detalhe, os dados de produtos cartográficos intermediários, como da carta geomorfológica (formas de vertentes), de declividade e da carta pedológica. Para esta pesquisa são propostas adaptações considerando as especificidades da área urbana, em uma escala de detalhe (1:15.000), e a adição de variáveis definidoras da fragilidade potencial consideradas de suma importância para a compreensão da morfodinâmica desses ambientes.

Assim, a partir da proposta de níveis hierárquicos de Ross (1990, 1994), e algumas considerações apontadas por Silveira (2013) e Mendes (2015), foram realizadas as seguintes adaptações:

- a) Os dados morfométricos foram extraídos da carta de energia do relevo, produto cartográfico de integração dos parâmetros morfométricos (declividade, dissecação horizontal e dissecação vertical), que possibilita a classificação qualitativa da potencialidade do relevo para a ocorrência de processos geomorfológicos. Esta adaptação é justificada porque tais dados na metodologia de Ross (1990, 1994, 2001), estão associados diretamente à carta geomorfológica e proporcionam uma visão mais generalizada da morfometria da área de estudo.
- b) Os dados pedológicos foram substituídos por aqueles presentes na carta de materiais inconsolidados, devido ao fato de que em geral, os mapeamentos de solos são realizados em escalas de pouco detalhe. Além disso, a carta de materiais inconsolidados fornece uma visão mais específica a respeito das características dos materiais alterados da litologia da área de estudo, e sua relação com as feições geomorfológicas, devido à ação climática e a dinâmica do escoamento pluvial e fluvial sobre o relevo.
- c) Inserção das feições erosivas como variável para fragilidade potencial, extraídas das cartas geomorfológicas. Compreende-se que tais feições apontam a fragilidade física do terreno devido à ação do escoamento superficial (MENDES, 2015).

- d) Avaliação diferenciada dos terrenos próximos aos cursos d'água, sujeitos a inundação periódica (planície fluvial) e excepcional (terraço fluvial), devido à dinâmica fluvial erosiva e o risco de enchentes quando ocupados pela urbanização. Estes terrenos foram considerados com alto peso de fragilidade, independentemente de qualquer outro parâmetro físico, visto que seu uso e ocupação não devem ocorrer em função da intensa dinâmica hidrológica que caracteriza tais setores.
- e) Alteração do nome do documento cartográfico para carta de fragilidade do meio físico, pois a área estudada apresenta intensas intervenções antrópicas, o que dificulta a investigação da fragilidade do meio natural neste ambiente, limitando até certo ponto a investigação proposta das características físicas do relevo.

A partir das adaptações propostas, a carta de fragilidade do meio físico foi organizada com base na síntese dos seguintes produtos cartográficos: carta de energia do relevo, carta de materiais inconsolidados e carta geomorfológica (feições erosivas). Para a realização de tal tarefa, foram definidos pesos para as classes das variáveis do meio físico (Tabela 2) a serem sobrepostas.

A influência de cada uma das variáveis foi distribuída de forma igualitária, ou seja, a intensão foi elaborar uma carta na qual as variáveis têm a mesma influência do ponto de vista da atuação dos processos geomorfológicos. Os pesos das classes foram atribuídos seguindo os seguintes critérios:

- a) Energia do relevo: as classes de energia do relevo indicam a suscetibilidade desse aos processos erosivos e morfodinâmicos a partir de suas características geométricas; portanto quanto maior sua intensidade, maior a potencialidade de processos geomorfológicos. Assim, peso 1 para classe de energia muito fraca e maiores pesos para as classes seguintes.
- b) Materiais inconsolidados: classificados de acordo com a suscetibilidade natural imposta por suas características básicas e considerando-se a capacidade do terreno ao uso urbano.
- c) Feições erosivas: a ausência de feições erosivas demonstra baixa ou nenhuma suscetibilidade à ação das águas correntes, enquanto que sua presença ao longo do tempo e a evolução para estágios de erosão linear mais avançados indicam maior suscetibilidade a processos morfogenéticos.

Tabela 2- Critérios utilizados para elaboração da carta de fragilidade do meio físico.

Variáveis definidoras da fragilidade do meio físico	Influência	Classe	Peso
Energia do relevo	33%	Muito fraca	1
		Fraca	2
		Média	3
		Medianamente forte	4
		Forte	5
		Muito forte	6
Materiais inconsolidados	33%	4r – residual vermelho-amarelo escuro	1
		4c – coluvionar areno-argiloso	2
		Material coluvionar argiloso	3
		Material coluvionar arenoso	4
		Material argiloso marrom arroxeadado	5
		Material arenoso e argiloso	6
		Material coluvionar hidromórfico	6
Feições erosivas	34%	Ausência de feições erosivas	1
		Áreas com sulcos erosivos 1988	4
		Áreas com sulcos erosivos 2010	5
		Áreas com sulcos erosivos 1988 e 2010	5
		Áreas que apresentam voçorocas e ravinas 1988 e 2010	6

Fonte: Elaborada pelo autor.

A sobreposição das variáveis do meio físico foi realizada no *software ArcGIS*, utilizando a ferramenta *Weighted Overlay*. Esta ferramenta utiliza a análise multicriterial a partir da sobreposição de dados geoespaciais, considerando o peso das classes de uma variável e sua influência sobre as demais variáveis, expressa pela seguinte equação:

$$D = (PCA) \times (\%IA) + (PCB) \times (\%IB) + (PCC) \times (\%IC) \quad (2)$$

PCA, PCB e PCC= pesos atribuídos as classes das variáveis A, B ou C;

% IA, % IB e % IC = influência em porcentagem das variáveis A, B ou C, a soma das influências deve totalizar sempre 100;

D = classes geradas pela ferramenta a partir da análise multicriterial.

Antes de utilizar essa ferramenta é preciso criar na tabela de atributos dos *shapes files* das variáveis do meio físico, um campo com os valores das classes que serão fornecidas como parâmetros para sobreposição dos dados, clicando com o botão direito em *Table of Contents*, criar um novo campo em *Table options*, a partir de *Add field*. Em seguida é possível atribuir valores para os polígonos do *shape* (classes) utilizando a ferramenta *Edit Features*.

Na sequência, todos os *shapes files* foram convertidos para formato *raster*, pois a ferramenta *Weighted Overlay*, somente realiza a sobreposição dos dados neste formato. A ferramenta *Polygon to Raster* foi utilizada para isso, em *Arc Toolbox, Conversion Tools, To Raster, Polygon to Raster*. Este procedimento foi realizado para todos os *shapes files* das variáveis (energia do relevo, materiais inconsolidados e feições erosivas) a serem sobrepostas.

Para gerar a carta de fragilidade do meio físico a partir da ferramenta *Weighted Overlay* foram utilizados os seguintes procedimentos: *Arc Toolbox, Spatial Analyst Tools, Overlayer, Weighted Overlay*. Em *Weighted Overlay, Add raster row, Add Weighted Overlay Layer, Input raster*; selecione o arquivo *raster* das variáveis que serão sobrepostos, em seguida selecione o campo que contenha as classes a serem utilizadas para fragilidade do meio físico. Esse procedimento foi realizado para adicionar todos os arquivos *raster* que foram sobrepostos.

Na sequência foi preenchido o campo *Evaluation scale*, o qual serve para definir o número de pesos na escala de valores atribuídos na coluna *Scale Value*. Depois em *% Influence* foi definida a influência do *raster* em relação as outras variáveis como uma porcentagem, sendo que a soma das influências deve ser igual a 100. Em *Scale Value* foram inseridos os valores dos pesos apresentados na tabela 2. A carta de fragilidade do meio físico foi gerada em formato *raster* com 6 classes, resultante do processamento multicriterial.

Desse modo estabeleceu-se que as classes 5 e 6 seriam agrupadas, pois compreende-se que as áreas com essas fragilidades possuem um grau de fragilidade muito forte, devido as características das variáveis sobrepostas. As demais classes em ordem decrescente representam respectivamente graus de fragilidade forte, moderada, fraca e muito fraca.

Para realizar a adaptação proposta de inserção dos terrenos sujeitos a inundação periódica (planície fluvial) e excepcional (terraço fluvial), foi preciso realizar um recorte no *raster* gerado pela ferramenta *Weighted Overlay*. Dessa forma, foi preciso converter esse *raster* para o formato polígono novamente e realizar a adaptação utilizando a ferramenta *Erase*; em seguida foram adicionados os *shapes files* da planície e do terraço fluvial, com seus respectivos valores de fragilidade muito forte e forte, e a conversão final da carta de fragilidade do meio físico para o formato *raster*, a qual subsidiou a elaboração da carta de fragilidade ambiental.

A elaboração da carta de fragilidade ambiental foi pautada nos mesmos procedimentos técnicos cartográficos digitais citados anteriormente, com uso da ferramenta *Weighted Overlay*, por meio da análise multicriterial. Esse produto cartográfico é fruto da sobreposição das variáveis: fragilidade do meio físico e uso da terra (cenário de 2010, reambulado em campo). Este cenário foi selecionado pois representa o atual estágio da interferência antrópica no meio físico, sendo possível visualizar as principais transformações antrópicas impostas a paisagem da área de estudo.

Para gerar a carta de fragilidade ambiental foi preciso atribuir pesos as classes de uso da terra, criando na tabela de atributos de cada *shape file* de uso da terra, um campo com a designação do tipo de uso. Em seguida os *shapes* de uso da terra foram agrupados em um único *shape file*, utilizando a ferramenta *Merge*; transformado em *raster* na sequência.

A influência de cada uma das variáveis foi distribuída de forma igualitária, ou seja, a intensão foi elaborar uma carta onde as variáveis físicas e antrópicas têm a mesma influência (Tabela 3). Acredita-se que os processos geomorfológicos estão relacionados as características genéticas do terreno, assim como são induzidos ou potencializados pelos usos antrópicos. Compreende-se, portanto, que seja um sistema parcialmente controlado pelas variáveis antrópicas.

Os pesos das classes foram atribuídos com base nos seguintes critérios:

- a) Fragilidade do meio físico: as classes de fragilidade do meio físico indicam a suscetibilidade dos terrenos de acordo com suas características genéticas e processos morfogenéticos atuantes. Assim, os terrenos com peso 1 apresentam pouca ou baixa suscetibilidade aos processos morfodinâmicos, enquanto os pesos maiores indicam terrenos mais susceptíveis.
- b) Uso da terra e cobertura vegetal: as classes de uso da terra se subdividem em áreas antrópicas urbanas e áreas antrópicas rurais. A seguir são apresentados os critérios para os usos urbanos, já os usos rurais foram adaptados de Ross (1994).
 - i. Lotes edificadas - acredita-se que mesmo as superfícies completamente impermeabilizadas estão sujeitas a processos morfogenéticos subsuperficiais; além disso, essas superfícies contribuem com aumento do escoamento superficial das águas pluviais.
 - ii. Lotes parcialmente edificadas - constituem-se em áreas com superfície parcialmente impermeabilizada, porém muitas vezes expostas a ação das águas correntes, sem cobertura vegetal adequada.

- iii. Lotes sem edificação - áreas em estágio inicial de urbanização, muitas vezes expostas a ação das águas correntes sem qualquer cobertura vegetal.
- iv. Horticultura - áreas com cobertura vegetal com baixo nível de proteção do solo.
- v. Área industrial - superfícies extensas impermeabilizadas e por vezes apresentam áreas sem cobertura vegetal ou com gramíneas.
- vi. Área verde urbana: áreas arborizadas ou com gramados e jardins, auxiliam na infiltração e diminuem o escoamento superficial.
- vii. Cobertura herbácea - áreas com gramíneas, com baixo nível de proteção do solo, geralmente situadas nas bordas urbanas sujeitas ao escoamento superficial.
- viii. Vias pavimentadas - aceleram o escoamento superficial das águas pluviais; configuram-se como canais pluviais, acarretando problemas de enchentes e alagamentos devido à ausência de plano de drenagem urbana;
- ix. Vias sem pavimentação - aceleram o escoamento superficial das águas pluviais; configuram-se como canais pluviais, devido à ausência de infraestruturas urbanas; o solo exposto é facilmente erodido.

Tabela 3 - Critérios utilizados para elaboração da carta de fragilidade ambiental.

Variáveis	Influência	Classe	Peso
Fragilidade do meio físico	50%	Muito fraca	1
		Fraca	2
		Média	3
		Forte	4
		Muito forte	5
Uso da terra	50%	Mata	1
		Área verde urbana	2
		Clube de recreação	2
		Chácara	3
		Construções rurais	3
		Lotes edificadas	3
		Pasto sujo	3
		Silvicultura	3
		Área industrial	4
		Citrus	4
		Cobertura herbácea	4
		Cultura anual	4
		Horticultura	4

Lotes parcialmente edificados	4
Pasto limpo	4
Vegetação herbácea	4
Vias pavimentadas	4
Cana	5
Ferrovia	5
Lagos	5
Lotes sem edificação	5
Mineração abandonada	5
Solo exposto	5
Vias sem pavimento	5

Adaptado de Ross (1994). Organizada pelo autor.

3.9 Carta de fragilidade ambiental associada aos padrões urbanos

A carta de fragilidade ambiental associada aos padrões urbanos foi elaborada com o objetivo de avaliar como tais padrões podem atuar sobre a dinâmica do relevo. Trata-se de uma proposta técnica elaborada para este trabalho, cuja ideia é criar um modelo de interpretação da fragilidade ambiental considerando os padrões de urbanização, ou seja, a fragilidade emergente dos ambientes antropizados submetidos a uma morfodinâmica artificial, criada em função dos arruamentos e dos padrões de ocupação do solo urbano.

A definição dos padrões urbanos partiu da interpretação das fotografias aéreas do cenário de 2010 e de trabalhos de campo, associados a base topográfica da área de estudo. A finalidade foi classificar o uso do solo urbano de acordo com a densidade dos lotes e das construções e seu padrão horizontal ou vertical, as infraestruturas de drenagem pluvial, das vias de acesso aos lotes (impermeabilizadas ou sem pavimentação) e a presença de áreas verdes, que proporcionam maior infiltração (Figura 2). Esses critérios têm o caráter de indicar padrões de ocupação do solo urbano espacialmente diversos, os quais interferem diretamente na ação das águas superficiais sobre o relevo e refletem uma morfodinâmica diferente para cada área urbana.



Figura 2 - Padrões urbanos identificados no setor oeste da cidade de Rio Claro (SP). Elaborado pelo autor.

Os padrões de arruamentos são considerados instrumentos técnicos do ponto de vista do planejamento urbano e estão relacionados diretamente a topografia da superfície a ser ocupada. De acordo com Mascaró (2005), os arruamentos com traçados geométricos são mais indicados para terrenos planos ou de baixa e uniforme declividade. Por outro lado, para os terrenos acidentados, são aconselhados arruamentos que seguem as variações topográficas.

A figura 3 ilustra situações de arruamentos e seus efeitos sobre o relevo de acordo com as características topográficas do terreno, do ponto de vista do escoamento superficial das águas pluviais.

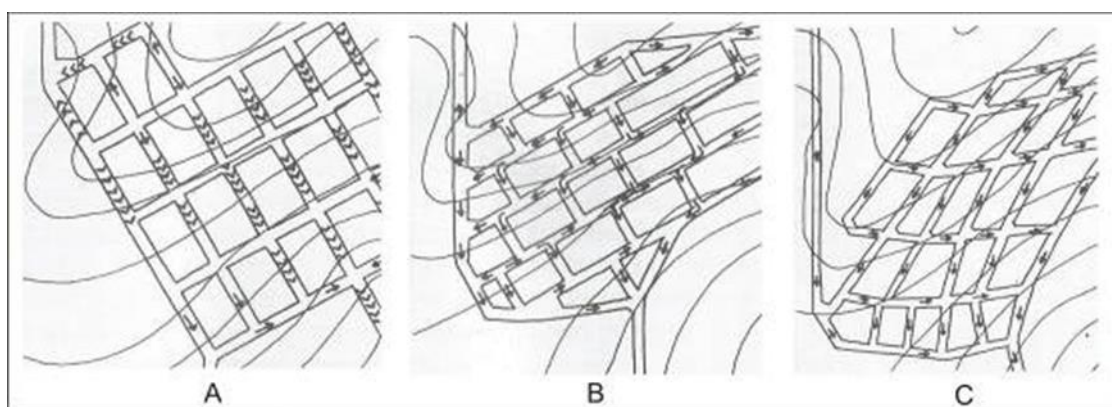


Figura 3 - Topografia e padrões de arruamentos. Adaptado de Mascaró (2005). Organizada pelo autor.

No item A da figura 3, se o terreno for de forte declividade poderá ocorrer erosão nas ruas perpendiculares às curvas de nível, devido à alta velocidade que as águas pluviais tomarão. No item B da figura 3, é possível verificar a redução da velocidade do escoamento das águas pluviais, diminuída pela troca de direção que se verificam pelo desencontro das ruas. O item C da figura 3 apresenta uma situação similar a anterior, pois a velocidade de escoamento das águas pluviais é reduzida, pois todas as ruas são dispostas de forma diagonal as curvas de nível. No entanto, Mascaró (2005) atenta para questões de circulação pelas vias e a dinâmica do escoamento das águas pluviais.

“o tráfego pode ficar muito prejudicado pela frequência em que deverão aparecer valetas atravessando o pavimento para conduzi-las superficialmente ou, caso contrário, haverá multiplicação de bocas-de-lobo.” (MASCARÓ, 2005, p. 28).

Desse modo, a sobreposição dos dados da carta de fragilidade ambiental em conjunto com os padrões urbanos pode auxiliar na interpretação dos efeitos da urbanização sobre o relevo, e indicar padrões mais adequados de acordo com a topografia e as características físicas das áreas

urbanizadas ou de expansão urbana. A tabela 4 apresenta os critérios para elaboração da carta de fragilidade ambiental associada aos padrões urbanos.

Tabela 4 - Critérios utilizados para elaboração da carta de fragilidade ambiental associada aos padrões urbanos.

Variáveis	Influência	Classe	Peso
Fragilidade ambiental	50%	Muito fraca	1
		Fraca	2
		Média	3
		Forte	4
		Muito forte	5
Padrões urbanos	50%	Condomínio horizontal com ruas impermeabilizadas perpendiculares as curvas de nível	2
		Loteamento aberto com ruas impermeabilizadas que acompanham o traçado das curvas de nível ou quebram a energia do escoamento da água	3
		Loteamento aberto com ruas impermeabilizadas de padrão diagonal em relação as curvas de nível	3
		Loteamento fechado com ruas impermeabilizadas perpendiculares as curvas de nível	3
		Condomínio vertical com ruas impermeabilizadas perpendiculares as curvas de nível	3
		Loteamento aberto com ruas impermeabilizadas perpendiculares as curvas de nível	4
		Loteamento aberto com ruas sem pavimentação que acompanham o traçado das curvas de nível ou quebram a energia do escoamento da água	4
		Conjunto habitacional vertical com ruas impermeabilizadas perpendiculares as curvas de nível	4
		Loteamento aberto com ruas sem pavimentação perpendiculares as curvas de nível	5
		Conjunto habitacional horizontal com ruas impermeabilizadas perpendiculares as curvas de nível	5

Fonte: Elaborado pelo autor.

A elaboração da carta de fragilidade ambiental associada aos padrões urbanos seguiu os critérios apresentados na tabela 4 e foi confeccionado com base nos mesmos procedimentos técnicos cartográficos citados anteriormente, com uso da ferramenta *Weighted Overlay*, por meio da análise multicritério.

Para gerar esta carta no *software ArcGIS*, foi preciso criar *shapes files*, com os pesos de fragilidade para cada tipo de padrão do uso do solo urbano e de arruamento, identificados na área de estudo. As fotografias aéreas auxiliaram na identificação dos tipos de padrões do uso do solo urbano; a base cartográfica e topográfica, em conjunto com a carta de uso da terra do cenário de 2010, permitiu identificar os tipos de arruamentos.

A influência de cada uma das variáveis foi distribuída de forma igualitária, ou seja, a intensão foi elaborar uma carta onde as variáveis ambientais e infraestruturas antrópicas têm a mesma influência. Os pesos das classes de padrões urbanos foram definidos de acordo com os seguintes critérios:

- a) Condomínio horizontal com ruas impermeabilizadas perpendiculares as curvas de nível: áreas urbanizadas dotadas de infraestruturas de drenagem pluvial, menor densidade de lotes e presença de áreas de infiltração (gramados, jardins ou bosques). No entanto esse padrão de arruamento acelera o escoamento pluvial, reduzindo o tempo de descarga na drenagem pluvial e nos cursos fluviais.
- b) Loteamento aberto com ruas impermeabilizadas que acompanham o traçado das curvas de nível ou quebram a energia do escoamento da água: áreas urbanizadas com maior densidade dos lotes, geralmente apresentam poucas áreas verdes e carecem de sistema de drenagem pluvial adequado. Porém o padrão de arruamento auxilia na redução da velocidade do escoamento superficial da água, e retardam a chegada da água no sistema de drenagem pluvial e nos cursos fluviais.
- c) Loteamento aberto com ruas impermeabilizadas de padrão diagonal em relação as curvas de nível: áreas urbanizadas com maior densidade dos lotes, geralmente apresentam poucas áreas verdes e carecem de sistema de drenagem pluvial adequado. Porém as ruas impermeabilizadas com padrão diagonal em relação às curvas de nível diminuem a velocidade do escoamento superficial, e demandam um sistema de drenagem pluvial eficiente com sarjetas e bocas de lobo.
- d) Loteamento fechado com ruas impermeabilizadas perpendiculares as curvas de nível: áreas urbanizadas com menor densidade dos lotes, apresentam áreas verdes e sistema de drenagem pluvial mais eficiente que nos loteamentos abertos. No entanto as ruas aceleram o escoamento pluvial, reduzindo o tempo de descarga na drenagem pluvial e nos cursos fluviais.
- e) Condomínio vertical com ruas impermeabilizadas perpendiculares as curvas de nível: áreas urbanizadas dotadas de infraestruturas de drenagem pluvial, maior coeficiente

de aproveitamento do solo urbano e apresenta áreas verdes de infiltração. Porém as vias de circulação internas e garagens quando perpendiculares as curvas de nível acentuam o escoamento das águas pluviais.

- f) Loteamento aberto com ruas impermeabilizadas perpendiculares as curvas de nível: áreas urbanizadas com maior densidade dos lotes, geralmente apresentam poucas áreas verdes e carecem de sistema de drenagem pluvial adequado. As ruas com esse padrão aceleram o escoamento pluvial, reduzindo o tempo de descarga na drenagem pluvial e nos cursos fluviais, além disso quando não há plano de drenagem pluvial provocam efeito erosivo no final das ruas situadas em bordas urbanas.
- g) Loteamento aberto com ruas sem pavimentação que acompanham o traçado das curvas de nível ou quebram a energia do escoamento da água: áreas urbanizadas com maior densidade dos lotes, geralmente apresentam poucas áreas verdes e carecem de sistema de drenagem pluvial adequado. O traçado das ruas auxilia na redução da velocidade do escoamento superficial da água, porém a superfície exposta apresenta problemas de erosão pois não há infraestrutura de drenagem pluvial.
- h) Conjunto habitacional vertical com ruas impermeabilizadas perpendiculares as curvas de nível: áreas urbanizadas com maior coeficiente de aproveitamento do solo urbano, raramente apresentam áreas de infiltração e drenagem pluvial adequada. As ruas com esse padrão aceleram o escoamento pluvial, reduzindo o tempo de descarga na drenagem pluvial e nos cursos fluviais.
- i) Loteamento aberto com ruas sem pavimentação perpendiculares as curvas de nível: áreas urbanizadas com maior densidade dos lotes, geralmente apresentam poucas áreas verdes e carecem de sistema de drenagem pluvial adequado. O traçado das ruas com esse padrão acelera o escoamento pluvial, reduzindo o tempo de descarga na drenagem pluvial e nos cursos fluviais, além disso quando não há plano de drenagem pluvial provocam efeito erosivo no final das ruas situadas em bordas urbanas.
- j) Conjunto habitacional horizontal com ruas impermeabilizadas perpendiculares as curvas de nível: áreas urbanizadas com alta densidade populacional, impermeabilização excessiva e ausência de áreas verdes. Além disso, as ruas com esse padrão aceleram o escoamento pluvial, reduzindo o tempo de descarga na drenagem pluvial e nos cursos fluviais, além disso quando não há plano de drenagem pluvial provocam efeito erosivo no final das ruas situadas em bordas urbanas.

3.10 Carta de derivações ambientais e transgressões legais

A carta de derivações ambientais e transgressões legais foi elaborada com adaptações a proposta de Moroz, Canil e Ross (1994) e se constitui como modelo de interpretação das alterações ambientais decorrentes dos diferentes tipos de uso e ocupação antrópica. Além disso, esse documento cartográfico expressa a necessidade de um planejamento urbano mais efetivo, que tenha como objetivo a compatibilização dos interesses sociais e econômicos e as condições do meio físico, com a finalidade de minimizar os efeitos impactantes e por sua vez, reduzir os danos causados à qualidade de vida da população, afetada direta ou indiretamente (MOROZ, CANIL e ROSS, 1994).

Para a elaboração dessa carta no *software ArcGIS*, foi necessário a importação dos *shapes* dos seguintes documentos cartográficos intermediários: carta de declividade, cartas de uso da terra (cenário de 2010), carta geomorfológica (cenário de 2010) e os polígonos extraídos do Anexo V da Lei Municipal nº 3.806/2007 (Plano Diretor do município de Rio Claro) em formato vetorial.

