

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em ENGENHARIA AMBIENTAL

AUXÍLIO DO GEOPROCESSAMENTO PARA A GERAÇÃO DO MAPA DE
SUSCETIBILIDADE À EROSÃO: O CASO DO CÓRREGO MANDU, RIO CLARO/SP.

Alessandra Milano Silva

Rio Claro (SP)

2010

ALESSANDRA MILANO SILVA

**AUXÍLIO DO GEOPROCESSAMENTO PARA A
GERAÇÃO DO MAPA DE SUSCETIBILIDADE À
EROSÃO: O CASO DO CÓRREGO MANDU, RIO
CLARO/SP**

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro (SP), da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientadora: Andréia Medinilha Pancher

Rio Claro (SP)
2010

ALESSANDRA MILANO SILVA

AUXÍLIO DO GEOPROCESSAMENTO PARA A GERAÇÃO DO
MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO: O CASO DO
CÓRREGO MANDU, RIO CLARO/SP.

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro (SP), da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Comissão Examinadora
Profa. Dra. Andréia Medinilha Pancher
Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci da Cunha
Prof. Dr. Manuel B. Rolando Berríos Godoy

Rio Claro, 23 de novembro de 2010.

Alessandra Milano Silva
Aluna

Profa. Dra. Andréia Medinilha Pancher
Orientadora

*À Neusa Maria Milano Silva, Vail Anisio Silva,
Rafael Milano Silva, Lucas Milano Silva e Paulo Roberto Bozza.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus...

Agradeço a minha querida mãe, Neusa, por ser simplesmente a mulher mais linda, amada, carinhosa, compreensiva e dedicada do mundo, por ser a minha melhor amiga. Por tornar os momentos difíceis um pouco mais toleráveis. E por ter me ensinado a viver.

Ao meu pai, Vail, por ser o meu exemplo de perseverança, por me mostrar as dificuldades da vida e de como a enfrentá-las. Por ter me compreendido durante estes anos todos.

Gostaria de agradecer meus avôs Joana, Antônio, Aparecida e Joaquim que guiaram meus primeiros anos de vida e que sempre me recebem com um sorriso largo. E meus irmãos, Rafael e Lucas, por me divertirem muito.

Ao meu amado, Paulo, por sempre me incentivar na busca da realização dos meus sonhos e realizar alguns quando foi possível. E por ter cumprido com a promessa de me fazer feliz.

Agradeço aos meus amigos pela força em todos os momentos e aos meus inimigos por me tornar mais forte. Aos otimistas que me fizeram dar um passo à frente e aos pessimistas que ao botarem em prova a minha capacidade, fizeram que eu fosse mais longe ainda, em busca do meu melhor.

As minhas amigas da “facul” de Rio Claro, em especial Helen, Tathy, Daí, Karol e Nathy. A minha amiga de faculdade e cursinho Maria Bernadete. As meninas que conheci na kit. As amigas que obtive em Sorocaba e que nunca esquecerei Tê, Mari, Thalita (Folgada), Vivian, Bixetinha, Lari, Paty e Helo. E as amigas de minha vida Tati Marques, Maira Zaminato e a mamãe Luciana Candido. Todas estarão sempre no meu coração e na minha lista de e-mail (hehehe).

Meus agradecimentos especiais também vão para a minha orientadora Andréia Medinilha Pancher, pela sua dedicação, pelos ensinamentos e principalmente pela paciência. Agradeço todas as pessoas que colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho.

...finalmente, agradeço a Deus por tudo, principalmente por ter posto em minha vida tantas pessoas maravilhosas.

*“O que eu faço é uma gota no meio de um oceano.
Mas sem ela, o oceano será menor.”*
Madre Teresa de Calcutá

RESUMO

A mineração de areia, atualmente, é indispensável para o crescimento urbano, por fornecer insumo para a construção civil. As consequências que esta atividade mineradora desencadeia ao meio ambiente podem ser graves e irreversíveis. Dentre os principais impactos gerados pela extração de areia se destaca a retirada da mata ciliar. A vegetação ciliar é indispensável para o equilíbrio e manutenção do ecossistema local. Diante do exposto, vê-se a importância de realizar estudos ambientais em áreas que tenham extração mineral. O presente trabalho teve por objetivo fundamental avaliar os impactos ambientais desencadeados por uma atividade mineradora, localizada próxima à nascente do córrego Mandu, situado em Ajapi, Distrito do município de Rio Claro-SP. Para o propósito, foram utilizadas técnicas de Sensoriamento Remoto e SIG, para elaborar os mapas temáticos de declividade, pedológico, geológico, de uso e ocupação do solo, e da mata ciliar, utilizando-se os recursos do SIG/ARCGIS. O mapa de declividade foi elaborado com base nos dados do Plano Cartográfico do IGC de 1979, na escala 1:10.000. Para a produção dos mapas pedológico e geológico foram utilizados o Levantamento Pedológico Semi-Detalhado do Estado de São Paulo de 1981 (1:100.000) e o Mapa Geológico de ZAINE (1994), na escala 1:50.000, respectivamente. Já os mapas de Uso e Ocupação do Solo e da Mata Ciliar foram obtidos por meio da interpretação visual da imagem CBERS de 2010, resultante da fusão entre as imagens HRC e CCD. A partir desses mapeamentos e através da análise multicritério, foi elaborado o mapa de susceptibilidade à erosão, que subsidiou a avaliação ambiental da área de estudo, indicando áreas susceptíveis e áreas inadequadas à implantação de atividades econômicas e à expansão urbana. Este estudo serve de modelo podendo ser reproduzido em outras bacias hidrográficas, auxiliando no adequado planejamento do uso e ocupação do solo, com vistas ao uso racional dos recursos naturais.

Palavras-Chave: Mineração; Córrego Mandu; Mapa de Susceptibilidade à Erosão.

ABSTRACT

The mining of sand, currently, is essential for urban growth, by providing input for the building industry. The consequences of this mining activity to environmental triggers may be severe and irreversible. Among the major impacts caused by sand mining the riparian vegetation removal is detached. The riparian vegetation is essential for balance and maintaining the local ecosystem. For all that had been shown, is possible to verify the importance of environmental studies in areas with there are mining. This study aimed specially to assess environmental impacts triggered by a mining, located near the headwaters of the stream Mandu, situated in Ajapi, District of Rio Claro-SP. For this purpose, we used remote sensing techniques and GIS to produce thematic maps of slope, pedology, geology, land use and occupation of the soil, and riparian vegetation, using the capabilities of GIS / ArcGIS. The slope map was based on data from the Cartographic IGC 1979, scale 1:10,000. For the production of pedological and geological maps were used Semi-Detailed soil survey of the state of São Paulo, 1981 (1:100,000) and the Geological Map of Zaine (1994), scale 1:50,000, respectively. Since the maps of Use and Land Occupation and Riparian Forest were obtained by visual interpretation of the image of CBERS 2010 following the merger between the HRC and CCD images. From these mappings, and through multi-criteria analysis, map of susceptibility to erosion was made, which supported the environmental assessment of the studied area, indicating susceptible and unsuitable areas for the deployment of economic activities and urban sprawl. This study serves as a model can be replicated in other watersheds, assisting in the proper use planning and land use, aiming at the rational use of natural resources.

Keywords: Mining; Mandu Creek; Erosion Suscetibility Map.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Produção nacional anual de bens minerais em 2008.....	24
Figura 2: Localização da bacia do córrego Mandu - distrito de Ajapi, Rio Claro/SP.....	31
Figura 3: Fluxograma dos procedimentos metodológicos adotados nessa pesquisa.....	34
Figura 4: Esquema de cálculo na aplicação da análise multicriterial ponderada.....	45
Figura 5: Mapa Pedológico da bacia do córrego Mandu.....	49
Figura 6: Mapa Geológico da bacia do córrego Mandu.....	51
Figura 7: Mapa de Declividade da bacia do córrego Mandu.....	53
Figura 8: Imagens do CBERS dos sensores CCD e HRC antes e depois da fusão.....	54
Figura 9: Mapa de uso e ocupação do solo da bacia do córrego Mandu.....	55
Figura 10: Fotos de feições do uso e ocupação do solo.....	56
Figura 11: Estrutura produtiva da Mineração Mandu.....	58
Figura 12: Mapa de Suscetibilidade à Erosão da bacia do córrego Mandu.....	62
Figura 13: Mapa de áreas não protegidas da bacia do córrego Mandu.....	64
Figura 14: Cruzamento das áreas não protegidas com as áreas de suscetibilidade à erosão...	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Impactos causados ao meio ambiente em cada etapa da mineração de areia.....	22
Tabela 2: Comparação da produção de areia e cascalho entre os E.U.A. e o Brasil.....	25
Tabela 3: Comparação da produção de rocha britada entre os E.U.A. e o Brasil.....	25
Tabela 4: Número de processos de requerimento, autorização de pesquisa e autorização de lavra referente à mineração de areia cadastrados no NPM.....	26
Tabela 5: Pontos cotados.....	36
Tabela 6: Classes de declividade.....	38
Tabela 7: Características gerais dos sensores remotos.....	44
Tabela 8: Análise Multicriterial, influência de cada mapa e pesos às classes.....	43
Tabela 9: Limites mínimos para mata ciliar.....	46
Tabela 10: Limites mínimos para mata ciliar de acordo com Resolução CONAMA.....	46
Tabela 11: Grau de limitação por suscetibilidade à erosão.....	52
Tabela 12: Dados gerais da bacia do córrego Mandu.....	76

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
	2.1 Objetivo geral	13
	2.2 Objetivos específicos	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
	3.1 Geoprocessamento	14
	3.2 Erosão	16
	3.2.1 Fatores naturais influentes da erosão	17
	3.2.2 Suscetibilidade à erosão	18
	3.3 Mineração	19
	3.3.1 Aspectos gerais e impactos gerados ao meio ambiente	19
	3.3.2 Mineração no Brasil e no Estado de São Paulo	24
	3.3.3 Mineração em Rio Claro	25
	3.4 Legislação	26
	3.4.1 Legislação minerária	27
	3.4.2 Legislação ambiental	28
	3.4.3 Legislação a nível municipal	29
4	DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA	29
5	MATERIAL E MÉTODOS	34
	5.1 Material	34
	5.2 Metodologia	35
	5.2.1 Levantamento de dados bibliográficos e cartográficos	35
	5.2.2 Pesquisa em campo	35
	5.2.3 Geração dos mapas temáticos	36
	5.2.4 Mapeamento de suscetibilidade à erosão	42
	5.2.5 Mapeamento da mata ciliar, áreas de proteção permanente e áreas não protegidas pela vegetação ciliar	45
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
	6.1 Análise ambiental de suscetibilidade à erosão: fatores condicionantes à erosão	47
	6.1.1 Pedologia	47
	6.1.2 Geologia	50
	6.1.3 Topografia	52
	6.1.4 Uso e ocupação do solo	54
	6.2 Análise ambiental das áreas de suscetibilidade à erosão	59
	6.3 Análise de compatibilidade da mata ciliar existente com a APP regida por lei	63
7	CONCLUSÕES	66
8	RECOMENDAÇÕES	67
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
	APÊNDICE A	76

1 INTRODUÇÃO

Há aproximadamente doze milênios, o homem vem se adaptando nas diferentes localidades climáticas, geográficas e topográficas, tornando-se um grande agente modificador do ambiente natural (PHILIPPI JR; ROMÉRO; BRUNA, 2004).

O meio ambiente é considerado um sistema ambiental, cujos elementos se integram de maneira que o comportamento de um, influencia no comportamento dos demais e “[...] inclui todos os processos e interações que compõem o ambiente, os fatores físicos e bióticos e os fatores da natureza sócio-econômica, política e institucional” (PHILLIPI JR; MAGLIO, 2005).