A estes documentos, somam-se as seguintes legislações ambientais específicas que interessam a pesquisa, no caso, leis de interesse a urbanização:

- Lei Federal nº 6.766 de 1979 (Lei Lehmann) - Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências:

Art. 3º - Somente será admitido o parcelamento do solo para fins urbanos em zonas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica, assim definidas pelo plano diretor ou aprovadas por lei municipal.

Parágrafo único - Não será permitido o parcelamento do solo:

I - em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas;

III - em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes.

- Lei Municipal nº 3.806 de 2007, a qual dispõe sobre o plano diretor do município de Rio Claro:

Art. 34º - Nos novos loteamentos, a disposição das vias e quadras deverá ser orientada pelas condições topográficas.

Parágrafo Único - Nas encostas com declive de 15% (quinze por cento) a 30% (trinta por cento) a disposição das quadras e o plano de arruamento deverão seguir as curvas

de nível, alternando-se as quadras de forma que as vias que seguem o sentido do declive não sejam continuas.

Art. 93º - Consideram-se Áreas de Preservação Permanente (APP), aquelas definidas nos artigos 2º. 3º. do Código Florestal, com as adições trazidas pela Resolução CONAMA nº. 303/2002.

Parágrafo Único - Os Parâmetros e definições e limites das áreas de preservação permanente dos reservatórios artificiais e a elaboração de plano ambiental de conservação e uso de seu entorno estão previstos na Resolução CONAMA nº. 302, de 20 de março de 2002.

Art. 94º - A intervenção ou supressão de vegetação em APP está vinculada aos procedimentos e condicionantes legais estabelecidos na Medida provisória no. 2166-67, de 24 de agosto de 2001, e Resolução CONAMA nº.369/2006, para obras, atividades ou empreendimentos de utilidade pública, interesse social, e de baixo impacto ambiental.

Parágrafo Único - A intervenção ou supressão de vegetação em APP situada em área urbana, dependerá de autorização da Secretaria de Planejamento, Desenvolvimento e Meio Ambiente SEPLADEMA, com base no Plano diretor e Lei de Zoneamento e deliberação do Conselho de Defesa do Meio Ambiente de Rio Claro - COMOEMA, mediante anuência prévia do órgão ambiental estadual competente, fundamentada em parecer técnico.

Art.95 - Na Lei de Zoneamento Urbano constará o mapeamento das Áreas de Preservação Permanente - APPs do Município, em consonância com os parâmetros estabelecidos no Código Florestal e nas Resoluções CONAMA pertinentes.

Cabe ressaltar que a lei apontada como Código Florestal no Plano Diretor Municipal é a Lei Federal nº 4.771 de 1965, alterada para Lei Federal nº 12.651 de 2012, portanto para o município de Rio Claro a legislação municipal ainda segue as normas estabelecidas pela lei antiga.

- Lei Municipal Complementar nº 82 de 2013, qual dispõe sobre o zoneamento urbano, uso e ocupação do solo do município de Rio Claro:

Art. 17º - As áreas urbanas do Município, sob imperativo do Artigo 9º da Lei Municipal 3.806/2007, ficam subdivididas na seguinte tipologia de Zonas:

I - Zonas Residenciais - ZR;

II - Zonas Predominantemente Residenciais - ZPR;

III - Zonas de Uso Diversificado - ZUD;

IV - Zonas Predominantemente Industriais - ZPI;

V - Zonas Industriais - ZI;

- VI - Zonas de Uso Especial - ZE;
- VII - Zonas de Proteção - ZP;
- VIII - Zonas Especiais de Interesse Social - ZEI,
- IX - Corredores de Atividades Diversificadas - CAD.

Art. 35º - As Áreas de Preservação Permanente - APP's ao longo dos cursos d'água e as várzeas destes se sobrepõem a inúmeras zonas e devem ser respeitadas conforme Código Florestal de 1965 e suas atualizações e normatizações e demais leis e normas ambientais, independentemente dos parâmetros de uso e ocupação do solo especificado para a Zona em que se encontra. Os limites destas áreas encontram-se representados nos Anexos de I, II, III, IV e V.

Art. 36º - Deve ser elaborado projeto de recuperação e/ou compensação - PRC, a ser aprovado no prazo máximo de 180 dias, para as Áreas de Preservação Permanente que foram descaracterizadas pela urbanização, classificadas como APP - PRC, conforme anexos I, II, III, IV e V.

Com a sobreposição das normas e do zoneamento foi possível estabelecer as áreas de proteção ambiental utilizando a ferramenta *Buffer* do *ArcGIS*, e as áreas que apresentam problemas geomorfológicos urbanos. Verificou-se em campo a situação atual dessas áreas, identificadas por fotografias.

4. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E O PROCESSO DE OCUPAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A cidade de Rio Claro, assim como a maioria das cidades médias do interior do estado de São Paulo, a partir da década de 1970 passou por um grande crescimento populacional em função da migração (Gráfico 1). Em 1970, a população do município era de 78.040 habitantes, e em 2016 aponta-se uma população estimada em 201.473 habitantes (IBGE, 2017), ou seja, o contingente populacional mais que duplicou neste período de quase 60 anos, e atingiu uma taxa de urbanização de 97,57% (IBGE, 2010).

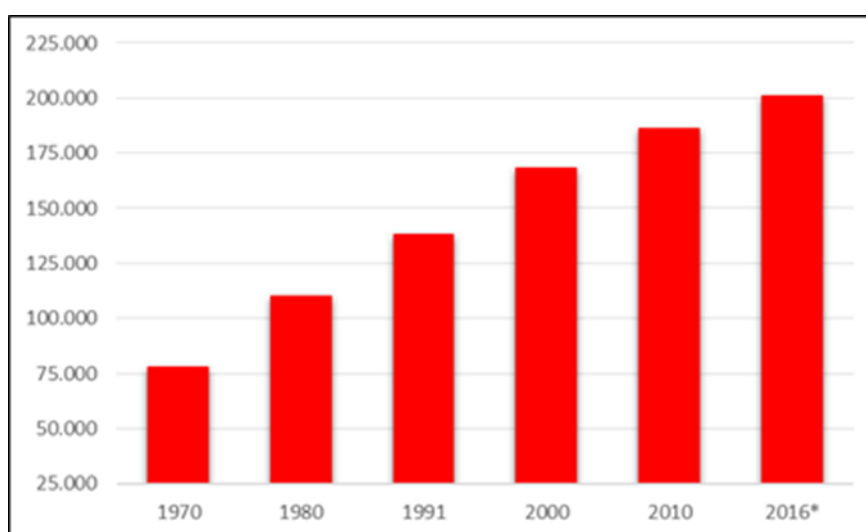


Gráfico 1 - Crescimento populacional do município de Rio Claro (SP). Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017. (*) Estimativa.

Com o aumento populacional, a cidade que no passado ocupava o topo do interflúvio entre o ribeirão Claro e o rio Corumbataí, cresceu na direção dos vales dessas drenagens, situados respectivamente nas bordas urbanas leste e oeste. O impulso imobiliário registrado nesse período, em função do crescimento demográfico, desencadeou diversos problemas urbanos-ambientais, oriundos da ausência de planejamento urbano e em função das características físicas do relevo. Alguns loteamentos até hoje se encontram em situação precária, sem infraestrutura adequada e até mesmo sem a devida regularização das propriedades.

O setor oeste da cidade de Rio Claro ocupa as vertentes e o fundo de vale do rio Corumbataí, caracterizado por intensa dinâmica fluvial e também por apresentar risco de assoreamento e processos erosivos (CUNHA, et. al. 2009; ZAINE, 2000). Além disso, trata-se do setor urbano que apresenta o maior potencial para a expansão da cidade, pois os demais

setores apresentam limitações: no setor norte encontra-se o Distrito Industrial do município e a Área de Preservação Ambiental Corumbataí (APA Corumbataí), o setor sul da cidade está conurbado com a cidade de Santa Gertrudes e o setor leste tem como limite a Floresta Estadual “Edmundo Navarro de Andrade”.

Diante dessas questões, a área de estudo (Figura 4) foi delimitada com base na Unidade de Planejamento Regional 5 - Corumbataí, expressa na Lei Municipal nº 3.806/2007 (Plano Diretor do município de Rio Claro), e possui aproximadamente 17,56 Km². O acesso pode ser realizado pelas rodovias Washington Luís (SP-310) e Fausto Santo Mauro (SP-127).

O sítio urbano de Rio Claro está assentado na Depressão Periférica Paulista, na Zona do Médio Tietê, situada na borda leste da Bacia Sedimentar do Paraná, sobre a Placa Sul-americana. A Depressão Periférica Paulista é caracterizada como uma área rebaixada, na qual atuam processos de desnudação marginal, situada entre o *front* das *cuestas* arenítico-basáltico e o rebordo do Planalto Atlântico (AB’SABER, 1969).

A desnudação marginal da Bacia Sedimentar do Paraná esboçou aos poucos uma vasta depressão periférica sendo que o *front* cuestiforme evoluía deslocando-se para o interior, constituindo as escarpas arenítico-basálticas, através do processo de circundesnudação pós-cretácea (AB’SABER, 1949).

Além disso, o contexto geológico regional é complexo. Segundo Penteado (1976) os estudos de tectônica regional comprovam a existência de sistemas de falhamentos poligonais que influenciam nos processos morfodinâmicos por reativação de antigas falhas.

Segundo Ross (2008), a Depressão Periférica apresenta modelado diverso em função da influência da ação tectônica, da variação litológica e dos diversos períodos de atuação paleoclimática. Penteado (1976) destaca que esta unidade geomorfológica foi submetida a oscilações climáticas, as quais vão de períodos quentes e úmidos, a períodos mais frios e secos. Esta tese de alternância climática é embasada pelas formas do relevo atual e pelas diferenças granulométricas dos sedimentos coluviais e fluviais, os quais foram depositados em distintos períodos de tempo e condições climáticas.

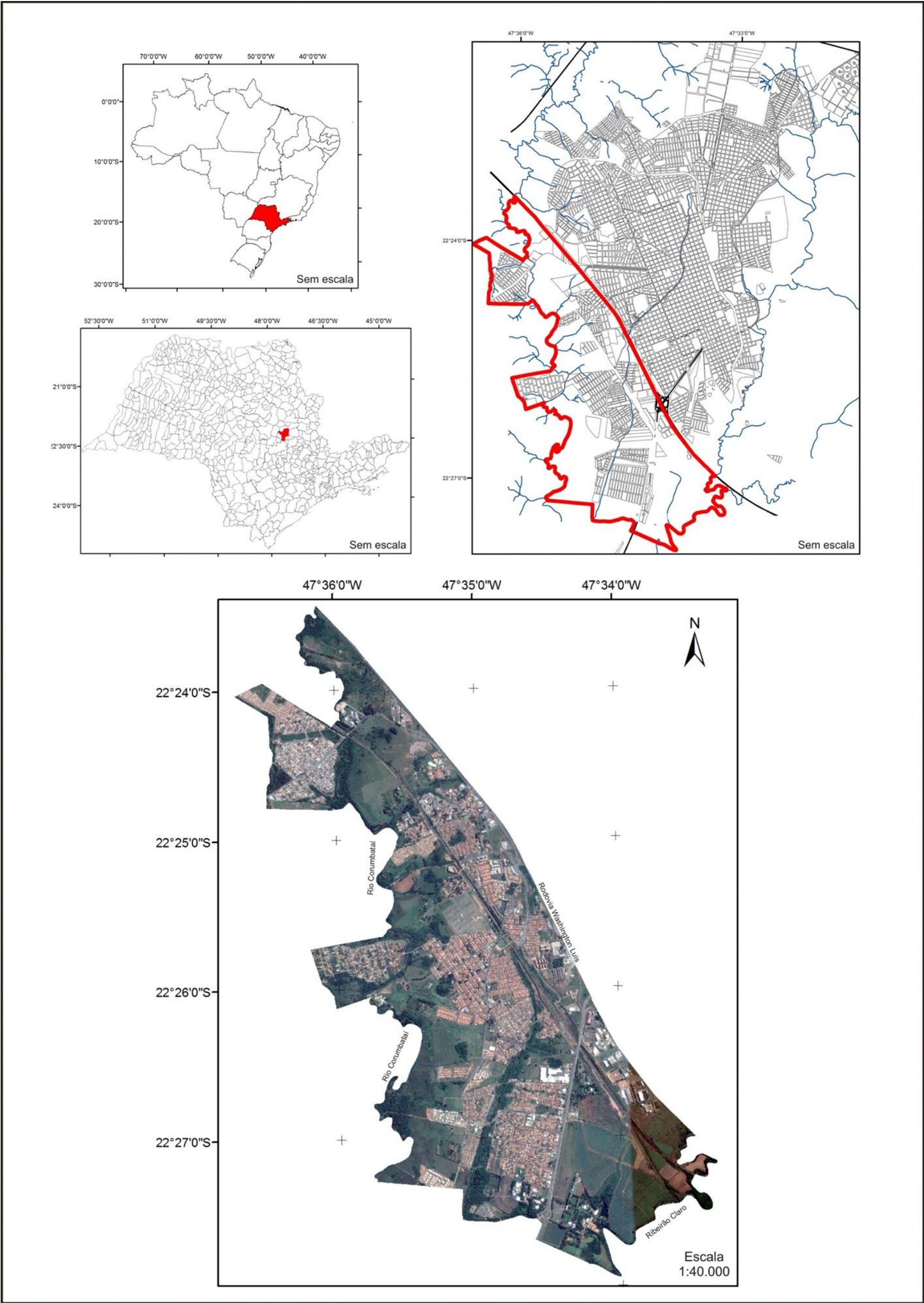


Figura 4 - Localização do setor oeste da cidade de Rio Claro. Fonte: Planta Cadastral do Município de Rio Claro (SEPLADEMA). Fonte da imagem: Google Earth Pro. Elaborado pelo autor.

O relevo atual da Depressão Periférica na Zona do Médio Tietê é caracterizado por colinas tabuliformes que evoluem na forma de patamares escalonados, dispostos entre 550 e 650 metros, e vertentes suavemente convexas, com patamares que possuem fraca inclinação.

O setor oeste da cidade de Rio Claro apresenta uma variação altimétrica entre 530 e 615 metros, situado no interflúvio entre o rio Corumbataí e o ribeirão Claro, e cortado pelo Córrego da Servidão, sendo que os patamares mais elevados, quase retilíneos, lembram formas oriundas de processos de pedimentação, que teriam atuado posteriormente à esculturação das colinas (PENTEADO - ORELLANA, 1981).

As áreas das bordas deste interflúvio são caracterizadas como colinas suavemente convexas, desdobradas em patamares escalonados que vão até a várzea dos rios. Nos fundos dos vales ocorrem depósitos móveis, identificados como antigos assoalhos aluviais, e a planície fluvial atual (CUNHA et. al. 2009; PENTEADO ORELLANA, 1981).

O relevo é sustentado por litologias compostas por rochas sedimentares e magmáticas (Figura 5) das eras cenozoica (Formação Rio Claro), mesozoica (Formação Serra Geral) e paleozoica (Formação Corumbataí).

Os sedimentos da Formação Rio Claro são predominantemente arenosos, esbranquiçados, amarelados e róseos, mal consolidados. Esta formação ocorre em manchas nos topos dos divisores de águas, estando as maiores onde se assenta a cidade de Rio Claro. Os depósitos da Formação Rio Claro são arenosos e de fraca litificação, e favorecem os processos pedogenéticos, com grande influência climática nesta evolução (PENTEADO, 1976; PENTEADO - ORELLANA, 1981; ZAINE, 1994).

A Formação Serra Geral, caracterizada por rochas magmáticas intrusivas, associadas ao evento de vulcanismo da Bacia Sedimentar do Paraná, é constituída por diques e soleiras (*sills*) de diabásio, e possui coloração cinza a preto. Na área de estudo, essa litologia localiza-se ao sul, nas baixas vertentes que drenam para o Ribeirão Claro (ZAINE, 1994).

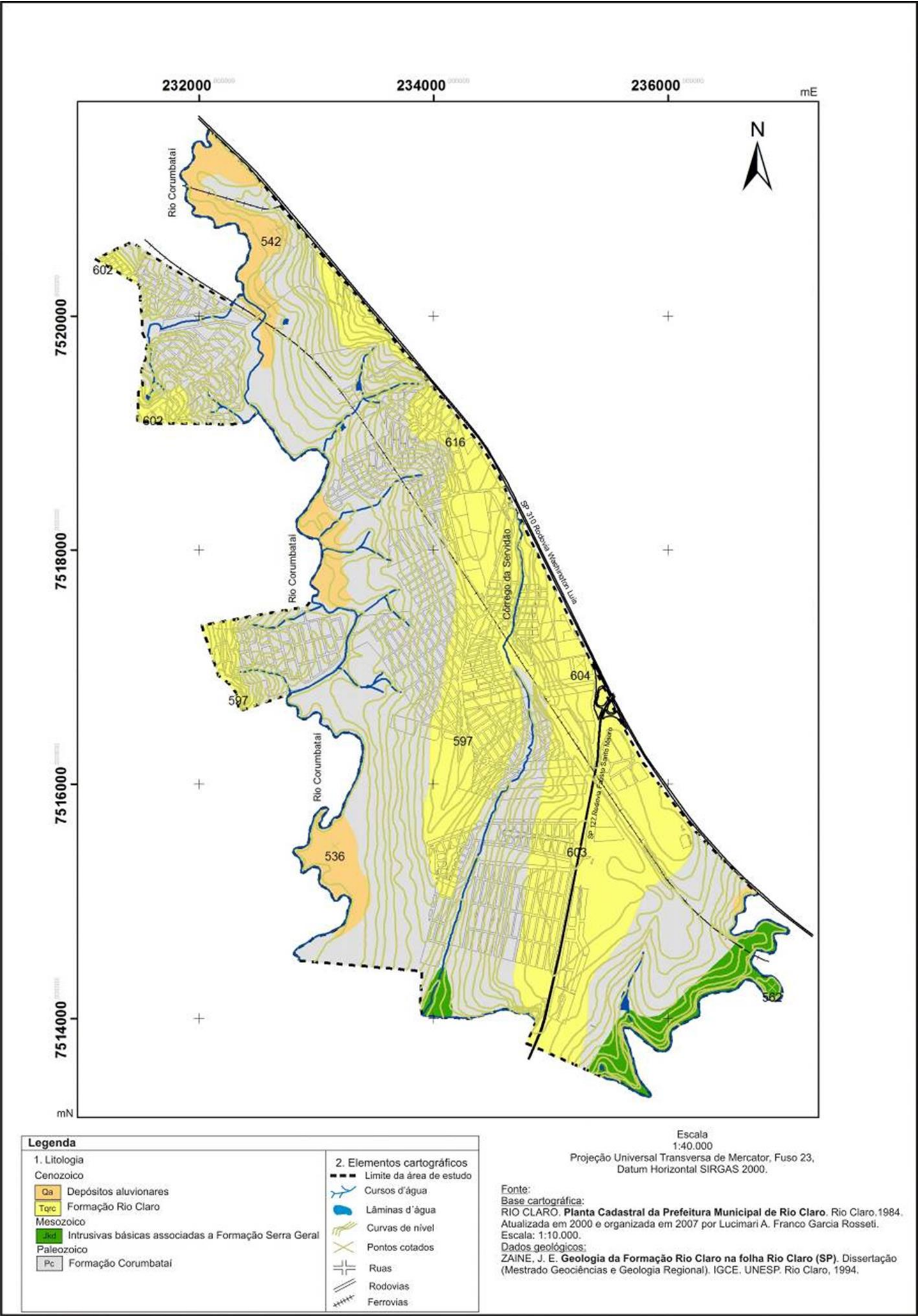


Figura 5 - Litologias do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP). Fonte: Zaine, 1994. Organizado pelo autor.

Os depósitos sedimentares da Formação Corumbataí são compostos por argilitos, siltitos e folhelhos arroxeados e marrom-avermelhados, às vezes esverdeados, com intercalações de arenitos e leitos carbonáticos. Tais depósitos situam-se em média e baixa vertente em direção ao vale do rio Corumbataí. A argila presente nessa formação é muito explorada no município pela atividade de mineração para fabricação de cerâmica vermelha (PENTEADO, 1976; PENTEADO - ORELLANA, 1981; ZAINE, 1994).

A região-tipo da Formação Corumbataí é a bacia hidrográfica do rio Corumbataí, na qual a área de estudo se localiza. Na área de estudo, essa formação apresenta textura argilosa, com cores vermelhas e arroxeadas nas partes médias e superiores dos afloramentos e estratificação plano-paralela.

Devido à variação granulométrica entre a Formação Rio Claro (no topo do interflúvio), que apresenta uma textura que varia entre arenosa e argilo-arenosa, e a Formação Corumbataí (média e baixa vertente), cuja textura é argilosa, as áreas de contato entre essas litologias são suscetíveis aos processos erosivos.

O estudo de Penteado (1981, p.31) sobre o sítio urbano de Rio Claro já apontava que a “erosão acelerada ou erosão antrópica é o aspecto mais característico da paisagem”. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1989, apud ZAINE, 2000), também identificou e cadastrou erosões na área urbana e considerou o município como setor crítico a processos erosivos.

Ao considerar que a variação granulométrica possui influência nos processos erosivos, faz-se necessário associar essas às características climáticas regionais e aos tipos de materiais inconsolidados presentes na área de estudo.

A região de Rio Claro apresenta condições climáticas caracterizadas pela ocorrência de duas estações bem definidas, verão e primavera quente e chuvoso e o inverno e outono com temperatura mais baixa e seca, devido a atuação das massas de ar Tropical Atlântica, Tropical Continental e Polar Atlântica, com participação da massa Equatorial Continental, principalmente no verão (MONTEIRO, 1973).

O fator climático é relevante pois a água das chuvas que escoar sobre a superfície pavimentada, de forma mais concentrada no verão, tem sua energia cinética potencializada, sendo seu potencial erosivo maior, atuando em materiais inconsolidados que apresentam uma fragilidade natural acentuada devido suas características.

Os materiais inconsolidados estão associados à litologia de origem e compreendem o material do topo da rocha até a superfície. Na área de estudo, com base no levantamento de Zaine (2000), verificou-se a presença dos seguintes materiais inconsolidados (Apêndice E): Material residual vermelho-amarelo escuro derivado da Formação Rio Claro, localizado nos

topos planos da área de estudo com declividade $< 5\%$. Possuem espessuras de até 10 metros, com nível de água subterrânea profundo, entre $> 10\text{m}$ até 25m .

A suscetibilidade desse material se refere aos registros de abatimento associados a vazamento de tubulações enterradas, que podem ser atribuídos a um comportamento de fácil desagregação, devido à baixa coesão deste material e, também, de alagamentos associados a baixa declividade, por consequente escoamento lento das águas pluviais.

- Material coluvionar arenoso, derivado dos materiais transportados dos topos e localizados nas médias vertentes em terrenos constituídos pela Formação Rio Claro; caracteriza-se pela suscetibilidade à erosão linear, sobretudo em cabeceiras de drenagens com declividades acentuadas.

- Material argiloso marrom arroxeadado, localizado nas médias e altas vertentes, derivado da Formação Corumbataí; é caracterizado, de acordo com Zaine (2000), por pouca profundidade do nível da água subterrânea e material de comportamento plástico, pouco adequado para aterros.

- Material coluvionar argiloso, derivado da Formação Serra Geral, é pouco susceptível aos processos erosivos, porém a escavação pode ser difícil devido a blocos de rocha sã, encontrados junto ao material inconsolidado. A ocorrência deste material se dá nas vertentes do Ribeirão Claro.

- Material de característica coluvionar hidromórfico, derivado de material transportado pela ação das águas correntes, localizado nos fundos de vales em áreas planas, com alternância de argilas e areias. Possuem espessura estimada entre 3 e 5 metros e profundidade do nível da água subterrânea com menos de 2 metros, estando em áreas sujeitas a cheias periódicas.

- Material areno-argiloso derivado da ação das águas correntes, localizados em trechos dos fundos dos vales, caracteriza-se por material com plasticidade elevada e com baixa capacidade de suporte.

A caracterização dos elementos físicos da área estudada, evidencia a necessidade de se compreender como essas características do relevo suportam a urbanização, por se tratar de um setor urbano em expansão.

5. RESULTADOS

Os sítios urbanos possuem sistemas naturais que, em maior ou menor grau, foram alterados quando sobre esses se fizeram os assentamentos urbanos. A paisagem e os processos naturais do setor oeste da cidade de Rio Claro foram alterados pela ação antrópica, que criou feições antropogênicas no relevo e, conseqüentemente, modificou a dinâmica dos processos atuantes sobre esse sistema.

Para identificar como as características geomorfológicas do setor oeste da cidade de Rio Claro suporta as transformações provocadas pelo uso urbano, será apresentada, inicialmente, a análise das cartas com parâmetros morfométricos que integram a carta de energia do relevo. Em seguida a carta de energia do relevo em conjunto com as cartas de materiais inconsolidados e as cartas geomorfológicas, as quais foram analisadas para avaliar a fragilidade do meio físico da área de estudo. Além disso, a análise das cartas geomorfológicas subsidiou grande parte do diagnóstico das principais alterações na morfodinâmica da área de estudo e os efeitos da urbanização, em conjunto com as fotografias de campo.

Na sequência, a carta de fragilidade do meio físico será avaliada em conjunto com a carta de uso da terra. Essas duas cartas integram a carta de fragilidade ambiental, a qual aponta as fragilidades produzidas pelos diferentes usos, em especial o uso urbano. Para aprofundar a análise a respeito do uso urbano e da fragilidade do relevo, foram analisadas as cartas de fragilidade ambiental associada aos padrões urbanos e a carta de transgressões legais e derivações ambientais.