Nas últimas décadas pode se observar uma maior preocupação com o meio ambiente, devido à crescente degradação ambiental ocasionada, principalmente, pelo uso indiscriminado de recursos naturais não-renováveis (MUCCI, 2005).

A discussão ambiental no Brasil intensificou-se a partir da década de 70 com a institucionalização de alguns órgãos relacionados com a preservação ambiental como o Ministério do Meio Ambiente, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis e a Secretária do Meio Ambiente, além da criação de algumas leis e como o da Política Nacional do Meio Ambiente em 1981 e a Constituição Federal de 1988 (REIS; FADIGAS; CARVALHO, 2005).

Desde então esta preocupação com o meio ambiente juntamente com a necessidade de inovações tecnológicas que aumentem a competitividade de certos produtos, vem pressionando a economia dos bens não-renováveis, solicitando um modelo de desenvolvimento sustentável (HERMANN, 1992).

A aplicação de normas e leis foi imposta para garantir que os modelos de empreendimentos se aproximem ao máximo do modelo de desenvolvimento sustentável, para minimizar os impactos, principalmente aqueles que causam o esgotamento de recursos naturais não-renováveis, que por muitas vezes são indispensáveis para o desenvolvimento de algumas atividades.

Segundo Derani (1997 apud PHILIPPI JR. e RODRIGUES, 2005), o modelo de desenvolvimento sustentável visa conciliar a limitação dos recursos naturais com o ilimitado crescimento econômico, a fim de solucionar os problemas atuais e assegurar a proteção da vida.

Com base em Venturi (2006), “Recurso natural pode ser definido como qualquer elemento ou aspecto da natureza que esteja em demanda, seja passível de uso ou esteja sendo

usado direta ou indiretamente pelo Homem como forma de satisfação de suas necessidades físicas e culturais, em determinado tempo e espaço [...]”.

Na bacia do córrego Mandu localizada no distrito de Ajapi, destaca-se a Mineração Mandu. Considerando-se que esta mineradora extrai areia utilizando-se o tipo de extração de barranco, suas cavas causam um forte impacto visual.

Quando a extração de areia é do tipo barranco este recurso natural torna-se não-renovável e a extração pode causar diversos impactos ao meio ambiente, assim como toda a extração mineral. Porém é indispensável em diversos setores, pois fornece insumo em proporções maiores ao setor de construção e em menores a ramos industriais como indústria de vidro, fundição, cerâmicas entre outros (HERMANN, 1992).

A extração de areia é considerada por Hermann (1992) como uma ação que provoca maior resistência da comunidade pela agressão ambiental ser mais visível e mais localizada. Em decorrência da evidente intervenção na natureza, é de suma importância a adequação da extração deste insumo a um modelo de desenvolvimento sustentável, não apenas para satisfazer a comunidade local e sim para manter uma harmonia no sistema ambiental.

Alterações e impactos no solo, ar e água são observados neste tipo de atividade minerária. Dentre elas, destacam-se as modificações na qualidade da água, pois geralmente as áreas de extração estão próximas aos cursos d'água, atuando diretamente nestes recursos através da mineração subaquática ou através da mineração a céu aberto, com a abertura de cavas e modificando as águas subterrâneas (MINERAIS, 2004).

Tal como outras atividades causadoras de significativa degradação do meio ambiente, a extração mineral possui normas e leis na Constituição Federal e Estadual que normatizam e regulamentam sua situação em relação ao meio ambiente. Apesar das adequações a essas normas, a princípio, serem um pouco onerosa, existe muitas empresas de mineração que estão vendo benefícios em segui-las e em melhorar suas atitudes em prol da natureza.

Em um workshop promovido pela revista Minérios & Minerales, realizado em 23 de abril de 2009, Sérgio Pompéia, diretor da Consultoria Paulista de Estudos Ambientais, defendeu em sua palestra os benefícios que a sustentabilidade no setor de mineração pode trazer. Dentre eles destacam-se: vantagens competitivas quanto aos mercados mais exigentes; redução de riscos na operação e na produção de passivos ambientais; promoção de uma operação mais eficiente, com economia de energia, redução de perdas de minério e insumos; e, diminuição dos custos de recuperação.

Existem diversos estudos relacionados aos impactos causados pela ação antrópica e seus riscos. Neles são aplicados vários métodos de análise e avaliação. Uma ferramenta que

pode ser utilizada nestas análises é o Sistema de Informação Geográfica (SIG), que permite elaborar diagnósticos de situações existentes e prognósticos, gerando mapeamentos que facilitam a avaliação dos impactos (ALVES; VIEIRA; ANDRADE, 2000).

O uso das técnicas de Geoprocessamento, destacando-se o SIG possibilita gerar produtos digitais básicos como mapas temáticos aplicados para análise das problemáticas ambientais. Um exemplo desta aplicabilidade foi evidenciado num trabalho realizado por Dias et al (2007), onde realizaram um estudo usando o geoprocessamento aplicado à análise ambiental no Município de Volta Redonda-RJ, tendo como produto mapas de áreas problemáticas denominadas de áreas de risco e mapas de áreas potenciais, aquelas que possuem características propícias para desenvolver um risco.

Diante do exposto, considerou-se relevante estudar os possíveis impactos causados pela atividade mineradora na região do córrego Mandu, a qual se encontra na Área de Proteção Ambiental Corumbataí, cujo córrego alimenta o Ribeirão Claro. É importante salientar, que o ribeirão Claro é fonte de parte do abastecimento público de água no município de Rio Claro (WALTRICK, 2002).

Deste modo, o presente estudo permitiu a geração de mapas temáticos referentes às características físico-naturais e antrópicas da bacia do córrego, utilizando-se as técnicas de geoprocessamento, no SIG/ARCGIS. Esses mapas temáticos serviram de base para a elaboração de um Mapa de Susceptibilidade à Erosão, que poderá subsidiar a gestão ambiental da região.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho teve por objetivo fundamental utilizar os fundamentos teórico-metodológicos e as técnicas de geoprocessamento para mapear algumas características físico-naturais da bacia do córrego Mandu, situado em Ajapi, Distrito do município de Rio Claro/SP. Para o propósito, foram utilizadas técnicas de Sensoriamento Remoto e SIG, para elaborar os mapas temáticos de Declividade, Geológico, Pedológico, de Uso e Ocupação do Solo e da Mata Ciliar. A partir desses mapeamentos, foi elaborado o mapa de Suscetibilidade à Erosão, visando avaliar os impactos ambientais desencadeados pela atividade mineradora, localizada próxima à nascente do córrego Mandu.

2.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo principal deste estudo, foram desenvolvidos os seguintes objetivos específicos.

- ✓ Elaborar o Mapa de Declividade para caracterização do relevo e avaliação dos desníveis altimétricos da bacia do córrego Mandu, com base nos dados de curva de nível, pontos cotados e drenagem, obtidos da Planta Cadastral da área do Distrito de Ajapi do IGC (1:10.000).
- ✓ Caracterizar os tipos de solos da bacia do córrego Mandu, através da confecção do Mapa Pedológico, de acordo com o Levantamento Pedológico Semi-Detalhado do Estado de São Paulo, Quadrícula de São Carlos (1:100.000).
- ✓ Mapear as formações geológicas e seus aspectos na área da bacia, utilizando-se como base o mapa Geológico de Rio Claro (1:50.000) de Zaine (1994).
- ✓ Elaborar o Mapa de Uso e Ocupação do Solo através da interpretação visual das imagens do satélite CBERS-2B (2010), a fim de identificar a influência das atividades antrópicas na bacia do córrego Mandu. Também mapear a vegetação ciliar existente na bacia, para avaliar se há o cumprimento da legislação.
- ✓ A partir dos mapas temáticos Declividade, Geológico, Pedológico e de Uso e Ocupação do Solo, produzir o mapa de suscetibilidade à erosão (1:10.000), para identificar os impactos causados pela atividade mineradora, bem como indicar as áreas mais frágeis ambientalmente.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Geoprocessamento

Até recentemente, a coleta das informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades, animais e plantas, parte importante das atividades das sociedades organizadas, era feito em documentos e mapas em papel, de forma que não possibilitassem uma análise integrada dos mapas e dados. Com o desenvolvimento da tecnologia de informática, na segunda metade do século XX, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento do Geoprocessamento (CÂMARA e DAVIS, 2001).

Considerado como uma tecnologia interdisciplinar, o geoprocessamento permite a convergência de diferentes disciplinas científicas para o estudo de fenômenos ambientais e urbanos. Segundo Moreira (2005), o geoprocessamento permite tratar ou extrair informações

de dados ou fenômenos da superfície terrestre obtidos pelo sensoriamento remoto, utilizando-se técnicas matemáticas e computacionais.

Sensoriamento Remoto é uma técnica que permite adquirir imagens ou outros tipos de dados da superfície terrestre à distância, por meio de sensores que captam e registram a energia refletida ou emitida pela superfície terrestre. A energia refletida ou emitida é captada por sensores eletrônicos instalados em satélites artificiais, transformados em sinais elétricos, que são registrados e transmitidos para estações de recepção na Terra. Posteriormente estes sinais elétricos são transformados em dados na forma de gráficos, tabelas ou imagens (FLORENZANO, 2007).

As imagens de sensores remotos são muito utilizadas para a elaboração de diversos tipos de mapas. Através da interpretação, os dados das imagens são transformados e representados em formas de mapas. As imagens de satélites e fotografias aéreas são retratos fiéis da superfície terrestre e sua paisagem está representada em todos os aspectos: geologia, relevo, solo, água, vegetação e uso da terra. No entanto, os mapas são representações em uma superfície plana onde os aspectos da paisagem estão simbolizados separadamente como, por exemplo, os mapas temáticos: mapa de solo, mapa de vegetação entre outros (FLORENZANO, 2007).

Neste contexto, o Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um sistema computacional que permite armazenar e integrar informações geográficas de diferentes fontes e escalas, ou seja, é um conjunto de ferramentas utilizadas para realizar o geoprocessamento. Como exemplos destacam-se os SIG/SPRING e o SIG/ARCGIS (FLORENZANO, 2007).

Para a geração de produtos cartográficos, que possibilitem a análise de cada situação ambiental, utiliza-se do SIG para a aquisição e tratamento de dados coletados diretamente em campo, através de pesquisas já realizadas ou a partir da interpretação de imagem (DIAS et. al., 2007).

O uso de produtos obtidos pelo sensoriamento remoto e o geoprocessamento junto com técnicas cartográficas permitem estudar o desmatamento da mata ciliar, a evolução da ocupação urbana e os impactos causados pela atividade extrativista, pois viabilizam uma análise mais detalhada do parcelamento do solo e ainda permite organizar conjuntamente estes dados (PANCHER; FREITAS, 2004).

As técnicas de geoprocessamento permitem de forma rápida e interativa obter informações que possam ajudar nas decisões de gerenciamento ambiental, fato que justifica a utilização destas ferramentas na elaboração deste trabalho (PANCHER; FREITAS, 2004).

3.2 Erosão

Compreende-se por erosão o processo de desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos e de partículas de rochas pela ação combinada da gravidade com a água, vento, gelo e/ou organismos (plantas e animais) (IPT apud SALOMÃO e IWASA, 1995). Decorrente da abrangência do presente estudo será destacado o processo erosivo desencadeado pela água, bem como suas causas e consequências.

Em geral, o processo erosivo possui duas formas de abordagem: a erosão natural ou geológica e a erosão acelerada ou antrópica. A primeira trata-se da erosão que se desenvolve em condições de equilíbrio com a formação do solo, já a erosão acelerada possui uma intensidade superior à da formação do solo, não permitindo a sua recuperação natural.