Assim, inicia-se a partir da avaliação da declividade, a qual se configura como um dos principais parâmetros adotados na área de planejamento urbano e ambiental, pois influencia diretamente na forma de ocupação dos assentamentos urbanos que dependem de infraestruturas urbanas adequadas a variação do relevo. Os fundos de vale e topos planos, por exemplo, sofrem com o acúmulo de água devido à sua baixa circulação em razão da baixa declividade. Já as vertentes, com média ou grande declividade, são submetidas à execução de obras de cortes e aterros para acomodar os lotes e as vias de acesso.

O relevo da área de estudo caracteriza-se por colinas amplas com feições tabuliformes que possuem inclinação suave nos topos (sobre a Formação Rio Claro), e vertentes com patamares desdobrados (sobre a Formação Corumbataí), modeladas pelas condições paleoclimáticas que atuaram sobre a Depressão Periférica Paulista (PENTEADO – ORELLANA, 1981).

Os topos e os fundos de vale do Rio Corumbataí, do Ribeirão Claro e do Córrego da Servidão apresentam declividade inferior a 2% (Apêndice A). Esses declives mais baixos encontram-se também nas colinas mais alongadas ocupadas pelos bairros Jardim Novo I e II e cortadas pelas rodovias Fausto Santo Mauro e Washington Luís e no divisor de águas entre o rio Corumbataí e o córrego da Servidão, onde se assentam os bairros Jardim Guanabara, Jardim Esmeralda, Jardim Brasília, Jardim Palmeiras, Jardim Paulista e Vila Anhanguera. São áreas onde o escoamento das águas pluviais é dificultado em função da baixa declividade, propiciando o acúmulo de água nas vias impermeabilizadas, devido a uma rede de drenagem pluvial deficitária.

A rede de drenagem pluvial também é influenciada diretamente pela declividade, pois entre 2% e 6% são considerados os declives ideais para instalação dessas infraestruturas (MASCARÓ, 2005). Os declives menores em geral criam problemas de sedimentação por baixa velocidade nas tubulações; por outro lado, declives maiores que 6% aumentam a velocidade da água, e podem ocasionar erosão no interior das tubulações.

O fundo de vale do rio Corumbataí, em alguns trechos com declividade $< 2\%$ é ocupado pelos bairros Jardim Nova Rio Claro, Bom Sucesso e Novo Wenzel, situados na margem direita. Estes bairros estão sobre a planície fluvial do rio Corumbataí ou muito próximos a essa, ficando sujeitos à enchente periódica durante o verão (estação chuvosa). Outros bairros como o Jardim Maria Cristina e Jardim Palmeiras estão sobre o terraço fluvial desse rio, sujeitos à enchente excepcional.

A classe de declividade $< 2\%$ ocupa 17,68% da área de estudo (Gráfico 2) e está presente também em outras áreas de fundo de vale não urbanizadas, como ocorre ao norte, ao sudoeste da área de estudo, respectivamente próximo onde a rodovia Washington Luís corta o rio Corumbataí e em um trecho onde o rio Corumbataí possui vários meandros.

Nas áreas de alta vertente e cabeceiras de drenagem predominam declividades entre 2 a 5%. Destacam-se as áreas urbanizadas de alta vertente entre a rodovia Washington Luís e o bairro Residencial dos Bosques, entre os bairros Jardim Brasília, Jardim Esmeralda e Jardim Guanabara I e II, e entre as áreas de chácaras do Residencial Campestre Vila Rica e Recanto São Carlos.

As áreas de cabeceiras de drenagens situadas na média vertente são afetadas cada vez mais pela pressão da urbanização, principalmente aquelas situadas entre os bairros Diário Ville e Jardim Palmeiras e entre o Jardim Palmeiras e o Jardim Esmeralda. Essas possuem muitas nascentes de afluentes tributários do rio Corumbataí e muitas vezes recebem as águas do sistema pluvial desses bairros, o que acelera processos de erosão em cabeceiras.

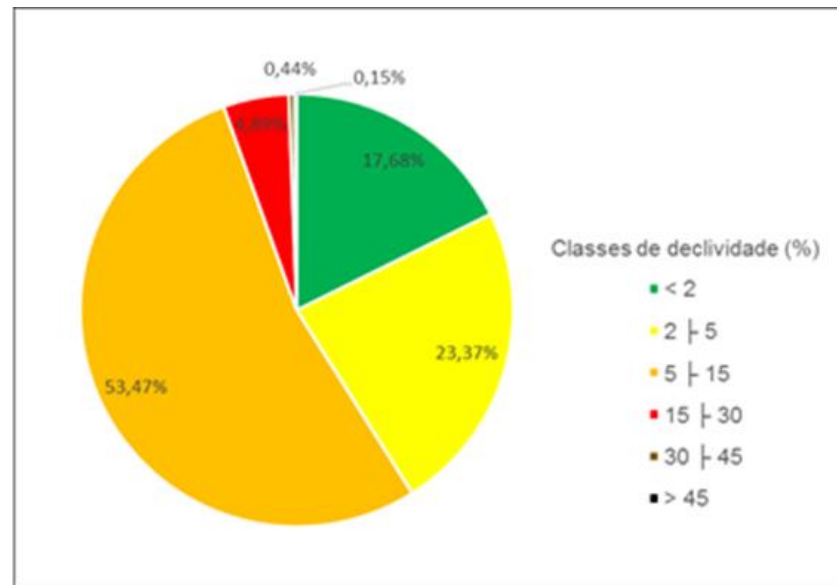


Gráfico 2 - Porcentagem das classes de declividade em relação à área total. Fonte: Carta de declividade do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP). Elaborado pelo autor.

Em um trecho do fundo de vale do córrego da Servidão, onde este é cortado pela ferrovia e a declividade varia entre 2 a 5%, foram realizadas algumas obras de drenagem urbana e retificação do canal como medida de redução de enchentes.

Os setores de média vertente das colinas tabuliformes apresentam declividade entre 5 e 15%. Convém ressaltar que 15% constitui-se no limite para construção de áreas de uso institucional de acordo com Lei Municipal nº3.806/2007 (Plano Diretor). Esta classe representa especialmente um pouco mais da metade da área de estudo (53,47% em relação à área total).

Apesar dessa classe de declividade somente apresentar restrição com relação ao uso institucional, é importante considerar que o aumento da declividade proporciona maior velocidade ao escoamento superficial das águas pluviais, o qual, quando associado ao material inconsolidado arenoso derivado da Formação Rio Claro, suscetível à erosão linear, provoca a retirada do pavimento asfáltico.

Além disso, há de se considerar os efeitos sobre os fundos de vale e as cabeceiras de drenagem, para onde a água das chuvas escoar superficialmente ou por galerias. O caso mais significativo vincula-se as vertentes que drenam para o Córrego da Servidão, com declividade entre 5 e 15%, o qual apresenta histórico de enchentes.

Algumas áreas de alta vertente nos bairros Jardim Nova Rio Claro, Bom Sucesso e Novo Wenzel e nas cabeceiras de drenagens próximas ao Jardim Centenário e entre o Residencial Benjamin de Castro e o Residencial dos Bosques, apresentam declividade entre 15 a 30%. O valor de 30% constitui-se no limite máximo para urbanização sem restrições, de acordo com a

Lei Federal nº 6.766/1979 (Lei Lehmann); além do mais, segundo a Lei Municipal nº 3806/2007 (Plano Diretor Municipal), a urbanização em declives entre 15 e 30% somente é permitida com ressalvas com relação ao traçado urbano, o qual deve seguir as curvas de nível com arruamentos descontínuos.

Nos bairros Bom Sucesso e Novo Wenzel e na cabeceira de drenagem entre o Residencial Benjamin de Castro e o Residencial dos Bosques, o traçado urbano é perpendicular às curvas de nível, desrespeitando a legislação municipal e agravando o problema de drenagem para o fundo de vale. Somente no Jardim Nova Rio Claro o traçado das ruas é descontínuo, porém quase todas as ruas desse bairro não possuem pavimentação, o que provoca o aparecimento frequente de sulcos erosivos na época de chuvas, dificultando o tráfego de veículos e pedestres. Ainda, no bairro Residencial Jardim dos Bosques, em função da declividade acentuada em alguns setores, registram-se cortes com altura excessiva, expondo o material coluvionar arenoso derivado da Formação Rio Claro. Nesse caso foi necessário a construção de muros de arrimo para estabilizar a vertente (Figura 6). A solução proposta por Mascaró (2005) para se evitar este tipo de situação é posicionar os lotes em degraus, acompanhando o declive da vertente, com cortes e aterros menores.



Figura 6 - Corte com altura excessiva no Residencial Jardim dos Bosques. Acervo pessoal. Foto de maio/2016.

Em algumas áreas de alta vertente, registram-se declividades superiores a 30% como ocorre nos bairros Jardim Nova Rio Claro, Bom Sucesso e Novo Wenzel e também próximo ao Recanto São Carlos, do outro lado da rodovia Fausto Santo Mauro e nas baixas vertentes que

drenam para o Ribeirão Claro. Do ponto de vista espacial, as classes de declividade superiores a 30%, apresentam pouca expressão na área de estudo (0,59% em relação a área total).

Outro parâmetro morfométrico de suma importância para avaliar as características do relevo e que pode auxiliar no planejamento urbano e ambiental constitui-se na energia do relevo (Apêndice D). A sobreposição dos dados morfométricos das cartas de declividade, de dissecação horizontal (Apêndice B) e dissecação vertical (Apêndice C), propiciam a identificação de áreas potencialmente suscetíveis ao desencadeamento de processos denudativos. Assim, tal mapeamento pode subsidiar a interpretação da fragilidade do meio físico, quando associado aos dados de materiais inconsolidados e as feições morfológicas.

A dissecação horizontal e a dissecação vertical são influenciadas pela ação fluvial de três drenagens principais que atravessam a área de estudo. O rio Corumbataí, principal curso fluvial da bacia hidrográfica onde se assenta o sítio urbano de Rio Claro, e seus afluentes, o ribeirão Claro e o córrego da Servidão.

O rio Corumbataí recebe as águas de vários pequenos canais de primeira e segunda ordem circunscritos na área de estudo. Desse modo, suas vertentes apresentam maior dissecação horizontal (Apêndice B), principalmente na margem esquerda (entre <10m e 10 | 20m) na confluência dos canais fluviais de primeira e segunda ordem, e entre as drenagens tributárias com o rio Corumbataí.

Os pequenos canais mencionados situam-se em anfiteatros de cabeceiras de drenagem entre os bairros Jardim Esmeralda, Jardim Palmeiras e Diário Ville, e próximos ao Jardim Nova Veneza, Jardim Centenário, Jardim Bom Sucesso e Novo Wenzel. A energia do relevo nessas cabeceiras de drenagem varia entre classes média, medianamente forte e forte, em função da declividade (de 5 a 30%) e da dissecação horizontal acentuada. Este fato demanda maior atenção com relação à ocupação urbana de entorno dessas cabeceiras de drenagem, devido ao maior potencial denutativo dessas áreas, suscetíveis a erosão e assoreamento.

No fundo de vale do rio Corumbataí, onde o rio é cortado pela “Estrada Velha para Ipeúna” que dá acesso aos bairros Jardim Bom Sucesso e Novo Wenzel, a dissecação horizontal influencia diretamente a energia do relevo. Nessa área, a energia do relevo forte combina-se com o aterro da ferrovia e o desvio de canal fluvial tributário do rio Corumbataí, gerando vários episódios de enchentes.

Outra situação semelhante que ocorre no fundo de vale do rio Corumbataí é o caso do bairro Jardim Nova Rio Claro. Neste setor de fundo de vale, a forte dissecação horizontal nas confluências dos canais de primeira ordem com o rio Corumbataí, indica o potencial da ação erosiva exercida pelas drenagens sobre o relevo, criando condições para a remobilização de

materiais transportados pela dinâmica dos rios. As confluências com o canal principal contribuem com maior volume de água, o que pode potencializar as enchentes, comuns nos meses de chuvas.

Já as classes de menor intensidade de dissecação horizontal (de 160m a > 640 m) predominam na área de estudo (Gráfico 3). Esta situação articula-se as características morfológicas das colinas amplas, com topos planos e vertentes longas.

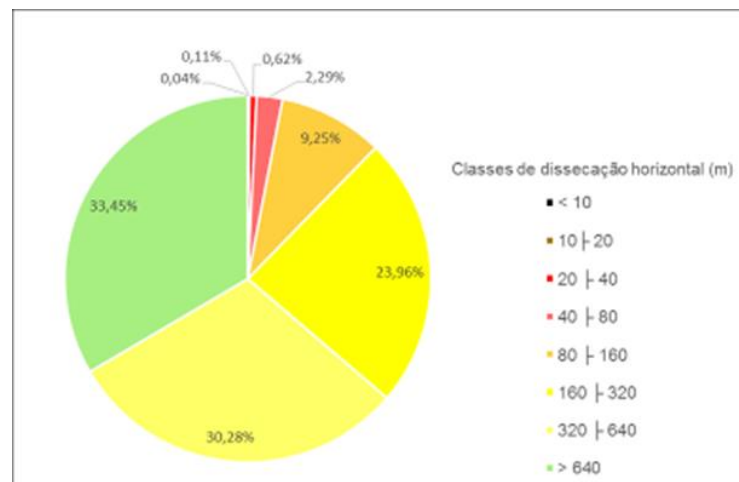


Gráfico 3 - Porcentagem das classes de dissecação horizontal em relação à área total. Fonte: Carta de dissecação horizontal do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP). Elaborado pelo autor.

A variação altimétrica das vertentes ao longo do rio Corumbataí, ocorre com intensidade significativa dos dois lados de sua margem, atingindo um desnível >60m. Contudo, as classes de dissecação vertical de maior intensidade, > 40 m, ocupam uma área menor em relação à área das classes de menor intensidade (Gráfico 4).

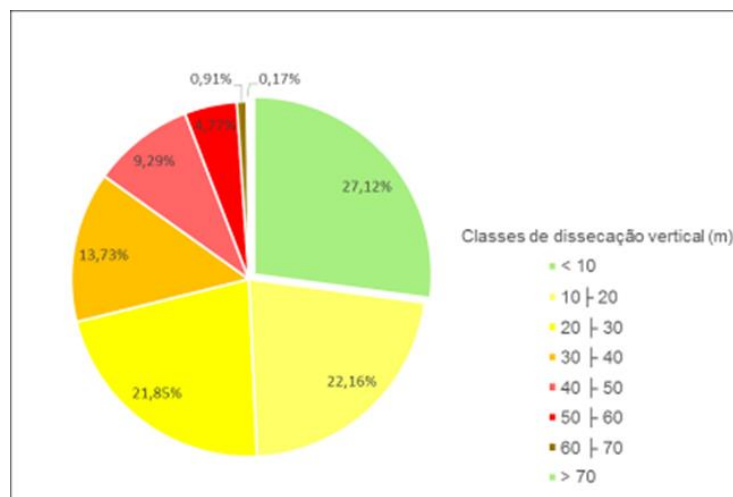


Gráfico 4 - Porcentagem das classes de dissecação vertical em relação a área total. Fonte: Carta de dissecação vertical do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP). Elaborado pelo autor.

Esta situação de maior dissecação vertical ocorre nos setores onde existem longas vertentes com topos aplainados, sendo a atuação da gravidade sobre o escoamento pluvial superficial maior nessas situações. A maior variação altimétrica dá origem a classe energia do relevo medianamente forte nas altas vertentes ocupadas pelos bairros Jardim Esmeralda, Jardim Paulista e Jardim Centenário.

Por outro lado, nota-se na área de estudo a predominância das classes de menor intensidade de dissecação vertical, <10m e 10 – 20m, situadas principalmente no fundo de vale do rio Corumbataí e em seu terraço fluvial, sujeito a inundações excepcionais.

As vertentes do ribeirão Claro são pouco dissecadas e possuem variação altimétrica predominantemente inferior a 40m (Apêndice C). Somente na confluência da drenagem principal com seus tributários a ação fluvial erosiva é maior (Apêndice B). O desnível altimétrico é superior a 40m apenas na vertente ocupada pelo bairro de chácaras Recanto São Carlos, onde a energia do relevo apresenta-se medianamente forte (Apêndice D).

O córrego da Servidão apresenta vertentes pouco dissecadas ao longo de seu curso, com exceção do trecho ao sul, onde há a confluência com um canal de primeira ordem. O desnível altimétrico é maior na vertente da margem esquerda, (>60m,) ocupada pelos bairros Jardim Novo I e II. Já a vertente da margem direita possui um desnível altimétrico menor (>30m).

Na vertente ocupada pelos bairros Jardim Novo I e II, o maior desnível altimétrico influencia diretamente na energia do relevo (medianamente forte), sendo que a ocupação urbana pode gerar episódios de intenso escoamento superficial em função da impermeabilização do solo e dos arruamentos. Ainda, pode potencializar os processos erosivos nas áreas peri-urbanas devido ao forte poder abrasivo adquirido pela água quando escoar até a baixa vertente.

Observou-se que a classe de energia do relevo média é predominante, 55,5% em relação à área total (Gráfico 5). Esta classe de energia associada à susceptibilidade dos materiais inconsolidados aponta significativa potencialidade para o desenvolvimento de processos erosivos.

A urbanização das áreas que apresentam classes de energia com intensidade acima de média, também pode ser considerada um fator de alerta, pois nessas condições, existe a potencialização do escoamento superficial para as drenagens urbanas e para áreas periurbanas. Isto provoca um menor tempo de descarga nas drenagens e aumenta o volume da vazão.

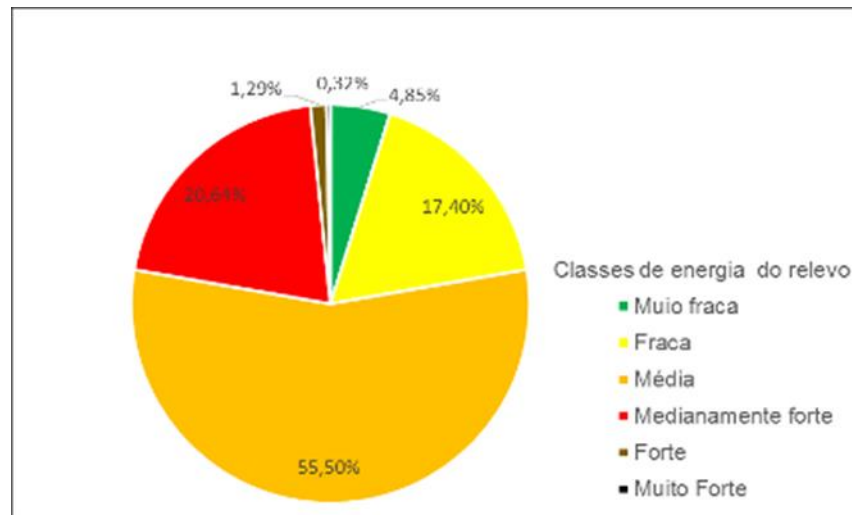


Gráfico 5 - Porcentagem das classes de energia em relação a área total. Fonte: Carta de energia do relevo do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP). Elaborado pelo autor.

As características dos materiais derivados do embasamento litológico apresentadas na carta de materiais inconsolidados (Apêndice E), indicam suscetibilidade a processos gravitacionais e hidrodinâmicos. A partir da interpretação da distribuição espacial dos materiais de superfície associada à energia do relevo, foi possível compreender as características físicas do relevo da área de estudo e a fragilidade do meio físico (Apêndice H).

Nos topos planos da vertente ocupada pelos bairros Jardim Novo I e II, cortado pelas rodovias Fausto Santo Mauro e Washington Luís, e o divisor de águas entre o rio Corumbataí e o córrego da Servidão, onde se assentam os bairros Jardim Guanabara I e II, Jardim Esmeralda, Jardim Brasília I e II, Jardim Palmeiras, Jardim Paulista e Vila Anhanguera, observa-se energia do relevo entre fraca e medianamente forte, e a presença do material residual vermelho-amarelo escuro, derivado da Formação Rio Claro. Este material inconsolidado ocupa 20,90% da área de estudo (Gráfico 6), sendo o segundo mais frequente.

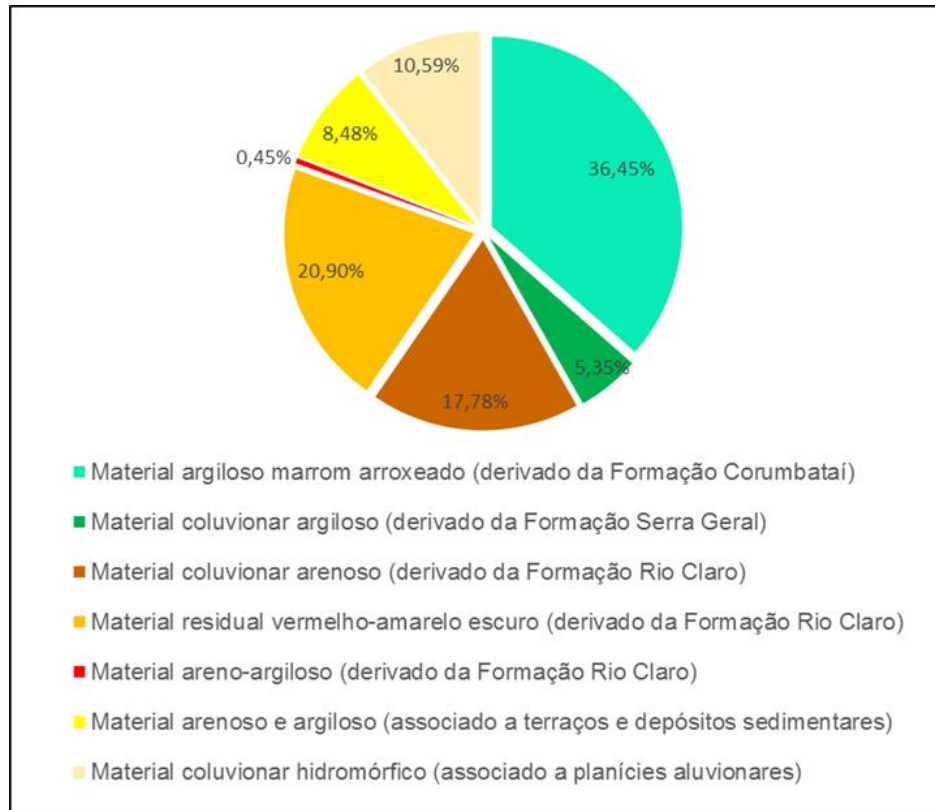


Gráfico 6 - Porcentagem dos materiais inconsolidados em relação à área total. Fonte: Carta de materiais inconsolidados do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP). Elaborado pelo autor.

A fragilidade do meio físico (Apêndice H) para estes topos foi caracterizada entre muito fraca a fraca, em função das características do relevo e do material inconsolidado, pouco susceptível a processos geomorfológicos por sua posição no terreno. A esse material foi atribuído baixo peso de fragilidade no modelo de interpretação proposto para esta pesquisa; por isso, em algumas situações onde a energia do relevo é medianamente forte, se não foi registrada a presença de feições erosivas, a fragilidade é considerada fraca.

Por outro lado, a suscetibilidade desses terrenos relaciona-se à abatimentos associados a vazamento de tubulações enterradas, que podem ser atribuídos a um comportamento de fácil desagregação devido à baixa coesão deste material. Isso pode ocorrer principalmente em áreas onde a energia do relevo é potencializada pelo maior desnível altimétrico, como ocorre entre os bairros Vila Anhanguera e Residencial dos Bosques.

Ainda, este material está associado a alagamentos pois ocorre em setores de baixa declividade, o que provoca escoamento lento das águas pluviais, propiciando seu acúmulo em áreas rebaixadas. Desse modo, é importante ressaltar a importância da atuação do poder público municipal para a elaboração de um plano de drenagem urbana eficiente nessas áreas de topos aplainados.

O material coluvionar arenoso, derivado dos materiais transportados dos topos constituídos pela Formação Rio Claro, presente em 17,78% da área de estudo (Gráfico 5), situado nas médias vertentes com energia do relevo variando entre média e medianamente forte, apresenta fragilidade do meio físico predominantemente média. Porém, foram identificadas feições erosivas tanto em áreas urbanizadas como em áreas de uso rural, o que comprova a suscetibilidade desse material a erosão linear. Nessas situações, a fragilidade do meio físico passa para forte e muito forte, como ocorre em algumas cabeceiras de drenagem.

Nas médias e baixas vertentes tem-se a presença do material argiloso marrom arroxeadado, o qual ocupa 36,45% da área de estudo (Gráfico 6), sendo o material mais frequente. Possui comportamento plástico, pouco adequado para aterros, e apresenta-se em trechos de vertente de energia do relevo entre média e medianamente forte, registrando fragilidade do meio físico média. Entretanto, quando associados às formas erosivas, vinculadas aos processos morfodinâmicos, a fragilidade caracteriza-se, em algumas áreas de baixa vertente, como forte.

O material coluvionar argiloso derivado da Formação Serra Geral, se apresenta nas vertentes do ribeirão Claro. Esse material é pouco susceptível aos processos erosivos, porém a escavação pode ser difícil devido a blocos de rocha sã encontrados junto ao material inconsolidado.

Apesar desse material ser caracterizado como pouco susceptível aos processos erosivos, foram identificados alguns sulcos erosivos em função do uso da terra, o que intensifica a fragilidade do meio físico para forte nas vertentes do ribeirão Claro, próximas à rodovia Washington Luís.