O desenvolvimento da erosão provocada pela ação da água envolve dois importantes eventos, o impacto das gotas da chuva que provoca a desagregação e liberação das partículas e o escoamento superficial que promove a remoção e transporte das partículas liberadas. O modo pelo qual o escoamento superficial atua ao longo de uma encosta determina o tipo de erosão a ser desenvolvido, podendo esta ser laminar ou linear. A erosão laminar ou em lençol é causada pelo escoamento difuso das águas das chuvas, resultando na remoção progressiva e uniforme dos horizontes superficiais do solo. Por outro lado, a erosão linear ocasionada pela concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial resulta em pequenas incisões na superfície do terreno, em forma de sulcos, que pode evoluir por aprofundamento a ravinas (INFANTI e FORNASARI FILHO, 1998).

No entanto, o processo conhecido como voçoroca ou boçoroca desenvolve-se não apenas pela atuação do fluxo superficial da águas, mas também com o subsuperficial, em que se inclui o lençol freático. A erosão interna ou tubular (*piping*) provoca a remoção de partículas do interior do solo, formando canais que evoluem no sentido contrário ao do fluxo d'água, podendo dar origem a colapsos do terreno, com desabamentos que alargam a boçoroca ou criam novos ramos.

Existem dois conjuntos de fatores condicionantes à origem e aceleração de processos erosivos: os fatores antrópicos, como desmatamento e formas de ocupação e uso do solo (agricultura, obras civis, urbanização dentre outros) e fatores naturais, que determinam a intensidade dos processos, dentre os quais se destacam os mais importantes a distribuição pluviométrica, a cobertura vegetal, a declividade, os tipos de solo e o substrato rochoso.

Na área urbana, a erosão linear profunda está associada à concentração do escoamento das águas superficiais através das ruas e de redes sanitárias, que quando lançados inadequadamente nos talvegues receptores, resultam na abertura de grandes ravinas e

boçorocas. Na área rural, as erosões são recorrentes em áreas de pastagens e de culturas de má cobertura, sob manejo inadequado, geralmente o ravinamento tem início em linhas de concentração das águas pluviais, ao longo de trilhas de gado, cercas, valas de demarcação, linhas de plantio e nos locais de descargas das águas pluviais de estradas vicinais.

3.2.1 Fatores naturais influentes da erosão

Os fatores naturais importantes em um estudo de susceptibilidade à erosão se justificam pelo seu papel no processo erosivo, os quais estão descritos abaixo conforme Salomão e Iwasa (1995):

- Chuva: os impactos das gotas da água de chuva sobre a superfície do solo, que caem com velocidade e energia variáveis, e o fluxo concentrado das águas de escoamento superficial provocam a erosão. Sua ação erosiva depende da distribuição pluviométrica, regular no tempo e no espaço, e de sua intensidade. Chuvas torrenciais ou pancadas de chuvas intensas precedidas por um período chuvoso, que provoca a saturação dos solos, determinam eventos erosivos de grande velocidade de propagação, principalmente nos locais onde o regime de escoamento da água é concentrado, com altos valores de vazão. A erosividade é um índice que expressa à capacidade da chuva de provocar a erosão.

- Cobertura Vegetal: um dos fatores mais importantes na proteção natural do solo contra a erosão é a cobertura vegetal, pois a vegetação atua na proteção contra o impacto direto das gotas de chuva, na dispersão e quebra da energia das águas de escoamento superficial, no aumento da infiltração pela produção de poros no solo por ação das raízes e no aumento da capacidade de retenção de água pela estruturação do solo por efeito da produção e incorporação de matéria orgânica. A principal causa dos processos erosivos é a mudança do regime de escoamento superficial e subterrânea decorrentes do desmatamento e das diversas formas de uso do solo. Sem práticas conservacionistas e com o desmatamento, a mudança no regime implica em maior velocidade de escoamento superficial, num aumento de infiltrações, que por sua vez aumentam os gradientes e desencadeiam o *piping*.

- Declividade: a influência do relevo na intensidade do processo erosivo verifica-se principalmente pela declividade e comprimento da rampa, da encosta ou da vertente, por interferirem diretamente na velocidade do escoamento superficial das águas pluviais. Terrenos com maiores declividades e maiores comprimentos de rampa apresentam maiores velocidades de escoamento superficial e, conseqüentemente, maior capacidade erosiva.

- Solo: propriedades físicas do solo, principalmente a textura, estrutura e permeabilidade, conferem maior ou menor resistência à ação erosiva das águas, ou seja, a erodibilidade. A textura corresponde ao tamanho das partículas, a qual implica na capacidade de infiltração e absorção da água da chuva, interferindo no potencial de enxurradas no solo e na coesão entre as partículas. Solos de textura arenosa são normalmente porosos, permitindo rápida infiltração das chuvas e dificultando o escoamento superficial, porém por possuírem baixa proporção de partículas argilosas, ou seja, baixa coesão entre as partículas apresentam maior facilidade para erosão, que pode ser verificada mesmo em pequenas enxurradas. A estrutura, determinada pelo modo do arranjo entre as partículas, influi na capacidade de infiltração e absorção da águas da chuva, como a textura, e na capacidade de arraste de partículas do solo. A permeabilidade relacionada diretamente com a porosidade determina a capacidade de infiltração das águas da chuva. Por exemplo, solo arenoso, em geral, é mais permeável do que solos argilosos, por serem mais porosos. Já as propriedades químicas, biológicas e mineralógicas do solo determinam o estado de agregação entre as partículas, influenciando na resistência do solo a erosão. Solo com matéria orgânica incorporada permite maior agregação e coesão entre as partículas, tornando-o mais estável na presença de água, mais poroso e com maior poder de retenção. Outro fator determinante do processo erosivo é a espessura do solo, pois solos rasos permitem rápida saturação dos horizontes superficiais, facilitando o desenvolvimento de enxurradas e resultando em uma maior incidência de erosões. Por outro lado, solos profundos apresentam maior capacidade de infiltração das águas pluviais sendo menos erodíveis. No entanto, há casos em que chuvas persistentes e prolongadas podem causar a saturação de grande parte dos horizontes em solos espessos, resultando erosões de grande porte.