Nos fundos de vales com terraço fluvial, devido à dinâmica fluvial erosiva, ao pequeno desnível altimétrico e à presença de material arenoso e argiloso de cores cinza claro a escuro, cerca de 10 a 15 m acima do nível atual do rio Corumbataí e do ribeirão Claro, a fragilidade do meio físico foi caracterizada como forte. Esses terrenos possuem cobertura derivada de material transportado pela ação das águas correntes, caracterizados por plasticidade elevada e com baixa capacidade de suporte, o que justifica a classe de fragilidade estabelecida.

A planície fluvial do rio Corumbataí e do ribeirão Claro e um pequeno trecho do fundo de vale córrego da Servidão, apresenta material de característica coluvionar hidromórfico, derivado de material transportado pela ação das águas correntes, localizado nos fundos de vales em áreas planas, com alternância de argilas e areias. Estas áreas estão sujeitas a cheias periódicas em função da baixa declividade, do pequeno desnível altimétrico e da dinâmica fluvial. Por estes fatores a fragilidade do meio físico para planície fluvial foi caracterizada como muito forte.

As formas e feições mapeadas nas cartas geomorfológicas, cenários de 1988 e 2010 (Apêndices F e G) permitem avaliar as transformações impostas pelos elementos antrópicos a superfície, e a identificação das características do relevo associadas à fragilidade do meio físico. A tabela 5 apresenta quantitativamente as feições geomorfológicas para os dois cenários.

Tabela 5 - Feições geomorfológicas, cenários de 1988 e 2010.

Formas	Quantidades	
	1988	2010
Sulcos erosivos	59	53
Ravinas	0	5
Voçorocas	3	4
Rupturas topográficas suaves	19,44 Km	10,51 Km
Rupturas topográficas abruptas	10,41 Km	10,40 km
Rupturas topográficas antrópicas	17,32 Km	17,63 Km
Rio Corumbataí	12,85 Km	12,60 Km
Canais fluviais de fundo plano	3,03 Km	6,80 Km
Canais fluviais de fundo em V	16,31 Km	10,86 Km
Canais fluviais retelinizados	0	0,86 Km
Canais fluviais aterrados	0,68 Km	1,02 Km
Canais pluviais	2,13 Km	2,21 Km
Lagoas e represamentos	14.024 m ²	8.310 m ²
Nascentes aterradas	0	2

Fonte: Cartas geomorfológicas – cenários de 1988 e 2010. Elaborado pelo autor.

As feições localizadas denudacionais possuem origem nos processos erosivos, e estão relacionadas às características morfométricas, ao tipo de material inconsolidado e litológico e ao uso da terra.

O setor oeste da cidade de Rio Claro foi apontado em outros estudos (CUNHA, et. al. 2009; ZAINE, 2000) como área de ocorrência de processos erosivos. Esses estudos revelam ainda a necessidade de cuidados com relação à urbanização e drenagem desse setor urbano, devido às características dos atributos físicos.

Os sulcos erosivos têm ocorrência principalmente em média e baixa vertente, onde a energia do relevo potencializa a ação erosiva sobre os materiais inconsolidados; desse modo tem-se uma fragilidade do meio físico entre média e forte. Essas formas erosivas também foram mapeadas com frequência nas áreas peri-urbanas, onde existe uma alteração da cobertura de superfície.

A impermeabilização do solo urbano aumenta o escoamento superficial, e ao mesmo tempo, os arruamentos conduzem a água pluvial para as bordas do urbano, onde a cobertura da superfície possui menor resistência à ação da água, provocando processos erosivos lineares. Nas áreas com maior declividade e arruamentos seguindo o caimento do relevo, a ação da água produz um efeito ainda mais intenso, produzindo uma série de sulcos erosivos. A figura 7 ilustra essa situação.

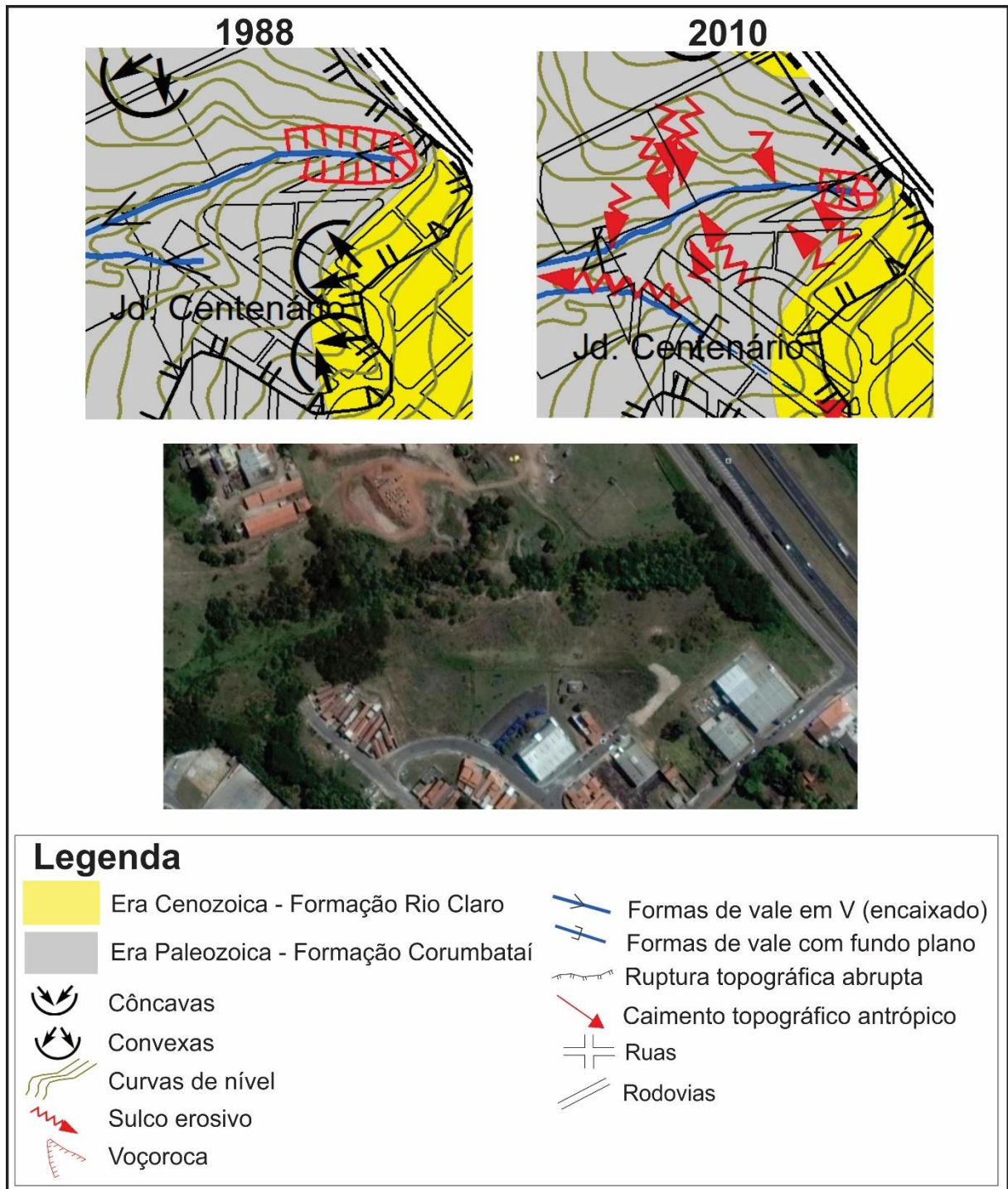


Figura 7 - Sulcos erosivos decorrentes do escoamento superficial urbano. Organizado e elaborado pelo autor.

Os anfiteatros vinculados às cabeceiras de drenagem também são afetados pela ação erosiva nas bordas urbanas, pois os arruamentos seguem em direção a essas áreas mais baixas, sem qualquer diminuição da energia cinética do escoamento superficial das águas. Nessa situação a fragilidade física forte influencia diretamente o desenvolvimento desses processos nessas condições.

A figura 8 mostra essa situação nos bairros Jardim das Palmeiras e Jardim Esmeralda, e a figura 9 o efeito erosivo da ação das águas pluviais urbanas ao atingir um canal fluvial no Jardim Palmeiras.

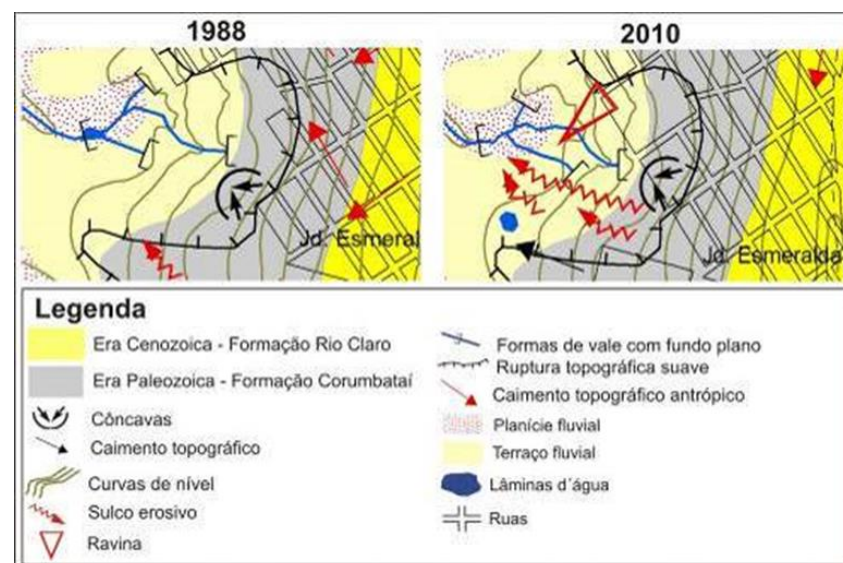


Figura 8 - Erosão em cabeceira de drenagem entre os bairros Jd. Palmeiras e Jd. Esmeralda. Organizado e elaborado pelo autor.



Figura 9 - Efeito erosivo das águas pluviais urbanas ao atingir um canal fluvial nas proximidades do Jardim Palmeiras. Considera-se que a intensa incisão fluvial, apontada pelas setas, indicam tal ação, excepcional para a dimensão do canal. Acervo pessoal. Foto de maio/2016.

Os estágios de erosão linear mais avançados, como ravinas e voçorocas, foram identificados na área de estudo e estão associados à energia do relevo, a fragilidade dos materiais inconsolidados e ao tipo de uso e ocupação da terra. Assim a fragilidade física entre forte e muito forte é diretamente influenciada tanto pela morfometria como pelos materiais, mas também pelo uso da terra que potencializou historicamente o desenvolvimento dos processos de erosão linear.

A voçoroca do Jardim Paulista encontra-se próxima a uma antiga área de mineração que atualmente é ocupada por uma empresa de reciclagem de restos de construções, e a voçoroca localizada à margem da Rodovia Fausto Santo Mauro, apresenta estabilização do processo erosivo devido à presença da vegetação de entorno.

As ravinas mapeadas no cenário de 2010 e ausentes no cenário de 1988 se localizam tanto na área rural, como nas áreas peri-urbanas. Na área rural é comum encontrar a criação de bovinos e equinos de forma extensiva, onde há exposição dos solos nas pastagens e o pisoteio dos animais. Na borda urbana do bairro Jd. Palmeiras, o direcionamento das águas pluviais para uma área de pastagem tem produzido uma ravina.

Uma erosão de sub-superfície também foi constatada durante trabalho de campo em uma rua do Jardim Centenário (Figura 10), onde a declividade varia entre 15 a 30% com a presença de material coluvionar arenoso, e a fragilidade do meio físico é considerada média. Essa erosão de sub-superfície possivelmente está associada a fragilidade física, assim como ao vazamento na tubulação de água.



Figura 10 - Erosão de sub-superfície que compromete o asfaltamento em rua do Jardim Centenário. Acervo pessoal. Foto de maio/2016.

Os ambientes intensamente alterados pelas intervenções antrópicas apresentam níveis de fragilidade emergente (ROSS, 1994), relacionados ao uso da terra e a cobertura vegetal. O setor oeste como área de expansão urbana do município de Rio Claro teve suas características ambientais alteradas ao longo do período entre 1988 e 2010.

A análise comparativa entre as cartas de uso da terra e cobertura vegetal dos cenários de 1988 e 2010 (Apêndices I e J), demonstra a redução das classes de uso da terra relacionadas as áreas antrópicas rurais e o aumento das classes vinculadas as áreas antrópicas urbanas. Tal correlação pode ser apontada com base na quantificação dos dados de uso da terra e cobertura vegetal dos dois cenários analisados, o que demonstra o setor oeste da cidade de Rio Claro como área de expansão urbana nas últimas três décadas.

A redução das classes de uso da terra e cobertura vegetal em áreas antrópicas rurais é de 4,28 Km² (Gráfico 7); em 1988 eram 11,42 Km² reduzidos para 7,14 Km² em 2010. As únicas classes que mantiveram suas áreas foram a de cultura anual e do clube social e esportivo. Apesar da classe de vegetação herbácea ter sido reduzida, nota-se que nas áreas próximas as margens do rio Corumbataí e do ribeirão Claro recobertas por esse tipo de vegetação e onde haviam pastagens, ocorreu um aumento da vegetação de porte florestal (mata).

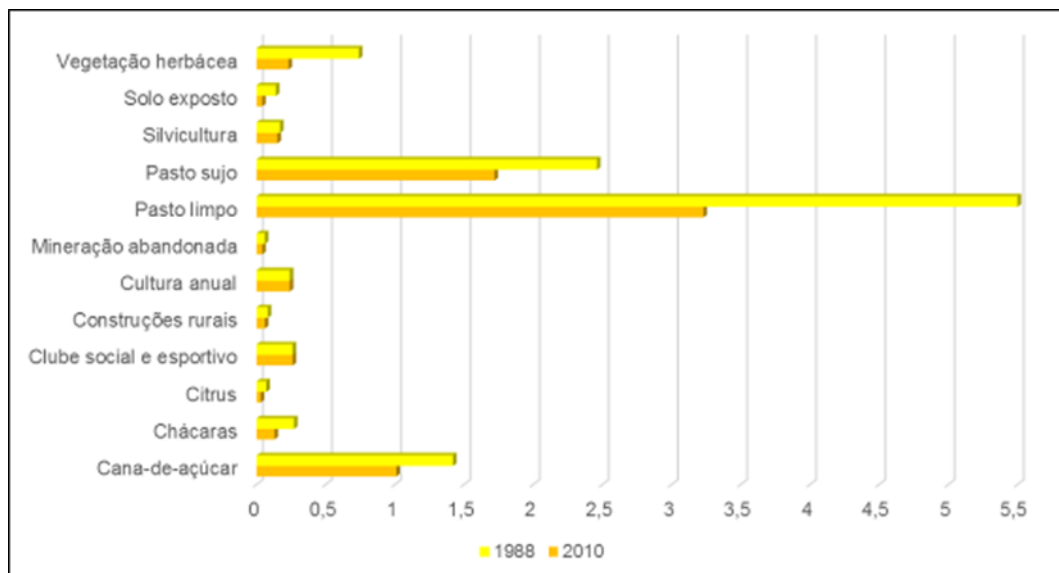


Gráfico 7 - Uso da terra e cobertura vegetal em áreas rurais (em Km²). Fonte: Carta de uso da terra e cobertura vegetal do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP), cenário de 1988 e 2010. Elaborado pelo autor.

A área de mata, em 1988 era de 0,51 Km² e passou para 1,86 em 2010 (Gráfico 7). Acredita-se que a legislação do Código Florestal de 1964 (BRASIL, 1965) a qual está atrelado o Plano Diretor Municipal (RIO CLARO, 2007) vigente, e o cumprimento mínimo da legislação, tenham contribuído para o aumento expressivo dessas áreas de mata. O Plano

Diretor Municipal possui em seu macrozoneamento (RIO CLARO, 2013) uma zona específica que abarca as áreas de planície e terraço fluvial do rio Corumbataí e do ribeirão Claro, denominada de Zona de Proteção Permanente, que restringe o uso e ocupação do solo dessas áreas sujeitas a inundação. Por outro lado, mais adiante serão apontadas transgressões legais que ocorrem em Áreas de Preservação Permanente.

Ainda com relação às classes de áreas antrópicas rurais, foi possível observar a redução de algumas áreas com pastagem (pasto limpo e sujo), que tiveram seu uso alterado para classes relacionadas às áreas antrópicas urbanas. São setores que estavam próximos as bordas do urbano no cenário de 1988, e deram lugar aos atuais bairros Diário Ville e Jardim Maria Cristina, e a condomínios horizontais e verticais situados entre os bairros Jardim Paulista e Inocoop.

As classes de áreas antrópicas urbanas tiveram aumento de 2,42 Km² (Gráfico 8), com destaque para o aumento da classe de lotes edificadas e parcialmente edificadas, indicadores de adensamento urbano, assim como apontam a evolução da área impermeabilizada, fruto da expansão urbana. Para o mapeamento proposto do cenário de 1988 não foram classificadas as vias pavimentadas e sem pavimentação. Já para o cenário de 2010, em razão do modelo cartográfico proposto para fragilidade associada aos padrões urbanos, essas classes totalizam 1,38 Km², aumentando o total da área urbanizada, além das classes de lotes urbanos.

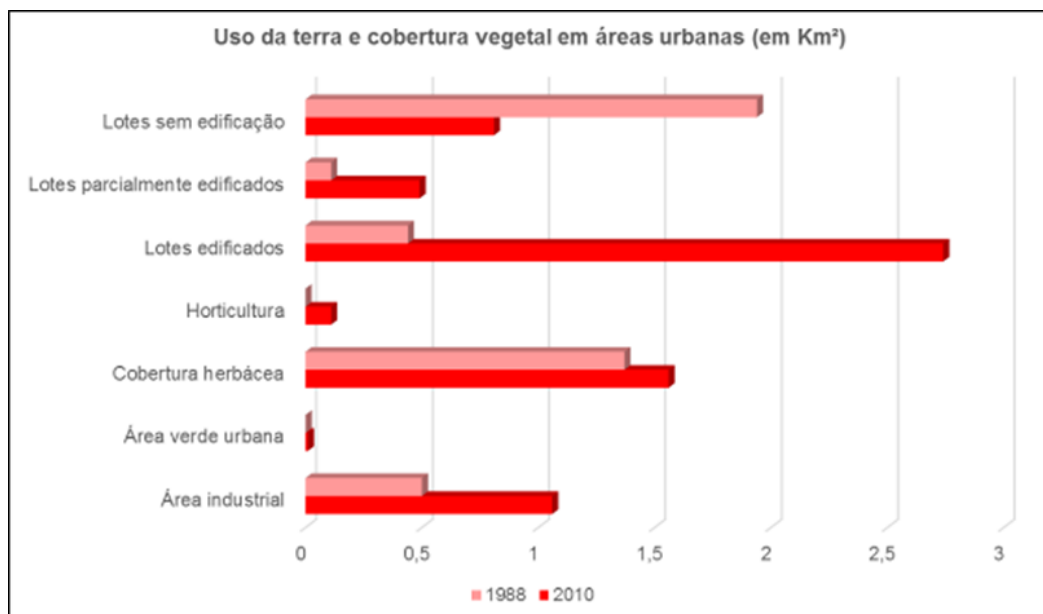


Gráfico 8 - Uso da terra e cobertura vegetal em áreas antrópicas urbanas (em Km²). Fonte: Carta de uso da terra e cobertura vegetal do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP), cenário de 1988 e 2010. Elaborado pelo autor.

Os bairros com maiores alterações do padrão de uso da terra de áreas antrópicas urbanas foram o Jardim das Palmeiras, o Jardim Esmeralda, o Jardim Bom Sucesso e o Novo Jardim Wenzel. Estes tiveram aumento dos lotes edificadas e parcialmente edificadas e significativa redução dos lotes sem edificação, em função do avanço da urbanização a partir da década de 1980.

A mudança no padrão de uso da terra em áreas urbanas provoca diferentes alterações hidro-geomorfológicas, as quais segundo Nir (1983) podem ser compreendidas em três estágios.

O estágio pré-urbano, quando as alterações se referem à retirada da cobertura vegetal original e à construção das primeiras habitações. O principal impacto está relacionado à aceleração dos processos erosivos sobre as vertentes e, conseqüentemente, ao excesso de sedimentação nas drenagens. Na área de estudo para o cenário de 1988 pode-se apontar os casos dos bairros Terra Nova e Jardim Novo II.

O estágio de construção gera um grande distúrbio vinculado a alterações topográficas derivadas de aterros, terraplanagens, assim como da impermeabilização generalizada do solo, além de se constituir maior importação de materiais para a construção das edificações. Os impactos estão relacionados com a diminuição da infiltração, aumento dos processos erosivos, devido ao revolvimento dos solos, aumento do assoreamento dos canais fluviais e do sistema de drenagem urbana (bueiros, bocas de lobo, galerias, etc.), que necessariamente acompanham a construção da área edificada.

No cenário de 1988 os bairros Novo Jardim Wenzel, Jardim Bom Sucesso, Vila Anhanguera, Jardim Nova Rio Claro, Jardim Palmeiras, Jardim Paulista e Jardim Novo I passam por este estágio. Para o cenário de 2010 é possível apontar a área entre os bairros Guanabara II e Terra Nova e o loteamento Diário Ville.

O estágio do urbano consolidado, onde a área urbana construída e adensada, com poucas áreas sem impermeabilização, provoca outra topografia e conseqüentemente um novo sistema de circulação da água (relevo antropogênico). A circulação da água caracteriza-se por não obedecer mais, necessariamente, a topografia original e sim ser induzida por sistemas artificiais.

Esta nova circulação da água e a impermeabilização do relevo, reduz a pedogênese, assim como a ação dos processos erosivos, que tendem a diminuir e serem mais comuns nas áreas do entorno urbano. Nessas áreas peri-urbanas, a energia de escoamento superficial produzida pela impermeabilização é descarregada, provocando a ocorrência e aceleração de processos erosivos lineares.

Pode-se considerar que a maior parte do setor oeste da cidade de Rio Claro está passando para o estágio de urbano consolidado, em razão do maior adensamento urbano, com a redução dos lotes sem edificação e aumento dos lotes edificadas e parcialmente edificadas.

Nota-se também, ao longo do eixo das rodovias Washington Luís e Fausto Santo Mauro, o aumento das áreas industriais, situadas estrategicamente nesses lugares para facilitar a logística das empresas. Porém é importante destacar o impacto ambiental que algumas empresas causam na área de estudo, como o caso de uma indústria química localizada próxima ao bairro Jardim Centenário.

A classe de área verde urbana tem um aumento inexpressivo de 0,001 Km² em 1988 para 0,01 km² em 2010, o que demonstra a ausência de planejamento urbano-ambiental em uma área de expansão urbana, onde o adensamento tem crescido consideravelmente, com um modelo de impermeabilização do solo com concreto e asfalto, dificultando a infiltração das águas pluviais e intensificando o volume do escoamento superficial. Existem, portanto, poucas áreas antrópicas urbanas que proporcionam infiltração, como as coberturas herbáceas, geralmente situadas em áreas peri-urbanas ou de futura expansão de loteamentos, pouco adequadas do ponto de vista do nível de proteção do solo.

A fragilidade dos ambientes antropizados está relacionada ao uso da terra e cobertura vegetal e a fragilidade do meio físico. Assim, a partir do modelo cartográfico proposto para carta de fragilidade ambiental (Apêndice K), foi possível observar como as diferentes classes de uso da terra e cobertura vegetal influenciam o sistema relevo do ponto de vista de sua suscetibilidade a processos geomorfológicos e alteram sua fragilidade. O uso antrópico em muitos casos acentua a fragilidade, e provoca a inexistência da classe de fragilidade ambiental muito fraca, onde os pesos e suas respectivas influências não ultrapassam soma maior que um.

As classes de uso da terra relacionadas as áreas rurais, com exceção do clube social e esportivo, acentuam a fragilidade ambiental, pois expõem a superfície à processos morfodinâmicos ao alterar a cobertura vegetal original. O clube social e esportivo por ter muita vegetação arbórea e grandes áreas de infiltração foi considerado com baixo peso de fragilidade. Por outro lado, as áreas com atividades agropecuárias possuem baixo nível de proteção ao solo e alto peso de fragilidade, tais como cana-de-açúcar, citrus, cultura anual, mineração abandonada, pasto limpo e solo exposto.

As áreas com vegetação herbácea e mata, situadas nas margens dos cursos fluviais, estão sujeitas a inundação ou são terrenos encharcados devido a dinâmica fluvial, e possuem pesos diferenciados com relação ao nível de proteção da superfície. A vegetação herbácea possui

elevado peso de fragilidade, pois protege pouco a superfície contra a atuação das águas correntes e o desenvolvimento de processos erosivos.

Por outro lado, a cobertura vegetal de mata possui baixo peso de fragilidade, pois promove alto grau de proteção da superfície. A presença dessa cobertura nas margens do rio Corumbataí e do ribeirão Claro atenua a fragilidade ambiental para média e forte nessas áreas, porém sua inexistência na planície e no terraço fluvial dessas drenagens acentua a fragilidade ambiental para muito forte.

As classes de uso da terra relacionadas as áreas antrópicas urbanas acentuam a fragilidade quando estão presentes as classes de lotes parcialmente edificadas, lotes sem edificação, vias pavimentadas e vias sem pavimentação em associação com as características físicas. Desse modo, pode-se inferir que o uso urbano se constitui como uma superfície artificial capaz de induzir e dinamizar os processos geomorfológicos, pois ao acentuar a fragilidade ambiental o equilíbrio dinâmico do sistema relevo é rompido, havendo a necessidade do sistema se reequilibrar.

O exemplo do Jardim Nova Rio Claro demonstra como a fragilidade física associada ao uso da terra urbano acentua a fragilidade ambiental, neste caso devido as ruas sem pavimentação, assim como a presença de muitos lotes sem edificação ou parcialmente edificadas. A superfície urbanizada, portanto, devido as suas características, é o principal fator de indução de processos erosivos nas ruas sem pavimentação desse bairro (Figura 11), apesar do traçado das ruas serem descontínuos como determina a legislação municipal (RIO CLARO, 2007; RIO CLARO, 2013).



Figura 11 - Sulcos erosivos no Jardim Nova Rio Claro. Acervo pessoal, março/2017.

Ainda no Jardim Nova Rio Claro é possível observar, na área onde o bairro ocupa o terraço e parte da planície fluvial do rio Corumbataí, que os efeitos do uso urbano acentuam a fragilidade ambiental (Figura 12). Em uma área de fragilidade física forte e muito forte, a urbanização expõe a população da parte baixa desse bairro a enchentes durante o período de

chuvas, o que impossibilita o tráfego pela principal via de acesso. A Figura 13 apresenta um episódio de enchente no ano de 1999 (direita) e em 2016 (esquerda).

Os bairros Jardim Bom Sucesso e Novo Jardim Wenzel ocupam o terraço e planície fluvial do rio Corumbataí (Figura 12) e a planície fluvial de um afluyente dessa drenagem. A fragilidade ambiental varia entre forte e muito forte nas áreas urbanizadas de fundo de vale, pois o peso atribuído aos lotes edificadas atenua a fragilidade física, mantendo a fragilidade ambiental com classe forte.

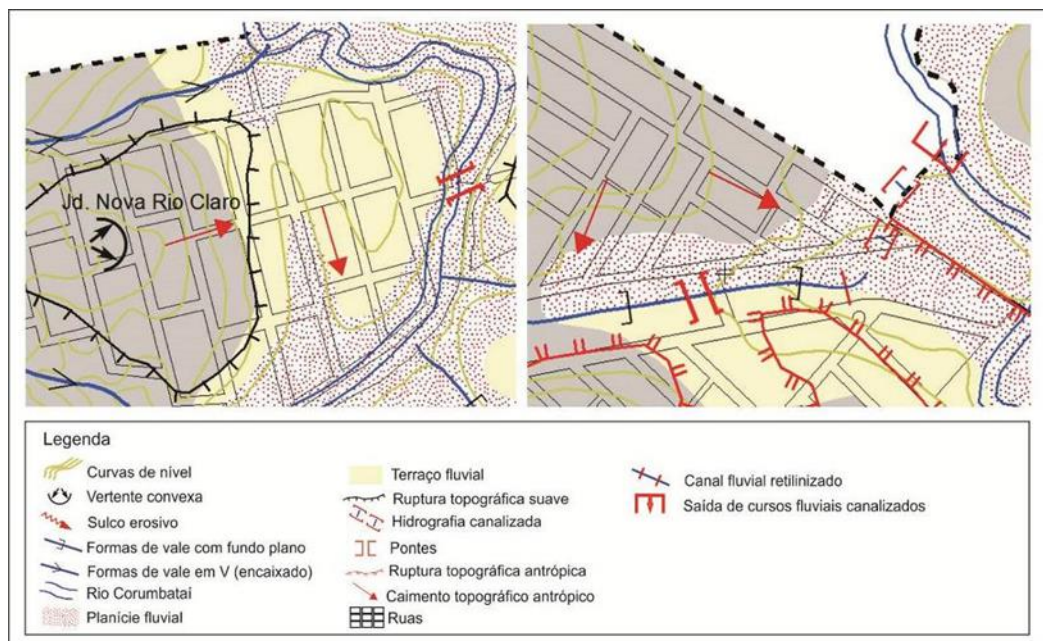


Figura 12 - Ocupação da planície e do terraço fluvial no Jd. Nova Rio Claro a esquerda, e entre os bairros Bom Sucesso e o Novo Wenzel, a direita. Organizado e elaborado pelo autor.

Cabe ressaltar que essa atenuação da fragilidade ambiental, seria mais condizente em áreas urbanizadas que não ocupassem terraços e planícies fluviais. Isso ocorre nas vertentes ocupadas por estes mesmos bairros, onde as ruas possuem fragilidade ambiental forte, mas as áreas ocupadas por lotes edificadas possuem fragilidade média, em razão do peso atribuído a esta classe de uso da terra.



Figura 13 - Vista do Jardim Nova Rio Claro inundado pelo rio Corumbataí (esquerda). Inundação no Jardim Nova Rio Claro (direita). Fonte: Arquivo Público e Histórico de Rio Claro, 07/01/1999. Jornal Cidade, 14/01/2016. Disponível em: <<http://www.jornalcidade.net/rio-claro/seguranca/chuvas-rio-claro-em-estado-de-atencao/>>.

No topo da colina entre o rio Corumbataí e o córrego da Servidão, cortado pela Avenida dos Costas, a fragilidade física passa de muita fraca e fraca para fraca e média devido ao uso urbano. Nas vertentes dessa colina onde se situam os bairros Jardim Esmeralda e Jardim Palmeiras, a fragilidade é acentuada pelo uso urbano, de média para forte nas ruas, e se mantém média nas áreas com lotes edificadas, predominantes nestes bairros.

Além disso, na baixa vertente devido a fragilidade do meio físico, a fragilidade ambiental mantém-se forte. No bairro Diário Ville, por ser um loteamento com poucas edificações, a fragilidade ambiental é considerada forte em função da presença de vários lotes sem edificação, sobre um terreno com fragilidade física média.

Na vertente oposta que drena para o córrego da Servidão estão os bairros Jardim Brasília e Jardim Guanabara, onde na baixa vertente a fragilidade ambiental passa para forte, em função das ruas e das características físicas desse terreno. Na vertente e no fundo de vale do córrego da Servidão, onde se situa o bairro Inocoop, a fragilidade ambiental passa para forte, devido a presença de uma avenida ao longo das margens dessa drenagem, e também pela fragilidade física desse terreno.

No bairro Jardim Nova Veneza, a fragilidade física média passa para forte, nas áreas com lotes parcialmente edificadas e sem edificação, e nas ruas sem pavimentação. Em campo foi possível observar a presença de vários pequenos sulcos erosivos nas ruas desse bairro, principalmente nas que cortam perpendicularmente a vertente.

A cabeceira de drenagem do bairro Jardim Benjamin de Castro tem sua fragilidade física acentuada de média para uma fragilidade ambiental forte, com exceção dos lotes edificadas. Faz-se necessário uma consideração a respeito desse fato, pois apesar dos lotes edificadas manterem a fragilidade como média para esse terreno, é preciso avaliar que, se por um lado esse uso da terra impede a ação de agentes geomorfológicos sobre a superfície, por outro os

processos de sub-superfície continuam ocorrendo. Assim o escoamento superficial também tem seu volume aumentado, em razão da superfície impermeabilizada, o que provoca efeitos negativos nessa drenagem. Isso se deve também por ser tratar de um curso fluvial alterado por canalização, quando passa por baixo da rua e da ferrovia que cruzam o fundo de vale (Figura 14).

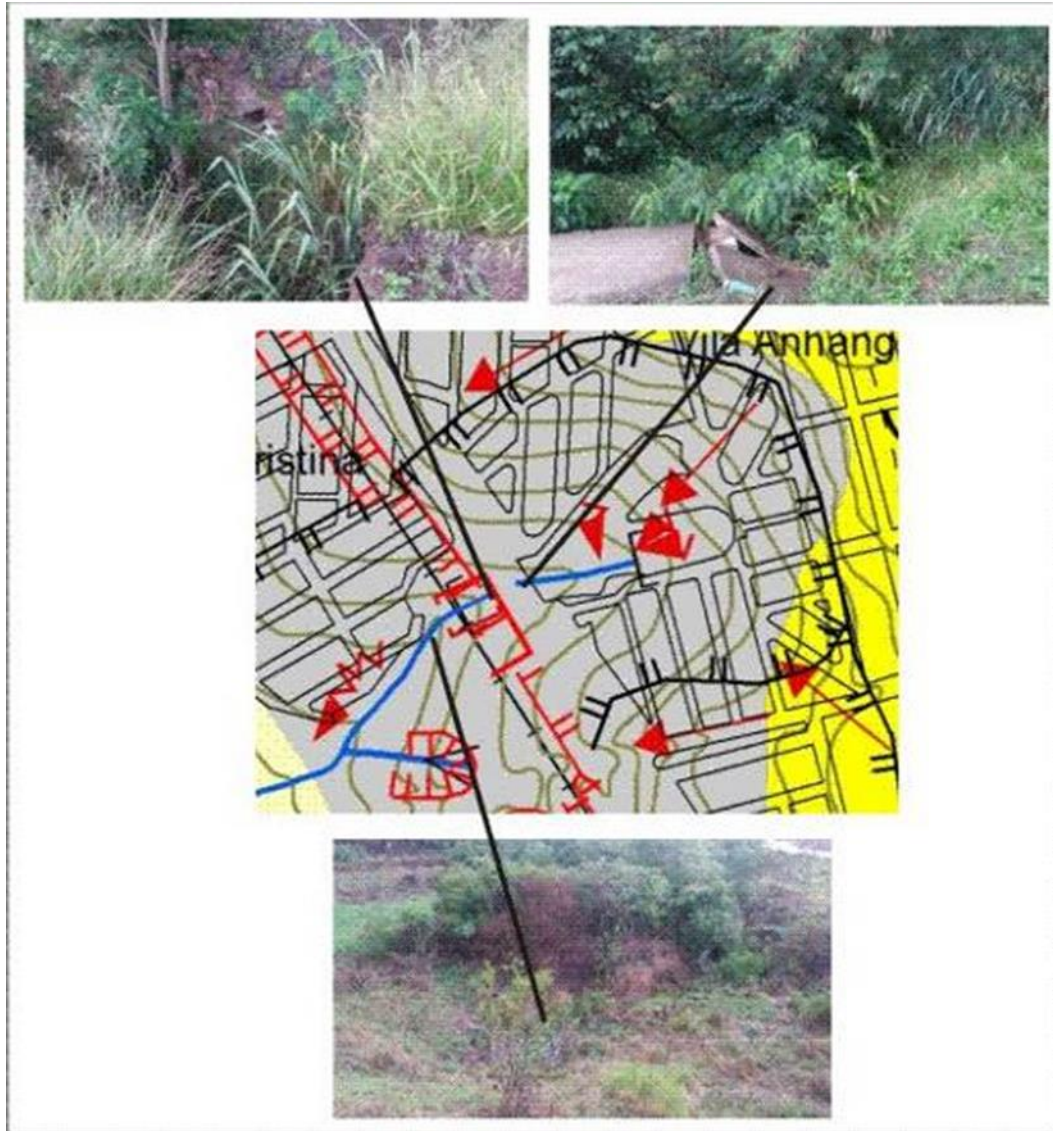


Figura 14 - Drenagem canalizada no bairro Benjamin de Castro. Na saída dessa canalização observa-se na imagem inferior, o efeito erosivo das águas pluviais potencializado pela canalização.

No bairro Jardim Centenário essa situação se repete, com relação a fragilidade física mantida como média para fragilidade ambiental, devido presença dos lotes edificadas. Nas áreas com ruas pavimentadas e terrenos com cobertura herbácea, a fragilidade física média passa para uma fragilidade ambiental forte.

O Jardim Maria Cristina também tem sua fragilidade do meio físico acentuada pela ocupação urbana, alterada de média para fragilidade ambiental forte, com exceção das áreas

com lotes edificadas. No final das ruas em direção ao rio Corumbataí, a fragilidade ambiental se intensifica para muito forte, devido ao tipo de uso da terra urbano e as características físicas deste terreno.

O padrão de urbanização adotado na construção dos bairros pode atenuar ou agravar a fragilidade emergente dos ambientes antropizados, submetidos a uma morfodinâmica artificial em função dos arruamentos e dos padrões de ocupação do solo urbano. Para esta pesquisa foi elaborado um modelo cartográfico para áreas urbanas residenciais, denominado de carta de fragilidade ambiental associada aos padrões urbanos (Apêndice L). Através da análise desse documento cartográfico foi possível identificar: o uso do solo urbano de acordo com a densidade dos lotes e das construções; o padrão horizontal ou vertical das edificações; as infraestruturas de drenagem pluvial, das vias de acesso aos lotes (impermeabilizadas ou sem pavimentação); a presença de áreas que proporcionam maior infiltração; e os padrões de arruamentos, considerados instrumentos técnicos do ponto de vista do planejamento urbano, e que estão relacionados diretamente a topografia da superfície a ser ocupada (MASCARÓ, 2005; MORETTI, 1986).

Os padrões de ocupação do solo urbano identificados no setor oeste da cidade de Rio Claro são espacialmente diversos e interferem diretamente na ação das águas superficiais sobre o relevo, refletindo uma morfodinâmica diferente para cada área urbana ocupada. Os mais adequados às características físicas do relevo são aqueles onde residem populações com maior poder aquisitivo, em condomínios horizontais e verticais e loteamentos fechados. Nesses casos a fragilidade ambiental foi atenuada pelo padrão de ocupação do solo urbano.

Por outro lado, os modelos de urbanização de loteamentos abertos e conjuntos habitacionais horizontais e verticais intensificam a fragilidade ambiental, devido a maior densidade urbana, com poucas áreas de infiltração e lotes menores, em sua maioria edificadas completamente.

A maioria dos bairros da área de estudo são loteamentos abertos, com arruamentos perpendiculares as curvas de nível. Este padrão de arruamento em uma área de loteamento aberto, onde há maior adensamento urbano, menores áreas de infiltração e infraestruturas pouco adequadas para o escoamento superficial, acentua a fragilidade ambiental. Esse cenário registra-se nos bairros Jardim Novo I e II, Jardim Brasília I e II, Jardim Guanabara I e II, Jardim das Palmeiras, Diário Ville, Jardim Nova Veneza, Jardim Maria Cristina, Jardim Bom Sucesso e Novo Jardim Wenzel.

Nos loteamentos abertos com padrão de arruamentos diagonal as curvas de nível, a fragilidade ambiental também é acentuada, como ocorre nos bairros Jardim Esmeralda,

Benjamin de Castro, Residencial dos Bosques e Jardim Centenário. No Jardim Nova Rio Claro, mesmo o arruamento sendo descontinuo, a fragilidade ambiental é acentuada próxima ao fundo de vale e em alguns trechos em alta vertente, pelo fato das ruas serem predominantemente sem pavimentação.

A carta de derivações ambientais e transgressões legais (Apêndice M) permitiu avaliar os efeitos da urbanização na ocupação de áreas com restrições legais e também pelas alterações antrópicas registradas. Entre as transgressões ambientais destaca-se a ocupação urbana em Área de Preservação Permanente (APP) do rio Corumbataí, nos bairros Jardim Nova Rio Claro, Jardim Maria Cristina, Jardim Bom Sucesso e Novo Jardim Wenzel. A APP do córrego da Servidão além de não ser respeitada, também é ocupada por uma avenida, e o canal de drenagem é retificado e canalizado em alguns trechos.

Nas áreas com declividade superiores a 15%, a urbanização somente é permitida com ressalvas: o traçado urbano deve seguir as curvas de nível e os arruamentos devem ser descontínuos (RIO CLARO, 2007). Somente ocorre essa situação no Jardim Nova Rio Claro, nos demais bairros, Novo Jardim Wenzel, Jardim Bom Sucesso, os arruamentos são perpendiculares às curvas de nível. Já no Jardim Benjamin de Castro e Residencial dos Bosques, as ruas são em diagonal ao traçado das curvas de nível.

Apenas pequenas áreas com declividade acima de 30%, estabelecidas como limite máximo para urbanização (BRASIL, 1979), são urbanizadas nos bairros Jardim Nova Rio Claro, Jardim Bom Sucesso, Novo Jardim Wenzel e Inocoop.

Entre as alterações antrópicas e derivações ambientais destacam-se: a ocupação do fundo de vale do córrego da Servidão, onde o canal fluvial foi retificado e aterrado; e o desvio do curso e aterro da drenagem entre os bairros Bom Sucesso e Novo Wenzel, para a passagem do sistema viário.

O córrego da Servidão tem suas nascentes situadas na área urbana de Rio Claro e teve seu canal praticamente todo modificado, em função das obras de engenharia realizadas para construção dos equipamentos urbanos. No setor oeste da cidade, este córrego passa por derivações ambientais de retificação para dar passagem a Avenida Tancredo Neves, e depois passa a ser aterrado, debaixo dessa avenida (Figura 15).



Figura 15 - Retilização e aterramento do córrego da Servidão. Acervo pessoal. Foto de maio/2016.

O trabalho de Moraes (2011) constatou que as alterações provocadas pela urbanização, como a impermeabilização do solo e a alteração do traçado original do curso fluvial, promovidas pela instalação de equipamentos urbanos na bacia do córrego da Servidão, potencializaram as inundações ao longo dessa drenagem.

O trecho de canalização do córrego da Servidão no bairro Inocoop, era caracterizado por recorrentes inundações, sendo necessária a construção de uma canaleta para o escoamento das águas pluviais, como se pode observar na figura 15. De acordo com Moraes (2011), esse trecho sofre os efeitos das modificações efetuadas a montante, apresentando inundações nos períodos de cheias.

No final do trecho canalizado do Córrego da Servidão é possível observar os efeitos dessa obra nesse sistema fluvial (Figura 16). Em um primeiro momento, na saída da canalização, forma-se um bolsão de dispersão de sedimentos e resíduos sólidos carregados pelo córrego; na sequência, existe outra tubulação por onde a drenagem passa por baixo da ferrovia.



Figura 16 - Saída da canalização do Córrego da Servidão, depois de passar debaixo da Avenida Tancredo Neves. Acervo pessoal. Foto de maio/2016.

Na saída, depois de passar pela ferrovia, forma-se uma espécie de lagoa, onde as margens do córrego foram sendo erodidas. Na foto de campo (Figura 17) é possível observar a instalação de uma estrutura de gabião, construída para frear a erosão fluvial, decorrente da dinamização do fluxo de escoamento exercida nos trechos de retificação e canalização.



Figura 17 - Saída da canalização do Córrego da Servidão, depois de passar debaixo da ferrovia. Acervo pessoal. Foto de maio/2016.

Outro problema que envolve o Córrego da Servidão é a ocupação de suas margens pela urbanização, que vem se intensificando ao longo das décadas com novos loteamentos. Os arruamentos desses loteamentos são construídos no sentido do declive, sem qualquer contenção do escoamento das águas pluviais.

Pelos resultados apresentados e pela análise realizada através dos modelos cartográficos, é possível apontar que o setor da cidade de Rio Claro teve sua paisagem e os processos naturais alterados pela ação antrópica, que criou feições antropogênicas no relevo e, conseqüentemente, modificou a dinâmica dos processos atuantes sobre esse sistema. Desse modo, faz-se a seguir as considerações finais a respeito dessa pesquisa e de seus resultados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do objetivo proposto para esta pesquisa de avaliar a fragilidade do meio físico e ambiental do setor oeste da cidade de Rio Claro a fim de identificar como determinadas características geomorfológicas suportam as transformações promovidas pelo uso urbano, foi possível identificar a suscetibilidade física do terreno da área de estudo a processos geomorfológicos, a partir das variáveis de energia do relevo, materiais inconsolidados e feições erosivas. Essas variáveis ofereceram uma visão das características físicas do terreno e estão associadas às características genéticas do relevo, o qual possui maior ou menor grau de fragilidade perante as intervenções antrópicas.

A síntese das variáveis físicas do relevo na carta de fragilidade do meio físico possibilitou uma análise articulada: dos parâmetros morfométricos, considerados instrumentos técnicos para o planejamento ambiental e urbano; dos materiais inconsolidados, os quais se relacionam a aptidão ou restrição do terreno ao uso urbano; e das feições erosivas, as quais indicam a suscetibilidade do terreno aos efeitos da ação das águas correntes. Assim, foram apontadas as características geomorfológicas que suportam de maneira estável ou instável diferentes usos da terra, em áreas urbanas e rurais.

Nos topos planos, a fragilidade do meio físico varia entre muito fraca e fraca, devido a energia do relevo entre fraca e medianamente forte e a presença do material residual vermelho-amarelo escuro. Nas médias vertentes com energia do relevo variando entre média e medianamente forte, e com material coluvionar arenoso, a fragilidade do meio físico é média.

Nas médias e baixas vertentes com presença do material argiloso marrom arroxeadado, e energia do relevo entre média e medianamente forte, foi registrada fragilidade do meio físico média. Em algumas situações a presença de formas erosivas, vinculadas aos processos morfodinâmicos, a fragilidade caracteriza-se, em alguns trechos de baixa vertente, como forte. Muitas das feições erosivas mapeadas encontram-se próximas as cabeceiras de drenagem em média vertente, principalmente quando o trecho superior da vertente acima está urbanizado.

Nos fundos de vales do rio Corumbataí e do ribeirão Claro com terraço fluvial, devido à dinâmica fluvial erosiva, ao pequeno desnível altimétrico e a presença de material arenoso e argiloso de cores cinza claro a escuro, a fragilidade do meio físico foi caracterizada como forte. Ainda nos fundos de vales dessas drenagens, e em um pequeno trecho do córrego da Servidão, que apresentam material coluvionar hidromórfico, derivado de material transportado pela ação das águas correntes, a fragilidade do meio físico foi caracterizada como muito forte.

Os terrenos com menor fragilidade do meio físico e menos suscetíveis a processos geomorfológicos são aqueles situados nos topos planos, com maior aptidão do ponto de vista de suas características genéticas e com maior estabilidade a urbanização. Porém, é preciso um plano de drenagem urbana adequado a essas áreas, devido a pequena declividade desses terrenos e a possibilidade de acúmulo de água em áreas deprimidas, a fim de evitar alagamentos.

A fragilidade ambiental é atenuada ou acentuada de acordo com as características do uso da terra e o tipo de cobertura vegetal. Desse modo, foi possível identificar como a urbanização acentua a fragilidade ambiental, enquanto outras formas de ocupação e cobertura vegetal atenuaram a fragilidade.

As classes de uso da terra relacionadas às áreas antrópicas rurais, com exceção do clube social e esportivo, acentuam a fragilidade ambiental, pois expõem a superfície à processos morfodinâmicos ao alterar a cobertura vegetal original. As áreas com vegetação herbácea e mata, situadas nas margens dos cursos fluviais, estão sujeitas a inundação e possuem pesos diferenciados com relação ao nível de proteção da superfície.

A vegetação herbácea possui elevado peso de fragilidade, pois protege pouco a superfície contra a atuação das águas correntes e o desenvolvimento de processos erosivos. Já a cobertura vegetal de mata, possui baixo peso de fragilidade, pois promove alto grau de proteção da superfície.

As classes de uso da terra relacionadas às áreas antrópicas urbanas acentuam a fragilidade quando estão presentes as classes de lotes parcialmente edificadas, lotes sem edificação, vias pavimentadas e vias sem pavimentação em associação com as características físicas. Tal situação foi apontada principalmente para os bairros Jardim Nova Rio Claro, Jardim Bom Sucesso, Novo Jardim Wenzel, Jardim Esmeralda, Jardim Palmeiras, Diário Ville, Inocoop, e Jardim Novo I e II.

Porém, é preciso avaliar a classe de lotes edificadas pois esta mantém a fragilidade como média, no entanto esse uso da terra impede a ação de agentes geomorfológicos sobre a superfície, e por outro lado os processos de sub-superfície continuam ocorrendo. Ainda, o escoamento superficial também tem seu volume aumentado, em razão da superfície impermeabilizada.

Desse modo, pode-se inferir que o uso urbano se constitui como uma superfície artificial ao induzir e dinamizar os processos geomorfológicos, ao acentuar a fragilidade ambiental o equilíbrio dinâmico do sistema relevo é rompido, havendo a necessidade do sistema se reequilibrar. Assim, foi possível identificar os setores onde o relevo suporta a urbanização de maneira instável, o que provoca efeitos na morfodinâmica da superfície urbana.

Os modelos cartográficos propostos para esta pesquisa para avaliar a fragilidade do meio físico e a fragilidade ambiental, adaptados da metodologia de Ross (1990, 1994, 2001), atenderam aos propósitos de auxiliar na compreensão da fragilidade do relevo, e apresentam grande potencial como instrumentos de gestão e planejamento ambiental-urbano, a serem utilizados pelo poder público municipal. As técnicas cartográficas automáticas e semiautomáticas utilizadas nesta pesquisa viabilizaram de maneira considerável a execução dos objetivos propostos em tempo reduzido. Além do mais, são de fácil replicação a partir dos procedimentos apresentados, permitindo que outros trabalhos possam avançar do ponto de vista técnico cartográfico.

O mapeamento geomorfológico dos cenários de 1988 e 2010 permitiu avaliar os efeitos da urbanização no setor oeste da cidade de Rio Claro, e apontaram as alterações promovidas por essa. Tais alterações provocaram alteração na morfodinâmica do relevo da área de estudo e produziram efeitos na superfície urbanizada. Essas alterações se configuram como derivações ambientais, e estão sintetizadas na carta de derivações ambientais e transgressões, junto com as transgressões de ocupação do território.

A ocupação de áreas legalmente restritas aponta a ineficiência do ordenamento territorial vigente, muitas vezes permissivo e contraditório a legislação. No caso da área de estudo, existem loteamentos urbanos em APP, reconhecidos pela prefeitura, a qual indica compensação ambiental para estas áreas. Porém, a compensação ambiental não reduz os efeitos da ocupação em áreas que apresentam fragilidade ambiental forte ou muito forte.