- Substrato rochoso: a associação de características litológicas do substrato rochoso, intensidade do intemperismo e à natureza da alteração e grau de fraturamento condicionam a suscetibilidade do material a erosão. No Brasil, as áreas de ocorrência de boçorocas estão associadas às áreas de ocorrência das formações geológicas sedimentáveis, nas quais a cobertura pedológica corresponde a materiais arenosos como solos podzólicos, latossolos ou depósitos alúvio-coluvionares.

3.2.2 Suscetibilidade à erosão

A problemática erosão pode ser encontrada tanto em áreas urbanas como em áreas rurais. Segundo Iwasa e Frendrich (1998), uma grande parte dos municípios do Brasil apresenta problemas de degradação de suas áreas urbanas por processos de erosão, causados

principalmente pela concentração das águas de escoamento superficial, que são lançadas em talvegues desprovidos de sistemas adequados de drenagem. Um dos fatores agravantes deste problema em áreas urbanas é a ocupação intensa e descontrolada em locais com aptidão ao desenvolvimento da erosão. Na área rural o processo erosivo é decorrente de práticas inadequadas do manejo do solo, principalmente por falta de conhecimento das limitações e potencialidades dos recursos do solo em uma determinada localidade.

Existem diversos mecanismos que auxiliam na gestão urbana e rural em relação a problemas de erosão e suas conseqüências, destacando-se estudos de suscetibilidade a erosão, diagnósticos de erosão, medidas de controle de natureza preventiva e corretiva e ainda zoneamento ambiental.

A geração de carta de suscetibilidade a erosão baseada em dados do meio físico e antrópico auxiliam no diagnóstico da erosão de uma determinada região. De acordo com Iwasa e Frendrich (1998) para a elaboração dos mapas de suscetibilidade, em escala de nível regional (1:50.000 a 1:250.000), recomenda-se: realizar o levantamento e a compilação de dados básicos sobre a região; identificar as erosões lineares e os depósitos de assoreamento; fotointerpretação e mapeamento de campo para o reconhecimento e definição dos principais condicionantes dos processos erosivos – geologia, geomorfologia e pedologia; elaborar o mapa de uso e ocupação do solo através de foto interpretação; efetuar a compartimentação em áreas homogêneas em relação a predominância de processos erosivos; e finalmente a elaborar de mapa de suscetibilidade a erosão.

3.3 Mineração

3.3.1 Aspectos gerais e impactos gerados ao meio ambiente

Entende-se por mineração um processo de extração e concentração de minerais que possuam uma importância significativa para a sociedade. A grande diversidade de bens minerais e suas diferentes formas e condições de jazimento configura uma característica da mineração pela extrema variedade de situações em que se pode processar (FORNASARI FILHO et al., 1992).

Devido a esta diversidade característica da mineração existem vários modos de classificar a atividade. Segundo Abrão e Oliveira (1998), a mineração pode ser classificada em três grupos principais: o primeiro grupo é composto pelas minerações de grande porte chamadas de empresariais; o segundo por minerações de menor porte, ditas de uso social, como as pedreiras, os portos de areia e as lavras de argila; o terceiro é composto pelos

garimpos, pelas atividades extrativistas, informais, normais, manuais ou mecanizadas e, frequentemente, clandestinas.

De acordo com Neves e Silva (2007), a extração mineral brasileira pode ser classificada pelo tipo de minério: metais (ferro, bauxita entre outros); não-metais (areia, rocha britada e cascalho, argila e calcário); diamantes e gemas; e, energéticos (petróleo). Classifica-se também pelo porte do empreendimento baseado na produção bruta, como grande (> 1 milhão de ton./ano), médio (> 100 mil ton./ano e ≤ 1 milhão de ton./ano) e pequeno (> 10 mil ton./ano e ≤ 100 mil ton./ano).

A extração do minério, segundo o livro Minerais ao alcance de todos (2004), pode ocorrer em terra ou em corpos d'água, de modo a diferenciar quatro tipos de mineração:

- ✓ **Mineração Subterrânea:** trata-se de um tipo de mineração mais onerosa, com maior risco de acidentes graves, apesar do avanço tecnológico. É utilizada sempre quando o depósito mineral se encontra em maior profundidade.
- ✓ **Mineração a céu aberto:** este tipo de extração é realizado quando o mineral se encontra na superfície ou a pouca profundidade. A extração pode ser por meio de cavas com terraços ou degraus ou ainda, pode acompanhar a inclinação do terreno apoiando-se na encosta. Para este tipo de extração, são utilizados máquinas e equipamentos de grande porte, como britadeiras, escavadeiras e carregadeiras. Em alguns casos podem ser utilizados explosivos ou desmonte hidráulico que usa jato de água no material inconsolidado.
- ✓ **Mineração Mista:** quando se tem um depósito de minerais que vai desde a superfície até locais mais profundos, adota-se este tipo de mineração por ser a combinação da mineração subterrânea com a de céu aberto.
- ✓ **Mineração subaquática e poços de perfuração:** trata-se de um método que utiliza máquinas que desagregam e bombeiam os materiais, as dragas. Geralmente este equipamento é colocado em portos instalados em curso d'água. Na maioria das vezes este mecanismo é utilizado na extração de areia e cascalho.

Independente do tipo de extração, as operações de mineração se desenvolvem em três fases:

- a) Implantação da atividade - envolve estudos e análises, denominada pesquisa mineral, na qual são obtidas informações sobre o mineral, sua qualidade e quantidade, com a finalidade de decidir se sua extração e /ou produção são economicamente viáveis; abertura de vias de acesso e instalação de equipamentos (Minerais, 2004).

- b) Operação - requer o decapeamento, ou seja, a remoção das camadas estéreis sobrejacentes ao corpo mineralizado para expô-lo; a desagregação ou fragmentação do corpo de minério para a sua remoção por processos hidráulicos, mecânicos ou com explosivos; o transporte interno de minérios e rejeitos; beneficiamento; disposição de rejeitos; estocagem dos produtos; carregamento e transporte do produto; e operações auxiliares, tais como a construção de barragens, funcionamento das oficinas de manutenção, dos lavadores de equipamentos e dos depósitos de sucatas, onde são armazenados produtos como óleo e graxas (FORNASARI FILHO et al., 1992).
- c) Desativação – a última fase está associada à restauração, reabilitação ou recuperação da área minerada. (FORNASARI FILHO et al., 1992).