A proposição de criar um modelo cartográfico para identificar os padrões urbanos e os efeitos sobre fragilidade ambiental, apresentou resultados interessantes. Foi possível setorizar o ambiente urbano a partir da diversidade da forma de ocupação do solo e a capacidade técnica das infraestruturas urbanas utilizadas por diferentes classes sociais. Desse modo, foi possível apontar que os padrões urbanos mais adequados às características do relevo e que reduzem a fragilidade ambiental, são aqueles presentes em bairros e condomínios de classes sociais com maior poder aquisitivo, dotados de melhores infraestruturas urbanas.

Espera-se que esta pesquisa estimule avanços maiores na temática, tais como mapear o espaço urbano em escalas de maior detalhe (1:1.000), para que seja possível introduzir outros parâmetros urbanos, como a taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento dos lotes. A partir desses parâmetros, será possível estipular padrões urbanos mais adequados as características de fragilidade ambiental dos terrenos a serem urbanizados, auxiliando na gestão dos territórios e no planejamento de áreas de expansão urbana.

REFERÊNCIAS

AB`SÁBER, A.N. As Regiões de circundesnudação pós-cretácea no Planalto Brasileiro. **Boletim Paulista de Geografia** - USP. São Paulo, n. 1, p. 1–21, 1949.

_____. Geomorfologia do Sítio Urbano de São Paulo. **Boletim do Instituto de Geografia** (USP). Tese de Doutorado (FFLCH-USP), 1957.

_____. Depressão Periférica Paulista: um setor das áreas de circundesnudação pós-cretácica da bacia do Paraná. **Boletim do Instituto Geografia** (USP). São Paulo, n. 15, p. 1-15, 1969.

_____. **Geomorfologia do sítio urbano de São Paulo**. Cotia: Ateliê Editorial, 2007.

BRASIL. Código Florestal: Lei nº 4771 de 15 de setembro 1965. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm>. Acesso em: 20 mar. 2015.

BRASIL. Decreto Federal nº 5334 de janeiro de 2005. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/decreto/d5334.htm> Acesso em: 12 jun. 2016.

BRASIL. Lei Federal nº 6.766, de 19/12/1979. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]. Brasília, DF, 20 dez. 1979. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6766.htm>. Acesso em 16 out. 2015.

BRASIL. Lei Federal nº Lei Federal nº12.651 de 25/05/2012. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em 16 out. 2015.

CASSETI, Valter. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 18 mar. 2015.

CHENGTAI, D. An approach to theory and methods of urban geomorphology. **Chinese Geographical Science**. Beijing, n. 1, p. 88-95, oct. 1996.

CHRISTOFOLETTI, A. A ação antrópica. **Notícia geomorfológica**, 13/14, p. 66-67, 1967.

_____. **Análise de Sistemas em Geografia**. Hucitec. Edusp. 1979.

_____. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

CHORLEY, R. J. **Geomorphology and General Systems Theory**. 1962. Disponível em <http://pubs.usgs.gov/pp/0500b/report.pdf>. Acessado em 20 mai. 2016.

COATES, D. R. **Urban geomorphology**. Estados Unidos: The Geological Society of America Colorado, 1976. 166 p.

CUNHA, C. M. L. da. **A cartografia do relevo no contexto da gestão ambiental**. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2001.

CUNHA, C. M. L.; MORUZZI, R. B.; BRAGA, R. Diagnóstico dos elementos de drenagem da área urbana de Rio Claro – SP: Subsídios para o Plano Diretor. **Revista de Estudos Ambientais (Online)**. V. 11, n. 2, p. 88-100, 2009. Disponível em: <<http://proxy.furb.br/ojs/index.php/rea/article/viewFile/1551/1201>> Acesso em 17 mai. 2016.

DE BIASI, M. Cartas de declividade: confecção e utilização. **Geomorfologia**. São Paulo, n. 21, p. 8 – 12, 1970.

DE BIASI, M. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, n. 6, p. 45 – 60, 1992.

DEVICARI, L. F.; WERLANG, M. K. Relevo e potencial de fragilidade natural do município de São Pedro do Sul – RS. *Ciência e Natura (UFSM)*. Santa Maria, n.2, v. 29, p. 129 – 143, 2007.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. 6ª edição. Editora Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 2005. 224 p.

FERREIRA, M. V. ; TINOS, T. M. ; PINTON, L. de G. ; CUNHA, C. M. L. . A dissecação horizontal como parâmetro morfométrico para avaliação do relevo: Proposta de técnica digital automática. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, p. 585-600, 2014.

FERREIRA, M. V. ; TINOS, T. M. ; PINTON, L. de G. ; CUNHA, C. M. L. . A cartografia da dissecação vertical para avaliação do relevo: Proposta de técnica automática. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 6, p. 1231-1245, 2015.

GOUDIE, A. Human influence in geomorphology. **Geomorphology**. v. 53, n. 7, p. 37-59, 1993.

_____. Anthropogeomorphology. In: GOUDIE, A. S. **Encyclopedia of Geomorphology**. Volume 1. Londres e Nova York: Routledge, 2004. p. 25-28.

_____. **The human impact on natural environment: past, present and future**. Oxford: Blackwell Publishing, 2006. 357 p.

GOUDIE, A; VILES, H. **The earth transformed** – An introduction to Human Impacts on the Environment. Oxford: Blackwell Publishers, 1997. 276 p.

GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

GUPTA, A; AHMAD, R. Geomorphology and the urban tropics: building an interface between research and usage. **Geomorphology**. n. 31, p. 133-149, 1999.

HAFF, P.K. Neogeomorphology, Prediction and the Anthropic Landscape. **Division of Earth and Ocean Science**. Durham, NC 27708, 2001.

HOOKE, R. On the history of humans as geomorphic agents. **Geology**, v. 28, n. 9, p. 843-846, set., 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Séries históricas e estatísticas**. [2016]. Disponível em: <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?no=10&op=0&vcodigo=CD91&t=populacao-situacao-domicilio-populacao-presente-residente>. Acesso em: 20 mai. 2016.

MASSA, E. M; ROSS, J. L. S. Aplicação de um modelo de fragilidade ambiental relevo - solo na Serra da Cantareira, bacia do Córrego do Bispo, São Paulo - SP.
Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, v.24, p.57-79, 2012.

MENDES, I. A. **A Dinâmica Erosiva do Escoamento Pluvial na Bacia do Córrego Lafon – Araçatuba-SP**. 1993. Tese (Doutorado em Geografia) - FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

MONTEIRO, C. A. de F. **A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo – estudo geográfico sob forma de atlas**. São Paulo: Universidade de São Paulo/ Instituto de Geografia, 1973. 129 p.

MORAES, I. C. **Análise da dinâmica do uso da terra e sua interferência em inundações na cidade de Rio Claro (SP)**. 2011. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.

MOROZ, I.C.; CANIL, K.; ROSS, J.L.S. Problemas Ambientais nas Áreas de Proteção aos Mananciais da Região Metropolitana de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n.7, p.35-48, 1994.

NIR, D. **Man, a geomorphological agent: an introduction to anthropic geomorphology**. Jerusalém: Ketem Pub. House, 1983.

PASCHOAL, L. G.; CONCEIÇÃO, F. T.; CUNHA, C. M. L.. Utilização do ArcGis 9.3 na elaboração de simbologias para mapeamentos geomorfológicos. Uma aplicação na área do Complexo Argileiro de Santa Gertrudes/SP. In: VIII SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA. **Anais...** Recife, p. 1-13, 2010.

PELLOGGIA, A. U. G. **O Homem e o Ambiente Geológico: geologia, sociedade e ocupação urbana no Município de São Paulo**. São Paulo: Xamã, 1998, 271 p.

PELOGGIA, A. U. G. A cidade, as vertentes e as várzeas: a transformação do relevo pela ação do homem no município de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, n. 16, p. 24-31, out. 2005.

PENTEADO, M. M. **Geomorfologia do setor centro-ocidental da Depressão Periférica Paulista**. Instituto de geografia – USP. São Paulo: Series teses e monografias n. 22, 86 p., 1976.

PENTEADO - ORELLANA, M. M. Estudo geomorfológico do sitio urbano de Rio Claro-SP. **Notícia geomorfologia**, Campinas, ano 21, n. 42, p. 23-56, 1981.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Relatório do desenvolvimento Humano 2015**. Disponível em:

<http://www.pnud.org.br/hdr/arquivos/RDHglobais/hdr2015_ptBR.pdf> Acesso em: 16 mai. 2016

RIO CLARO. Lei Municipal nº 072/2008. **Plano diretor e normas complementares**. Rio Claro, SP, 27 dez. 2007. Rio Claro: Tribuna 2000, 2008.

RIO CLARO. Lei Municipal n. 081/2013. **Lei Complementar**. Rio Claro, SP, 25 set 2013. Rio Claro, 2013. Disponível em: <http://www.rioclaro.sp.gov.br/pd/arquivos/pd_2013/2-LEI-COMPLEMENTAR-N081.pdf>. Acesso em 21 mai. 2015.

RIO CLARO. Lei Municipal n. 082/2013. **Lei Complementar**. Rio Claro, SP, 25 set 2013. Rio Claro, 2013. Disponível em: <http://www.rioclaro.sp.gov.br/pd/arquivos/pd_2013/4-LEI-COMPLEMENTAR-N082.pdf> Acesso em 21 mai. 2015.

RODRIGUES, C. Morfologia original e morfologia antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: exemplo na metrópole paulista. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, n. 17, p. 101-111, dez. 2005.

RODRIGUES, C. Avaliação do impacto humano da urbanização em sistemas hidrogeomorfológicos: desenvolvimento e aplicação de metodologia na Grande São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, n. 20, p. 111-1252, ago. 2010.

ROSS, J.L.S. **Geomorfologia, Ambiente e Planejamento**. São Paulo: Ed. Contexto, 1990. _____ . Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n.8, p.63-74, 1994.

_____. **Geomorfologia e Geografia Aplicadas a Gestão Territorial: Teoria e Metodologia para o Planejamento Ambiental**. 2001. 322f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – FFLCH, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2001.

ROSS, J.L.S; MOROS, I.C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: FFLCH – USP/ IPT/ FAPESP, 1997.

ROSSETTI, L.A.F.G. **Geotecnologias aplicadas à caracterização e mapeamento das alterações da cobertura vegetal intra-urbana e da expansão urbana da cidade de Rio Claro (SP)**. 2007. 115 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.

SANCHEZ, M. C. A propósito das cartas de declividade. SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA APLICADA, 1993. **Anais...** São Paulo, FFLCH. n 5, p. 311-314, 1993.

SILVEIRA, A. **Diagnóstico ambiental do setor noroeste do sítio urbano de Piracicaba (SP): uma abordagem geográfica**. 2009. 178 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

SILVEIRA, A. **Proposta metodológica para avaliação dos níveis de restrição do relevo ao uso urbano**. 2013. 183 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2013.

SOUZA, T. A.; OLIVEIRA, R. C. Avaliação da potencialidade de imagens tridimensionais em meio digital para o mapeamento geomorfológico. **Revista Geonorte**. Manaus, Edição Especial, n. 4, v. 2, p. 1348-1355, jun. 2012.

SPIRIDONOV, A.I. **Principios de la Metodologia de las Investigaciones de Campo y el Mapeo Geomorfológico**. Havana: Universidad de la Havana, Facultad de Geografia, 1981.

TRICART, J. **Principes et methods de la geomorphologie**. Paris: Masson, 1965.

_____. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE-SUPREN, 1977.

VERSTAPPEN, H.T.; ZUIDAN, R.A. van. **ITC System of geomorphological survey**. In: _____. **ITC Textbook of Photo-Interpretation**. Enschede: International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences, 1975.

ZAINE, J. E. **Geologia da Formação Rio Claro na folha Rio Claro (SP)**. Dissertação (Mestrado Geociências e Geologia Regional). IGCE. UNESP. Rio Claro, 1994.

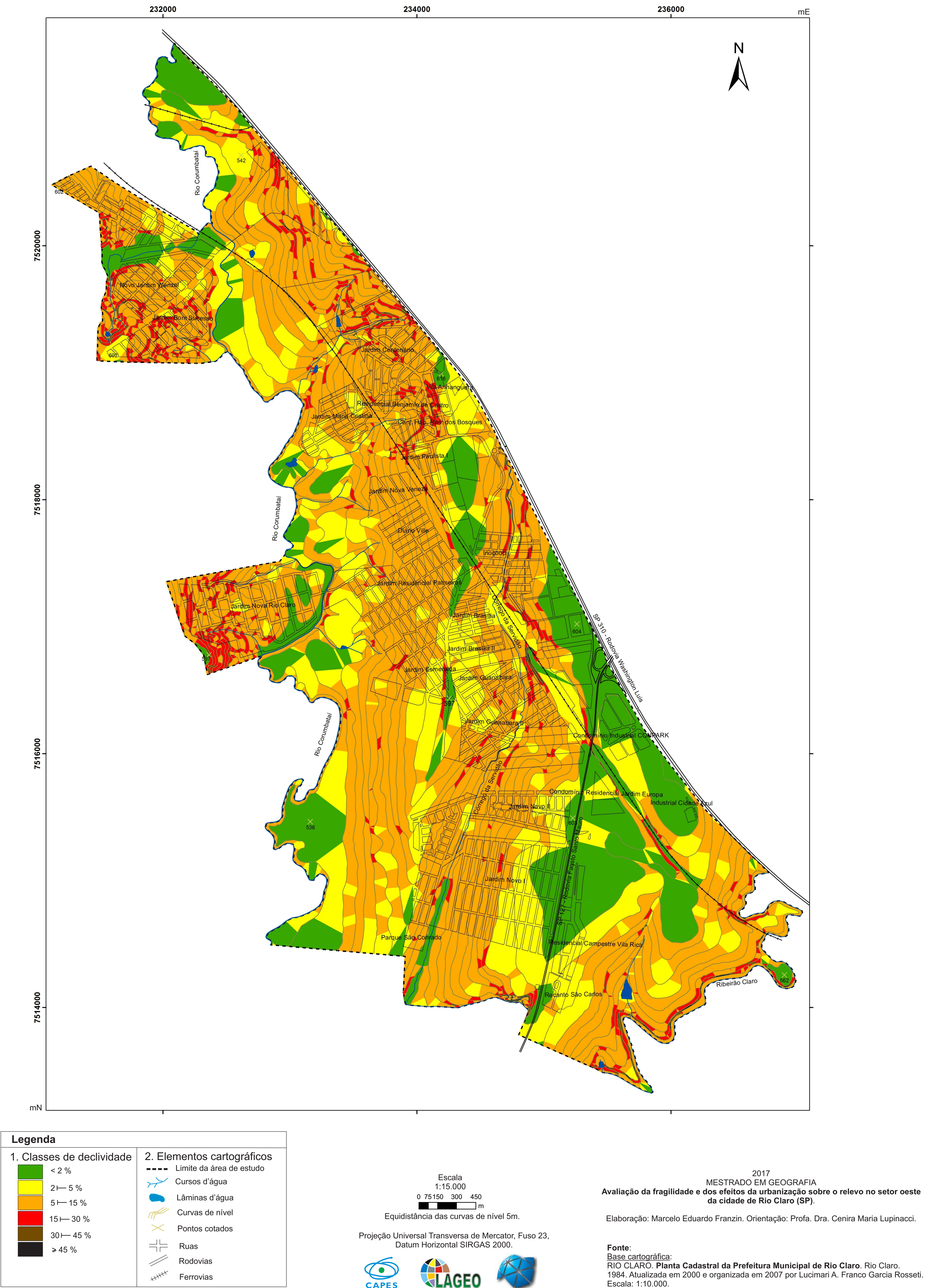
ZAINE, J. E. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)**. Tese (Doutorado Geociências e Meio Ambiente). IGCE. UNESP. Rio Claro, 2000.

ZANATTA, F. A. S. **Roteiro para construção da carta de dissecação horizontal**. Rio Claro, 2015a.

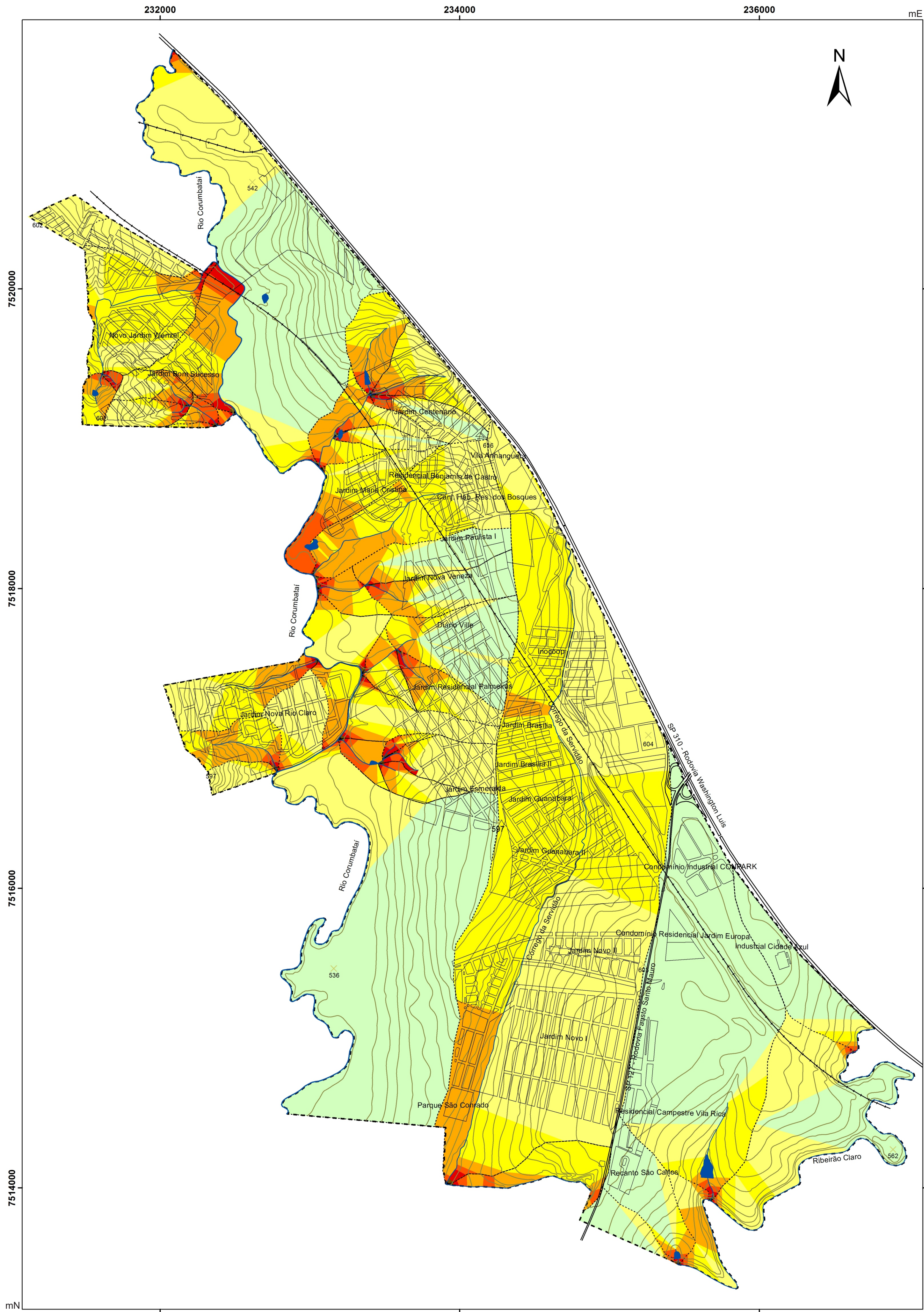
_____. **Roteiro para construção da carta de dissecação vertical**. Rio Claro, 2015b.

ZANATTA, F. A. S.; FERREIRA, M. V. **Roteiro dos procedimentos para elaboração da carta de energia do relevo**. Rio Claro, 2015.

Apêndice A - Carta de declividade do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP)



Apêndice B - Carta de dissecação horizontal do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP)



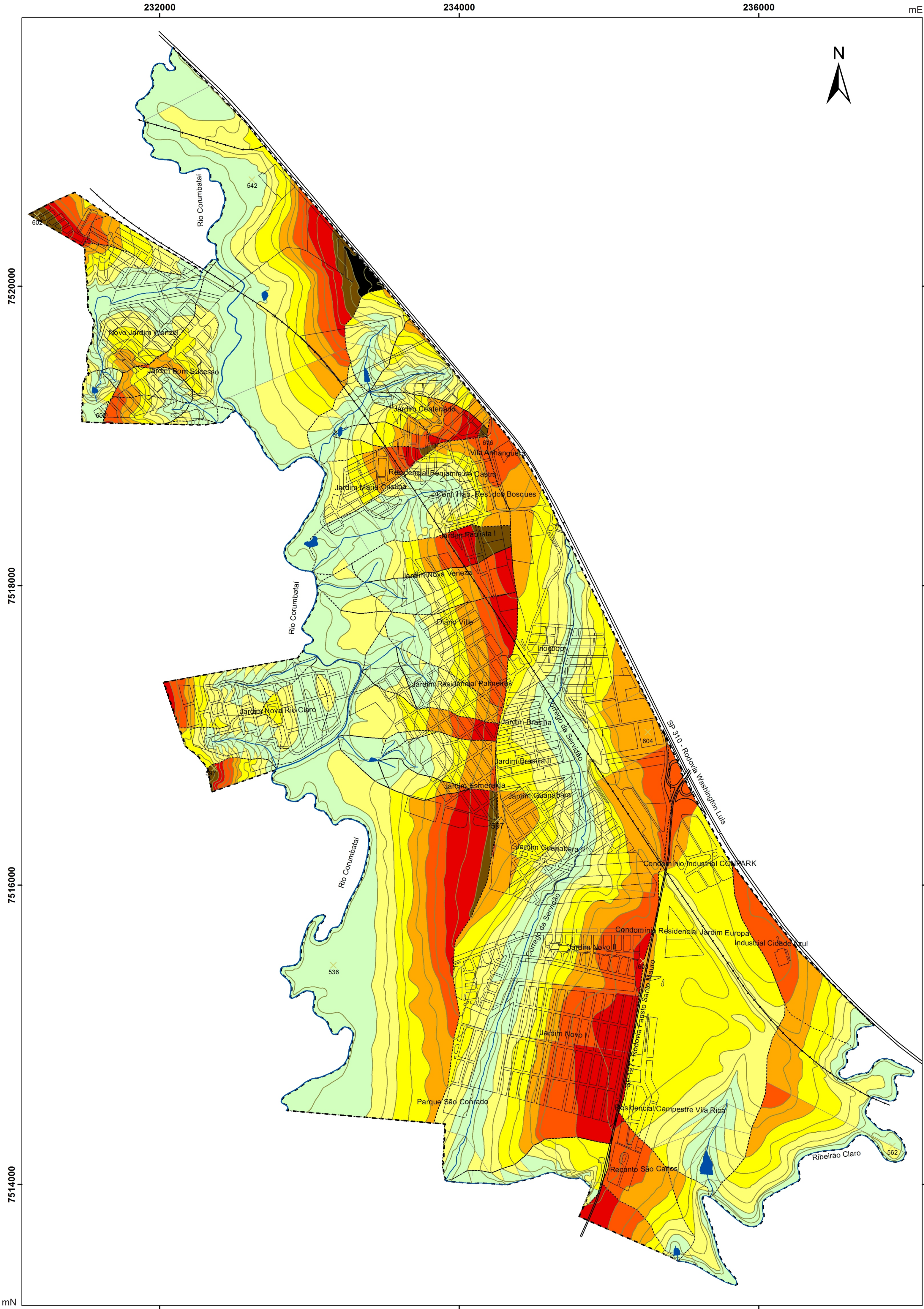
Legenda	
1. Classes de dissecação horizontal (m)	2. Elementos cartográficos

Escala
1:15.000
0 75 150 300 450 m
Equidistância das curvas de nível 5m.
Projeção Universal Transversa de Mercator, Fuso 23,
Datum Horizontal SIRGAS 2000.



2017
MESTRADO EM GEOGRAFIA
Avaliação da fragilidade e dos efeitos da urbanização sobre o relevo no setor oeste da cidade de Rio Claro (SP).
Elaboração: Marcelo Eduardo Franzin. Orientação: Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci.
Fonte:
Base cartográfica:
RIO CLARO. **Planta Cadastral da Prefeitura Municipal de Rio Claro.** Rio Claro.
1984. Atualizada em 2000 e organizada em 2007 por Lucimari A. Franco Garcia Rosseti.
Escala: 1:10.000.

Apêndice C - Carta de dissecação vertical do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP)



Legenda

1. Classes de dissecação vertical (m)

< 10
10— 20
20— 30
30— 40
40— 50
50— 60
60— 70
≥ 70

2. Elementos cartográficos

--- Limite da área de estudo
----- Limite das bacias hidrográficas
~ Cursos d'água
~ Lâminas d'água
~ Curvas de nível
× Pontos cotados
+ Ruas
== Rodovias
+++ Ferrovias

Escala
1:15.000
0 75 150 300 450 m

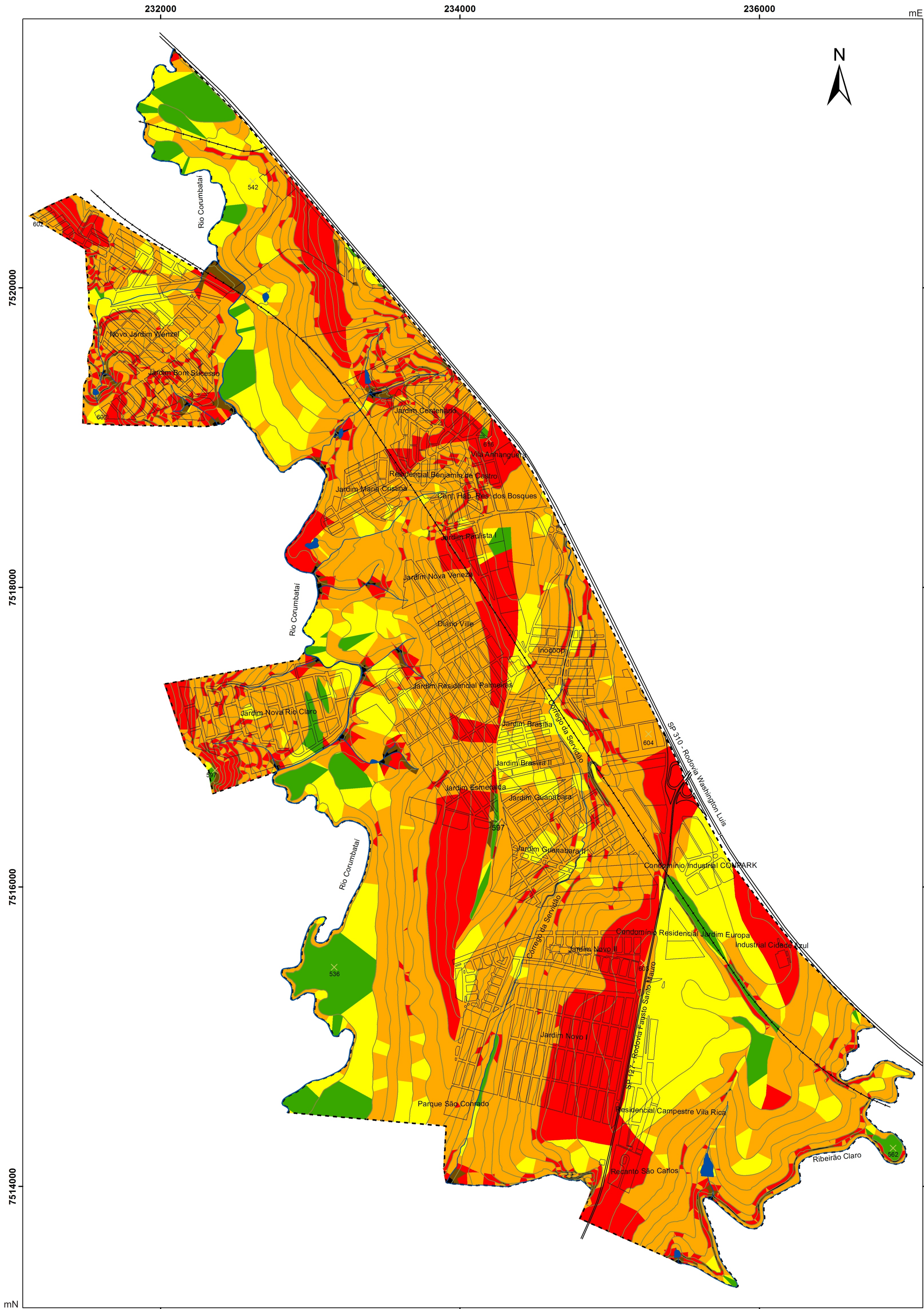
Equidistância das curvas de nível 5m.

Projeção Universal Transversa de Mercator, Fuso 23,
Datum Horizontal SIRGAS 2000.

2017
MESTRADO EM GEOGRAFIA
Avaliação da fragilidade e dos efeitos da urbanização sobre o relevo no setor oeste da cidade de Rio Claro (SP).
Elaboração: Marcelo Eduardo Franzin. Orientação: Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci.

Fonte:
Base cartográfica:
RIO CLARO. **Planta Cadastral da Prefeitura Municipal de Rio Claro.** Rio Claro.
1984. Atualizada em 2000 e organizada em 2007 por Lucimari A. Franco Garcia Rosseti.
Escala: 1:10.000.

Apêndice D - Carta de energia do relevo do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP)



Legenda	
1. Classes de energia do relevo	2. Elementos cartográficos
Muito fraca	Limite da área de estudo
Fraca	Cursos d'água
Média	Lâminas d'água
Medianamente forte	Curvas de nível
Forte	Pontos cotados
Muito forte	Ruas
	Rodovias
	Ferrovias

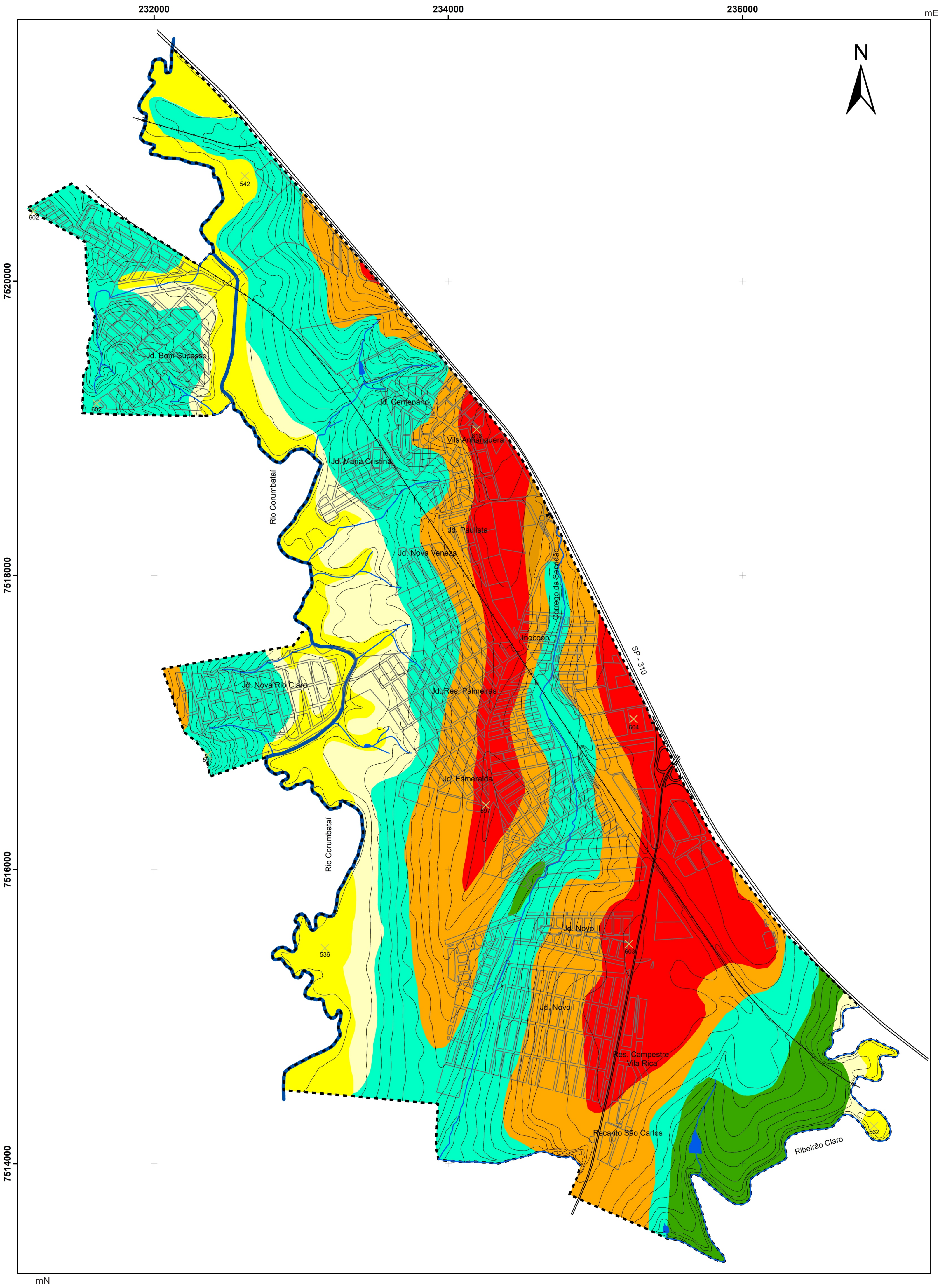
Escala
1:15.000
0 75 150 300 450 m
Equidistância das curvas de nível 5m.
Projeção Universal Transversa de Mercator, Fuso 23,
Datum Horizontal SIRGAS 2000.



2017
MESTRADO EM GEOGRAFIA
Avaliação da fragilidade e dos efeitos da urbanização sobre o relevo no setor oeste da cidade de Rio Claro (SP).

Elaboração: Marcelo Eduardo Franzin. Orientação: Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci.
Fonte:
Base cartográfica:
RIO CLARO. **Planta Cadastral da Prefeitura Municipal de Rio Claro.** Rio Claro, 1984. Atualizada em 2000 e organizada em 2007 por Lucimari A. Franco Garcia Rosseti. Escala: 1:10.000.
Dados morfométricos:
FRANZIN, M. E. **Carta de declividade do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP).** Rio Claro, 2016. Escala 1:10.000.
FRANZIN, M. E. **Carta de dissecação horizontal do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP).** Rio Claro, 2016. Escala 1:10.000.
FRANZIN, M. E. **Carta de dissecação vertical do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP).** Rio Claro, 2016. Escala 1:10.000.

Apêndice E - Carta de materiais inconsolidados do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP)



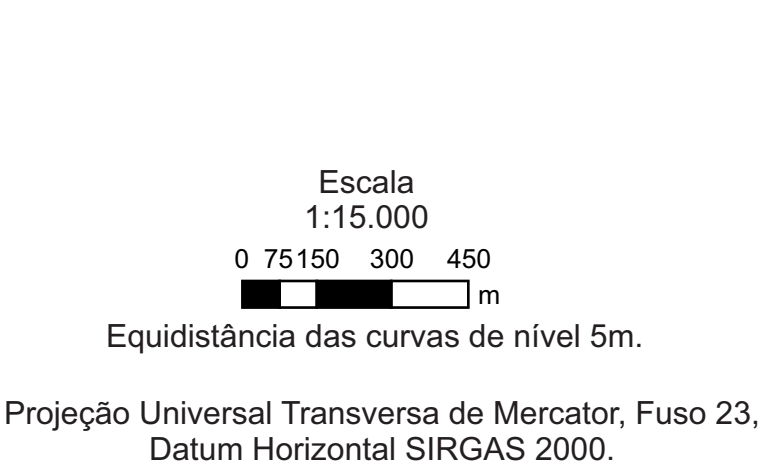
Legenda

1. Cobertura de materiais inconsolidados

- 1. Material argiloso marrom arroxeado, com pouca espessura (< 2m).
- 2. Material coluvionar argiloso, marrom escuro avermelhado, apresenta pequena espessura e pode conter blocos e lages de diabásio.
- 3. Material coluvionar arenoso, marrom avermelhado, espesso (média de 25 a 30m), associado a vertentes de meia encosta.
- 4r. Material residual vermelho-amarelo escuro, pode apresentar espessura de até 10m, existe uma passagem gradativa entre o solo do alto da colina ampla e solo coluvionar dos flancos e dos vales.
- 4c. Material areno-argiloso, amarelo acinzentado, com profundidade entre 10 a 25m.
- 5. Material arenoso e argiloso, de cores cinza claro a escuro, associado a terraços e depósitos sedimentares, cerca de 10 a 15m acima do nível atual do rio Corumbataí e do ribeirão Claro.
- 6. Material coluvionar hidromórfico, associado a planícies aluvionares, com espessura inferior a 5m, solos hidromórficos e orgânicos.

2. Elementos cartográficos

- Limite da área de estudo
- Cursos d'água
- Lâminas d'água
- Curvas de nível
- Pontos cotados
- Ruas
- Rodovias
- Ferrovias

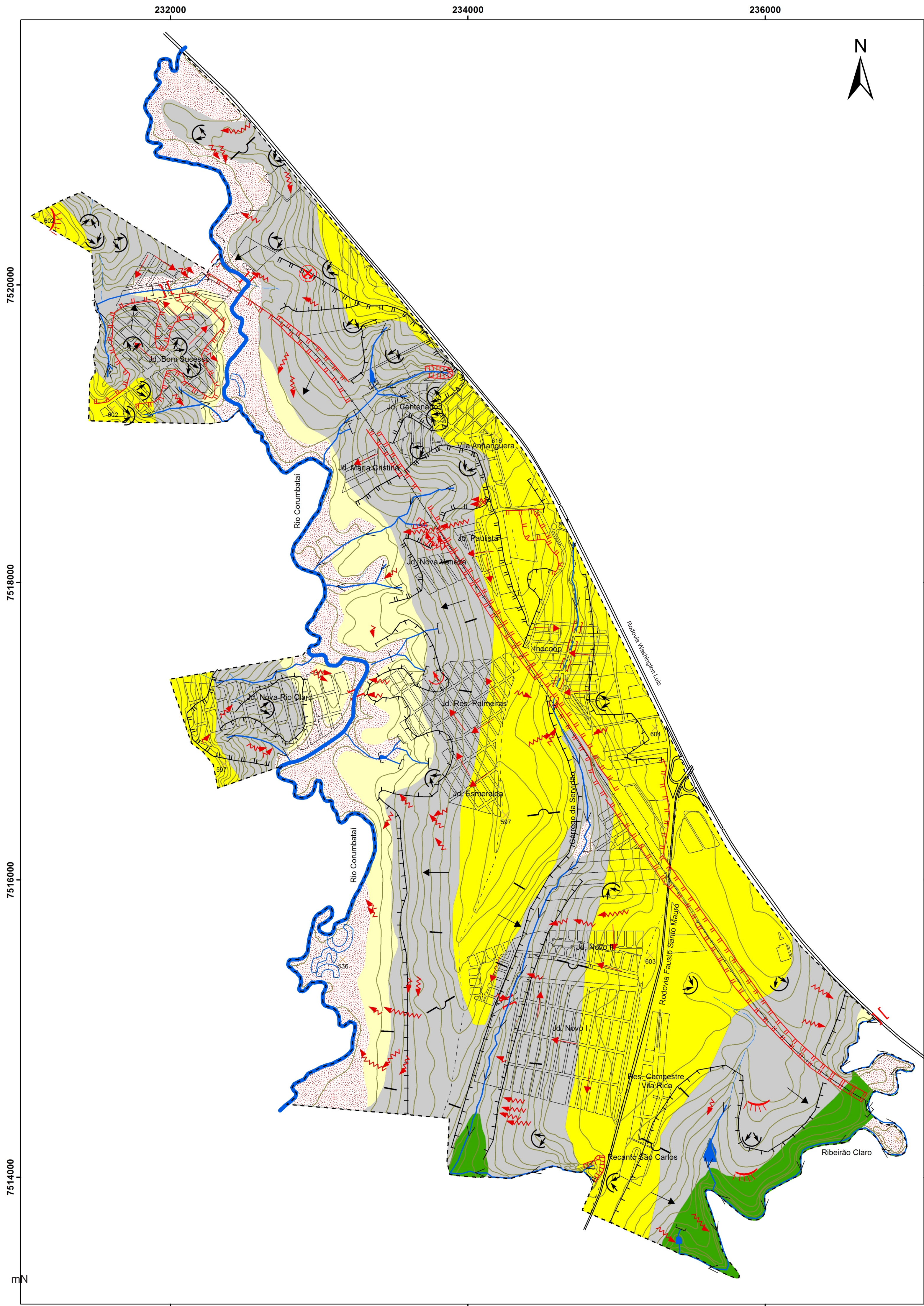


2017
MESTRADO EM GEOGRAFIA
Avaliação da fragilidade e dos efeitos da urbanização sobre o relevo no setor oeste da cidade de Rio Claro (SP).

Elaboração: Marcelo Eduardo Franzin. Orientação: Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci.

Fonte:
Base cartográfica:
RIO CLARO. Planta Cadastral da Prefeitura Municipal de Rio Claro. Rio Claro.1984. Atualizada em 2000 e organizada em 2007 por Lucimari A. Franco Garcia Rosseti. Escala: 1:10.000.
Cobertura de materiais inconsolidados:
ZAINE, J. E. Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método de detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP). Tese (Doutorado Geociências e Meio Ambiente). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

Apêndice F - Carta geomorfológica do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP) - cenário de 1988.



Legenda

1. Litologia

- Era Cenozóica - Formação Rio Claro
- Era Mesozóica - Formação Serra Geral
- Era Paleozóica - Formação Corumbataí

2. Formas de vertentes e interflúvios

2.1 Linha de cumeada

- Arredondada

2.2 Formas de vertentes

- Côncavas
- Convexas
- Retilíneas
- Irregulares

2.3 Feições topográficas e morfométricas

- Caimento topográfico
- Curvas de nível
- Pontos cotados

2.4 Feições localizadas - denudacionais

- Sulco erosivo
- Voçoroca

3. Ação das águas correntes

3.1 Modelado de entalhe

- Formas de vale em V (encaixado)
- Formas de vale com fundo plano
- Ruptura topográfica abrupta
- Ruptura topográfica suave

3.2 Formas de acumulação

- Planície fluvial
- Terraço fluvial

3.3 Dados hidrográficos

- Cursos d'água
- Rio Corumbataí
- Canal pluvial
- Meandro abandonado
- Lâminas d'água

4. Modelado antrópico

- Pontes
- Ruptura topográfica antrópica
- Caimento topográfico antrópico
- Terraço agrícola

Hidrografia canalizada

- Nascente aterrada
- Saída de cursos fluviais canalizados
- Cava de mineração desativada

5. Elementos cartográficos

- Limite da área de estudo
- Ruas
- Rodovias
- Ferrovias

Escala

1:15.000

0 75 150 300 450 m

Equidistância das curvas de nível 5m.

Projeção Universal Transversa de Mercator, Fuso 23, Datum Horizontal SIRGAS 2000.

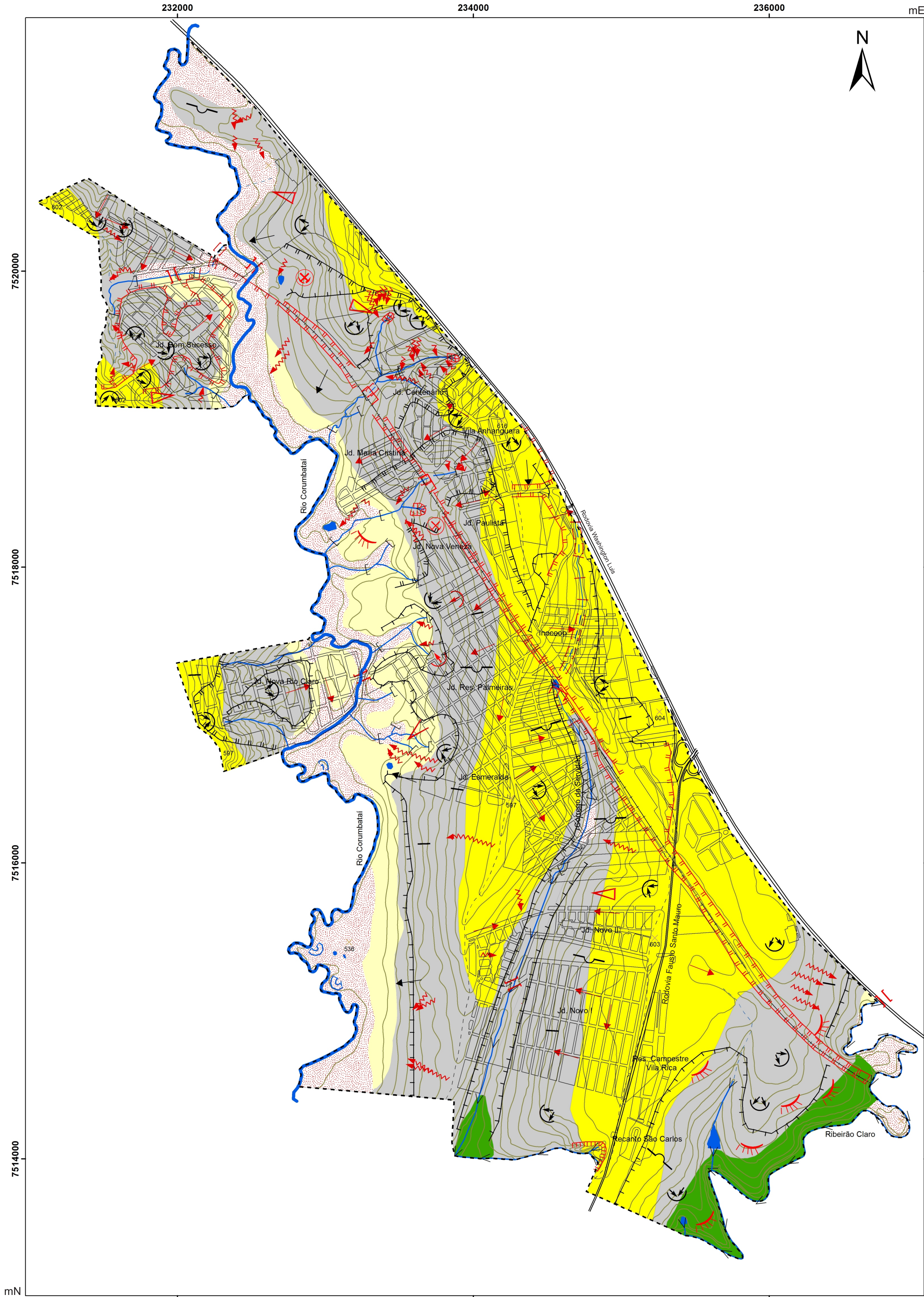


2017
MESTRADO EM GEOGRAFIA
Avaliação da fragilidade e dos efeitos da urbanização sobre o relevo no setor oeste da cidade de Rio Claro (SP).

Elaboração: Marcelo Eduardo Franzin.
Orientação: Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci.

Fonte:
Base cartográfica:
RIO CLARO. Planta Cadastral da Prefeitura Municipal de Rio Claro. Rio Claro. 1984. Atualizada em 2000 e organizada em 2007 por Lucimari A. Franco Garcia Rosseti. Escala: 1:10.000.
Fotografias aéreas:
TERRA FOTO S/A ATIVIDADES DE AEROLEVANTAMENTO. Levantamento aerofotogramétrico de 1988. São Paulo, 1988. Escala 1:40.000.
Dados litológicos:
ZAINE, J. E. Geologia da Formação Rio Claro na folha Rio Claro (SP). Dissertação (Mestrado em Geociências e Geologia Regional). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1994.
ZAINE, J. E. Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método de detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP). Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

Apêndice G - Carta geomorfológica do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP) - cenário de 2010.



Legenda

1. Litologia

- Era Cenozóica - Formação Rio Claro
- Era Mesozóica - Formação Serra Geral
- Era Paleozóica - Formação Corumbataí

2. Formas de vertentes e interflúvios

2.1 Linha de cumeada

- Arredondada

2.2 Formas de vertentes

- Côncavas
- Convexas
- Retilíneas
- Irregulares

2.3 Feições topográficas e morfométricas

- Caimento topográfico
- Curvas de nível
- Pontos cotados

2.4 Feições localizadas - denudacionais

- Sulco erosivo
- Ravina
- Voçoroca

3. Ação das águas correntes

3.1 Modelado de entalhe

- Formas de vale em V (encaixado)
- Formas de vale com fundo plano
- Ruptura topográfica abrupta
- Ruptura topográfica suave

3.2 Formas de acumulação

- Planície fluvial
- Terraço fluvial

3.3 Dados hidrográficos

- Cursos d'água
- Rio Corumbataí
- Canal pluvial
- Meandro abandonado
- Lâminas d'água

4. Modelado antrópico

- Pontes
- Ruptura topográfica antrópica
- Caimento topográfico antrópico
- Terraço agrícola
- Hidrografia canalizada

5. Elementos cartográficos

- Canal fluvial retificado
- Nascente aterrada
- Saída de cursos fluviais canalizados
- Cava de mineração desativada
- Limite da área de estudo
- Ruas
- Rodovias
- Ferrovias

2017

MESTRADO EM GEOGRAFIA

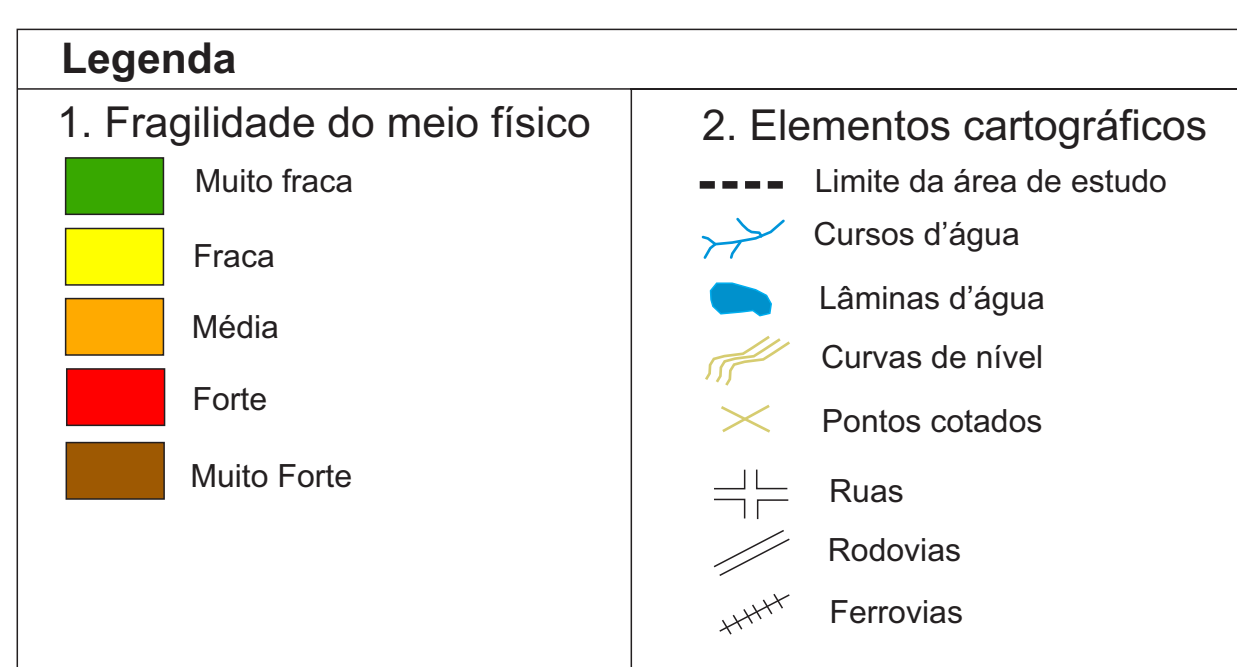
Avaliação da fragilidade e dos efeitos da urbanização sobre o relevo no setor oeste da cidade de Rio Claro (SP).