É inegável o impacto da mineração no meio ambiente, porém, “[...] o impacto é inevitável, mas a destruição não [...]” Minerais (2004). A atuação da mineração sobre o meio ambiente não é apenas quando as máquinas começam a cavoucar o solo, mas em todas as etapas pode haver impactos. Além da escavação, alterações ocorrem no transporte, na implantação de instalações auxiliares como escritório, habitações provisórias, preparação do terreno, entre outros. É possível observar os impactos causados em cada fase do empreendimento de extração de areia na Tabela 1.

Apesar dos dados da Tabela 1 demonstrarem que os fechamentos da mina geralmente não causam impactos; erosões, movimentação do solo, poluição das águas subterrâneas, assoreamento de curso d’água entre outros danos podem aparecer. Tais alterações podem ocorrer se, após o seu fechamento não for realizado um processo de revitalização, recuperando a vegetação, recompondo a topografia e implantando um sistema de escoamento de águas pluviais ou mesmo, se esta cava não for fechada (NEVES; SILVA, 2007).

Como se podem observar, as etapas que mais causam impactos ao meio ambiente são as fases da implantação e operação da atividade. Os principais problemas causados no solo pela extração de areia são desmatamento e erosão. No entanto, levando-se em conta que este tipo de atividade desenvolve-se em curso d’água ou próximo a ele, os maiores danos são ocasionados nas águas superficiais e subterrâneas, desencadeando processos de assoreamento decorrentes da erosão de taludes; contaminação por óleos e lubrificantes dos maquinários; e mudanças no nível do lençol freático devido à modificação da espessura da camada de solo.

Os impactos desencadeados pela atividade de mineração de areia foram descritos por Silva et al. (1997). Com base em estudos de caso, o autor destaca: o acúmulo de areia após sua extração provoca o soterramento da vegetação e impede sua regeneração; o revolvimento

e a deposição de sedimentos na superfície desenvolvem o assoreamento das lagoas e do canal fluvial; o movimento dos caminhões, escavadeiras e outras máquinas de grande porte, podem causar a compactação do solo; a retirada da mata ciliar gera processos erosivos na margem e leito do rio e, conseqüentemente, assoreamento e desbarrancamento das margens.

Tabela 1. Impactos causados ao meio ambiente em cada etapa da mineração de areia

Fases do Empreendimento	Processo Tecnológico	Impacto
Implantação da Atividade	Prospecção e pesquisa mineral	Desmatamento para acesso gerando possíveis erosões ocasionadas pela água, geração de ruídos, vibrações, gases de combustão e danos por combustíveis e lubrificantes relacionados às sondagens e outras atividades de pesquisa.
	Abertura de vias de acesso e instalação de equipamentos	Desmatamento e movimentação de terra para construção de vias e das instalações da mina podendo desencadear ou acentuar processos erosivos, deposição de sedimentos e partículas em corpos d'água resultante da erosão; modificação do escoamento superficial das águas; modificação na movimentação das águas de subsuperfície refletindo nos mecanismos de infiltração, escoamento subterrâneo e capilaridade; geração de ruídos, gases de combustão, poeira e danos por combustíveis e lubrificantes decorrentes dos maquinários de transporte e equipamentos.
Funcionamento ou Operação	Decapeamento, desmonte, transporte interno, beneficiamento e disposição de rejeito	Poluição visual; desmatamento; remoção do solo; modificação do escoamento das águas superficiais; modificação na movimentação das águas de subsuperfície refletindo nos mecanismos de infiltração, escoamento subterrâneo e capilaridade; rebaixamento do nível freático devido o avanço da linha de desmonte ao interceptar aquíferos; erosão; assoreamento de corpos d'água; poluição do curso d'água e água subterrânea; instabilidade de taludes, encostas e terrenos; alteração da qualidade do solo; ruídos; vibrações de máquinas; gases de combustão; poeiras; danos por combustíveis e lubrificantes; e conflitos sociais e culturais.
	Estocagem, carregamento e transporte do produto	Ruídos; vibrações; poeira; gases de combustão; danos por combustíveis e lubrificantes; intensificação do trânsito; compactação do solo das águas pluviais; erosão e escorregamento de taludes das pilhas resultando em deposição de sedimentos ou partículas.
Desativação	Fechamento da mina	Nesta fase geralmente não ocorrem impactos, pois as medidas adotadas têm objetivo de garantir a estabilização dos processos do meio físico ao longo do tempo, com intuito de estabelecer um novo patamar de equilíbrio para a área minerada e entorno.

Fonte: adaptado por Silva (2010), considerando-se a extração de areia, com base nos dados expostos por Minerais (2004), Hermann (1992) e Fornasari Filho (1992).

Dentre estes danos ao ambiente, o mais preocupante é a retirada da mata ciliar, devido a sua importância ao ecossistema local, principalmente ao recurso hídrico.

A existência dessa vegetação denominada mata ciliar, ou seja, vegetação que margeia o curso d'água é de suma importância para o equilíbrio e manutenção do ecossistema local, funcionando como barreira dos sedimentos transportados pelas águas pluviais, dificultando a evolução dos processos erosivos nas margens e barrancos, além de funcionar como filtro impedindo o efeito *splash* das gotas da chuva. A mata ciliar mantém também a umidade do solo e favorece a infiltração das águas; possui capacidade de dificultar o escoamento direto para os rios de produtos poluentes utilizados na agricultura; atua como agente de autodepuração das águas dos cursos fluviais; proporciona a manutenção do pH típico do ambiente; fixa nutrientes do solo; possui capacidade de influência dos regimes de cheias dos cursos fluviais; proporciona um microclima específico favorável ao desenvolvimento e manutenção de vida da ictio e ave-fauna e demais seres que compõem o ecossistema (SILVA et. al., 1997).