Elaboração: Marcelo Eduardo Franzin.
Orientação: Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci.

Fonte:
Base cartográfica:
RIO CLARO. **Planta Cadastral da Prefeitura Municipal de Rio Claro.** Rio Claro. 1984. Atualizada em 2000 e organizada em 2007 por Lucimari A. Franco Garcia Rosseti. Escala: 1:10.000.
Fotografias aéreas:
PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO CLARO. **Levantamento aerofotogramétrico de 2010.** Rio Claro, 2010. Escala 1:1.000.
Dados litológicos:
ZAINE, J. E. **Geologia da Formação Rio Claro na folha Rio Claro (SP).** Dissertação (Mestrado em Geociências e Geologia Regional). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1994.
ZAINE, J. E. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método de detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP).** Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

Escala
1:15.000
0 75 150 300 450 m
Equidistância das curvas de nível 5m.

Projeção Universal Transversa de Mercator, Fuso 23,
Datum Horizontal SIRGAS 2000.



Escala
 1:15.000
 0 75 150 300 450 m
 Equidistância das curvas de nível 5m.
 Projeção Universal Transversa de Mercator, Fuso 23,
 Datum Horizontal SIRGAS 2000.



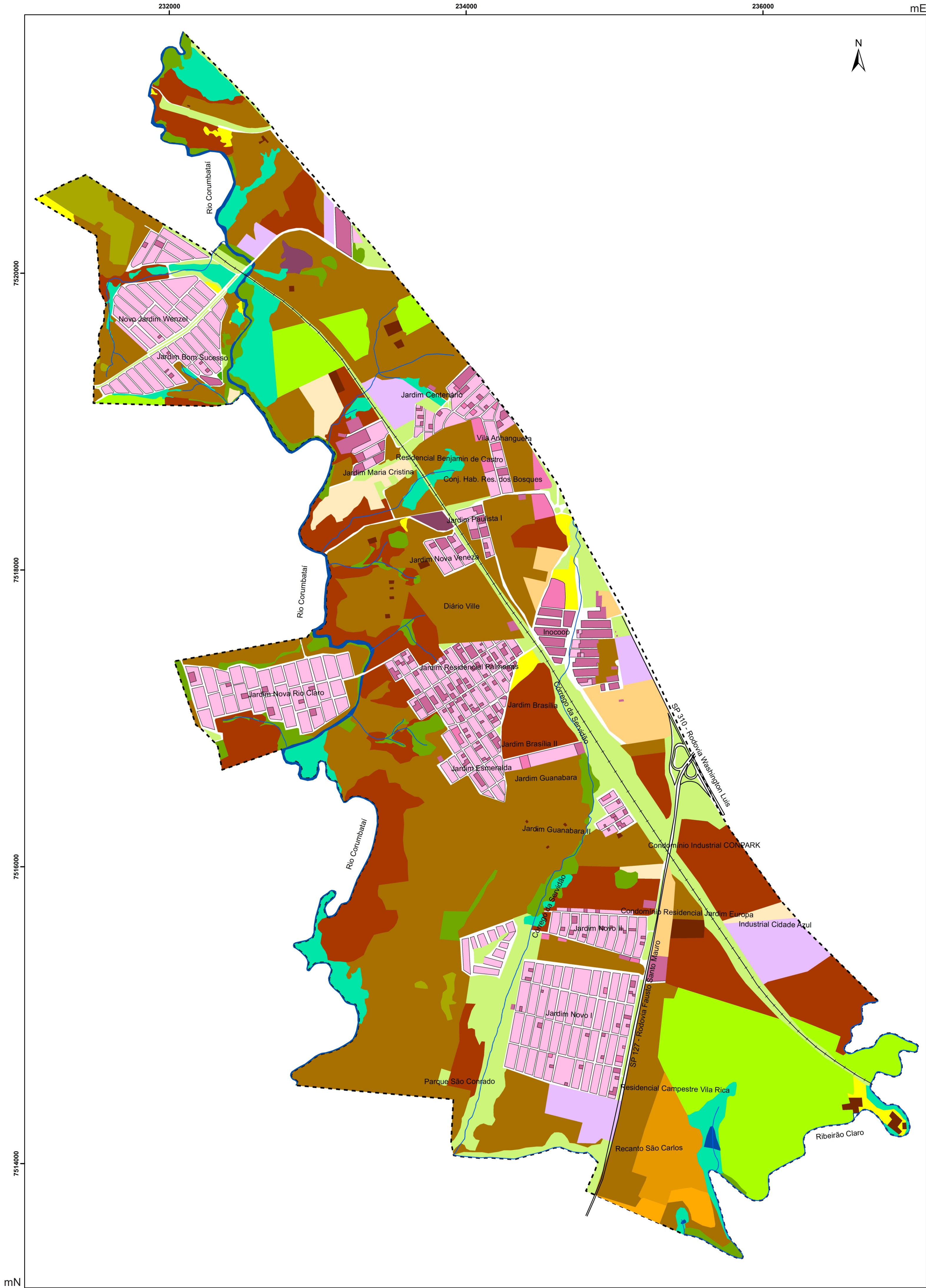
2017
MESTRADO EM GEOGRAFIA
Avaliação da fragilidade e dos efeitos da urbanização sobre o relevo no setor oeste da cidade de Rio Claro (SP).

Elaboração: Marcelo Eduardo Franzin. Orientação: Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci.

Fonte:
Base cartográfica:
RIO CLARO. **Planta Cadastral da Prefeitura Municipal de Rio Claro**. Rio Claro.1984.
Atualizada em 2000 e organizada em 2007 por Lucimari A. Franco Garcia Rosseti.
Escala: 1:10.000.

Dados de fragilidade do meio físico:
FRANZIN, M. E. **Carta de energia do relevo do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP)**.
Rio Claro, 2016. Escala 1:10.000.
FRANZIN, M. E. **Carta de materiais inconsolidados do setor oeste da cidade de Rio
Claro (SP)**. Rio Claro, 2016. Escala 1:10.000.
FRANZIN, M. E. **Carta geomorfológica do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP) -
Cenário de 2010**. Rio Claro, 2016. Escala 1:10.000.

Apêndice I - Carta de uso da terra e cobertura vegetal do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP), cenário de 1988.



Legenda		
1. Uso da terra		
Área industrial	Lotes edificados	2. Elementos cartográficos
Área verde urbana	Lotes parcialmente edificadas	
Cana	Lotes sem edificação	
Chácaras	Mata	
Citrus	Mineração abandonada	
Clube social e esportivo	Pasto limpo	Ruas
Cobertura herbácea	Pasto sujo	Rodovias
Construções rurais	Silvicultura	Ferrovias
Cultura anual	Solo exposto	
Horticultura	Vegetação herbácea	

2017

MESTRADO EM GEOGRAFIA

Avaliação da fragilidade e dos efeitos da urbanização sobre o relevo no setor oeste da cidade de Rio Claro (SP).

Elaboração: Marcelo Eduardo Franzin. Orientação: Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci.

Escala

1:15.000

0 75 150 300 450 m

Projeção Universal Transversa de Mercator, Fuso 23, Datum Horizontal SIRGAS 2000.

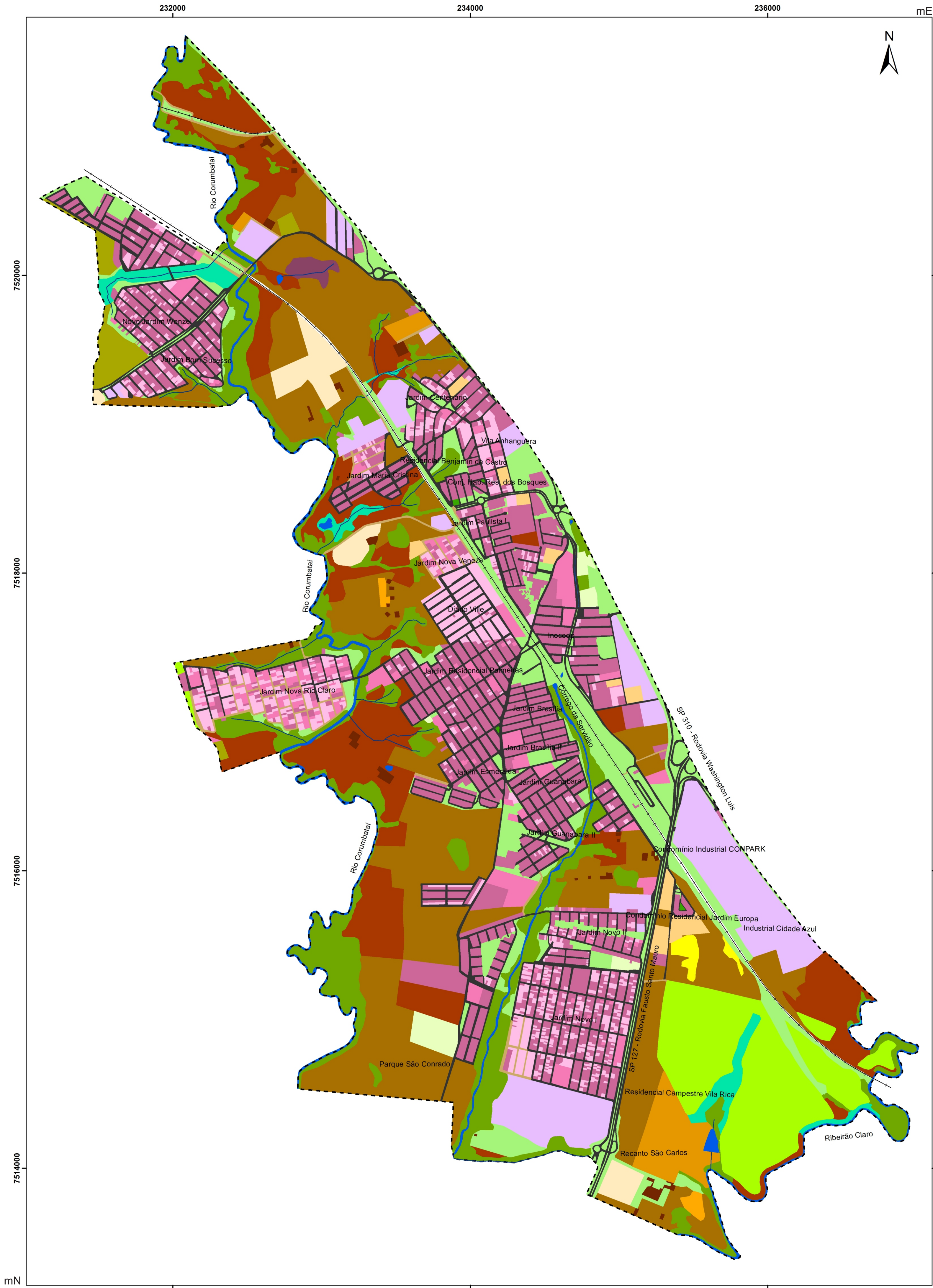
Fonte:

Base cartográfica: RIO CLARO. **Planta Cadastral da Prefeitura Municipal de Rio Claro.** Rio Claro. 1984. Atualizada em 2000 e organizada em 2007 por Lucimari A. Franco Garcia Rosseti. Escala: 1:10.000.

Fotografias aéreas: TERRA FOTO S/A ATIVIDADES DE AEROLEVANTAMENTO. **Levantamento aerofotogramétrico de 1988.** São Paulo, 1988. Escala 1:40.000.

Convenções de uso da terra: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de uso da terra.** Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento; Orçamento e Gestão; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE; Diretoria de Geociências; Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2. ed., 2006, 91 p. _

Apêndice J - Carta de uso da terra e cobertura vegetal do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP), cenário de 2010



Legenda

1. Uso da terra e cobertura vegetal

- | | |
|-------------------------------|-----------------------|
| Área industrial | Lotes sem edificação |
| Área verde urbana | Mata |
| Cana | Mineração abandonada |
| Chácaras | Pasto limpo |
| Citrus | Pasto sujo |
| Clube social e esportivo | Silvicultura |
| Cobertura herbácea | Solo exposto |
| Construções rurais | Vegetação herbácea |
| Cultura anual | Vias pavimentadas |
| Horticultura | Vias sem pavimentação |
| Lotes edificados | |
| Lotes parcialmente edificados | |

2. Elementos cartográficos

- Limite da área de estudo
- Cursos d'água
- Lâminas d'água
- Rodovias
- Ferrovias

Escala
1:15.000
0 75 150 300 450 m

Projeção Universal Transversa de Mercator, Fuso 23, Datum Horizontal SIRGAS 2000.

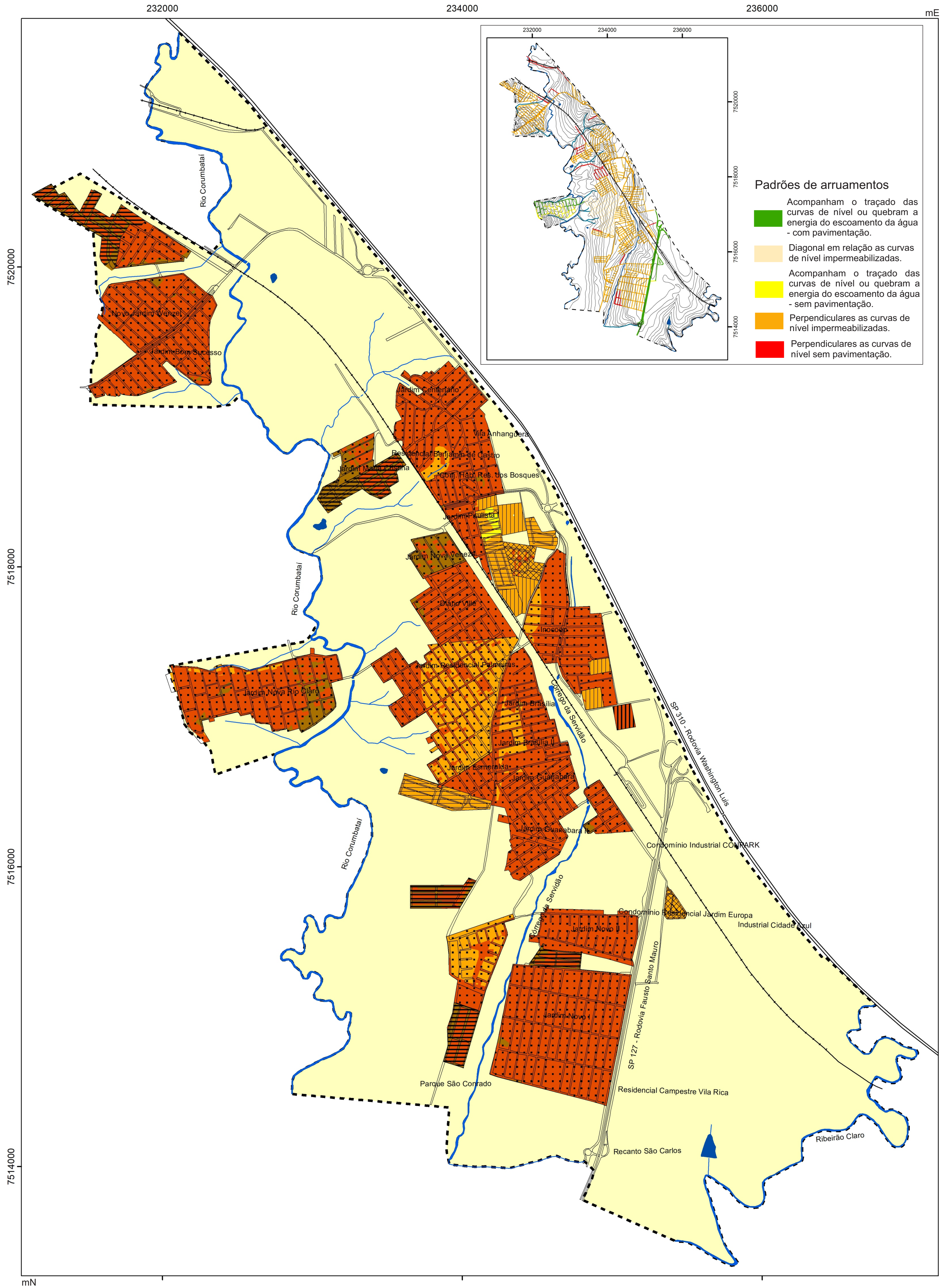


2017
MESTRADO EM GEOGRAFIA
Avaliação da fragilidade e dos efeitos da urbanização sobre o relevo no setor oeste da cidade de Rio Claro (SP).

Elaboração: Marcelo Eduardo Franzin. Orientação: Profa. Dra. Ceníra Maria Lupinacci.

Fonte:
Base cartográfica:
RIO CLARO. **Planta Cadastral da Prefeitura Municipal de Rio Claro**. Rio Claro. 1984. Atualizada em 2000 e organizada em 2007 por Lucimari A. Franco Garcia Rosseti. Escala: 1:10.000.
Fotografias aéreas:
PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO CLARO. **Levantamento aerofotogramétrico de 2010**. Rio Claro, 2010. Escala 1:1.000.
Convenções de uso da terra:
INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de uso da terra**. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento; Orçamento e Gestão; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE; Diretoria de Geociências; Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2. ed., 2006, 91 p. _

Apêndice L - Carta de fragilidade ambiental associada aos padrões urbanos do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP).



Legenda

1. Fragilidade ambiental associada aos padrões urbanos

Fraca

Média

Forte

Muito Forte

2. Padrões urbanos

Condomínio horizontal

Condomínio vertical

Conjunto habitacional horizontal

Conjunto habitacional vertical

Loteamento aberto

Loteamento fechado

3. Elementos cartográficos

Limite da área de estudo

Cursos d'água

Lâminas d'água

Ruas

Rodovias

Ferrovias

N

Escala

1:15.000

0 75 150 300 450 m

Projeção Universal Transversa de Mercator, Fuso 23,

Datum Horizontal SIRGAS 2000.

2017

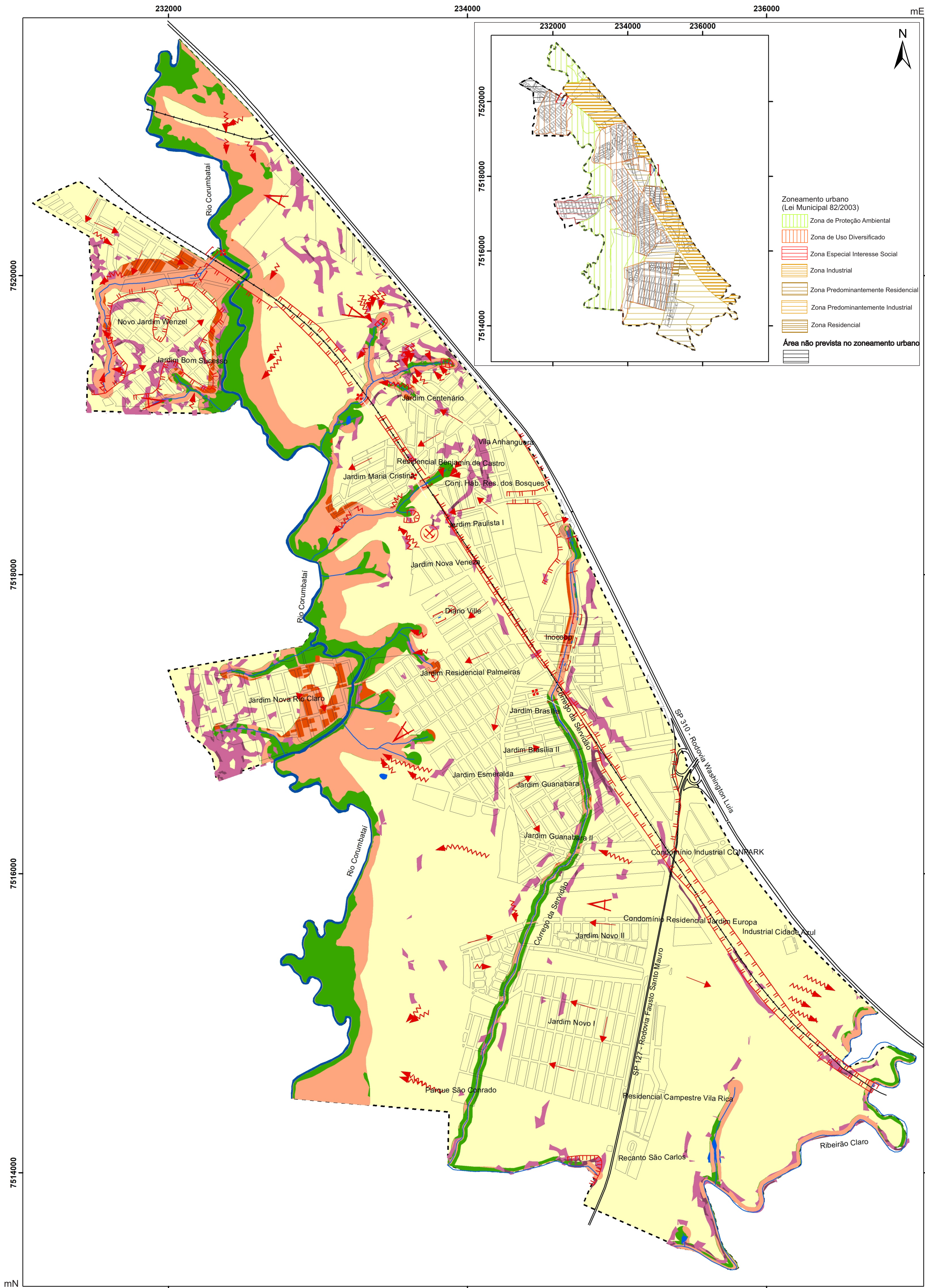
MESTRADO EM GEOGRAFIA

Avaliação da fragilidade e dos efeitos da urbanização sobre o relevo no setor oeste da cidade de Rio Claro (SP).

Elaboração: Marcelo Eduardo Franzin. Orientação: Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci.

Fonte:
Base cartográfica:
RIO CLARO. **Planta Cadastral da Prefeitura Municipal de Rio Claro.** Rio Claro.1984. Atualizada em 2000 e organizada em 2007 por Lucimari A. Franco Garcia Rosseti. Escala: 1:10.000.
Dados de fragilidade ambiental:
FRANZIN, M. E. **Carta de fragilidade do meio físico do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP).**Rio Claro, 2017. Escala 1:10.000.
FRANZIN, M. E. **Carta de uso da terra do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP) - cenário de 2010.** Rio Claro, 2017. Escala 1:10.000.

Apêndice M - Carta de transgressões legais e derivações ambientais do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP).



2017
MESTRADO EM GEOGRAFIA
Avaliação da fragilidade e dos efeitos da urbanização sobre o relevo no setor oeste da cidade de Rio Claro (SP).

Elaboração: Marcelo Eduardo Franzin.
Orientação: Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci.

Fonte:
Dados de declividade:
FRANZIN, M. E. **Carta de declividade do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP)**. Rio Claro, 2016. Escala 1:10.000.
Dados geomorfológicos:
FRANZIN, M. E. **Carta geomorfológica do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP) - cenário de 2010**. Rio Claro, 2016. Escala 1:10.000.
Dados de uso da terra:
FRANZIN, M. E. **Carta de uso da terra do setor oeste da cidade de Rio Claro (SP) - cenário de 2010**. Rio Claro, 2016. Escala 1:10.000.
Legislação:
BRASIL. Lei Federal nº 6.766, de 19/12/1979. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]. Brasília, DF, 20 dez. 1979. Disponível em:
<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6766.htm>. Acesso: 03 nov. 2013.
RIO CLARO. Lei Municipal nº 072/08. **Plano diretor e normas complementares**. Rio Claro, SP, 27 dez. 2007. Rio Claro: 2008.
RIO CLARO. Lei Municipal n. 082/13. **Lei Complementar**. Rio Claro, SP, 25 set 2013. Rio Claro, 2013. Disponível em:
<http://www.rioclaro.sp.gov.br/pd/arquivos/pd_2013/4-LEI-COMPLEMENTAR-N082.pdf> Acessado em 20/05/2016.

Escala
1:15.000
0 75 150 300 450 m
Equidistância das curvas de nível 5m.

Projeção Universal Transversa de Mercator, Fuso 23,
Datum Horizontal SIRGAS 2000.