Apesar de todo amparo legal pertinente a preservação da vegetação ciliar, a mesma não é adequadamente protegida. Segundo Braga (2005) na bacia do rio Corumbataí a porcentagem de APP com mata ciliar, em 2002, era de somente 25,83%. Já na sub-bacia ribeirão Claro as APP com esta vegetação correspondia a 20,77 %. Apesar de ser uma baixa porcentagem esta não é a menor considerando-se todas as sub-bacias do rio Corumbataí. A situação mais crítica localizava-se na sub-bacia do baixo Corumbataí, cuja área ocupada pelas APP com vegetação ciliar abrangia somente 15,69%. Em contrapartida, a sub-bacia do referido rio, denominada Passa Cinco, englobava 31,26 % de APP com mata ciliar.

Sabe-se que a retirada da mata ciliar causa prejuízos ao recurso hídrico, porém o homem só passou a dar mais importância a este problema devido à escassez de água. Segundo matéria publicada pela Band (2010) o consumo de água no Brasil, em média, é de 200L/habitante/dia, porém a Organização Mundial da Saúde recomenda que cada pessoa consuma pelo menos 40 L/dia. Isso leva a concluir que há um consumo exagerado de água. Além deste fator, acrescenta-se a poluição. Assim, ambos os fatores intensificam o problema da escassez do recurso.

Como a demanda pelo recurso hídrico é infinita, foram desenvolvidas diversas políticas relacionadas aos recursos hídricos, bem como foram atribuídas às instituições o gerenciamento deste recurso, além da criação de leis para normatizar o uso da água. No Estado de São Paulo foi instituído o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAAE) em 1950; foi criada a Política Estadual de Recursos Hídricos; e, o Sistema de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, sendo que a partir deste sistema foram estabelecidos os comitês de bacias hidrográficas ou Unidades Hidrográficas de

Gerenciamento de Recursos Hídricos (UHGRHI), totalizando vinte e duas unidades (BARROS, 2005).

3.3.2 Mineração no Brasil e no Estado de São Paulo

No Brasil, a extração mineral é caracterizada pela alta produção de bens minerais utilizados na construção civil, chamados agregados. Conforme La Serna et al. (2008) são considerados agregados a pedra britada, o cascalho, as areias naturais ou obtidas por moagem de rochas, as argilas e os substitutivos como resíduos inertes reciclados, escórias de aciaria e produtos industriais. Estima-se que a reserva de areia e de brita no país seja de 2,7 bilhões de toneladas e 12 bilhões de toneladas, respectivamente.

Baseado nos dados obtidos da Prévia Mineral 2009/2008 publicados pelo Ministério de Minas e Energia o gráfico da Figura 1 mostra que a produção dos agregados areia, rocha britada e argila para cerâmica vermelha representavam 57% da produção dos principais bens minerais produzidos no país em 2008. (BRASIL, 2009)



Figura 1. Produção nacional anual de bens minerais em 2008.

Fonte: Elaborado com base nos dados expostos pelo DNPM (2009).

(1) Bauxita, alumina, cobre, manganês, rochas ornamentais, caulim, crisotila, magnesita, grafita, fosfato, potássio, enxofre e carvão energético.

No que se refere ao número de minas por porte, em 2006 as minas de pequeno porte abrangiam aproximadamente 72%. Desta classe, 89,9% são empresas de minério não-metálico (1.811 empresas), sendo que deste total, 792 são mineradoras de areia (30%), consistindo num valor representativo no país. Destas empresas de pequeno porte (1.895), 776 localizam-se na região sudeste, destacando-se o Estado de São Paulo, com 18,7% do total de pequenas minas (NEVES; SILVA, 2007).

Apesar de ser inferior a países como os Estados Unidos da América, a produção de areia e brita no Brasil vem crescendo nos últimos anos, devido ao aumento da demanda por insumos para construção civil.

Tabela 2. Comparação da produção de areia e cascalho entre os E.U.A. e o Brasil.

País	Produção (Mt)				
	2004	2005	2006	2007	2008(p)
Estados Unidos	1240	1280	1320	1170	---
Brasil	201	238	255	279	296

Fonte: La Serna et al. (2008) e Brasil (2009).

Tabela 3. Comparação da produção de rocha britada entre os E.U.A. e o Brasil.

País	Produção (Mt)				
	2004	2005	2006	2007	2008(p)
Estados Unidos	1630	1700	1720	1590	---
Brasil	187	172	199	217	230

Fonte: La Serna et al. (2008) e Brasil (2009).

A taxa de consumo de agregados nos EUA é de 8 toneladas/habitante/ano, enquanto que no estado de São Paulo e região metropolitana de São Paulo – RMSP as taxas são, respectivamente de 3,5 t/hab./ano e de 4,2 t/hab./ano (LA SERNA et al., 2009).

Embora a extração de bens minerais destinados à construção civil possua um beneficiamento simples, baixo preço unitário e por gerar grandes volumes de produção, sua produção necessita ser realizada no entorno do local de consumo, geralmente em áreas urbanas, devido ao alto valor do transporte agregado ao custo final do produto (LA SERNA et al., 2009).

Devido aos fatores custo do transporte, demanda elevada por insumos para construção civil e disponibilidade de depósitos de areia e materiais de brita, no setor mineral paulista predominam as lavras dos bens utilizados na construção civil, notadamente areia (HIRATA, BASTOS e ROCHA, 1997).

Segundo São Paulo (2010), são produzidos por ano no Estado de São Paulo cerca de 96 milhões de toneladas de areia destinadas à construção civil e 60 milhões de toneladas de pedra britada.

3.3.3 Mineração em Rio Claro

Por seus aspectos hidrográficos e da formação geológica, a região da bacia do rio Corumbataí tem a extração de areia como tradição. Há aproximadamente 20 anos, a extração

mineral teve uma considerável redução por causa da mudança no uso do solo, com a implantação da cana-de-açúcar e com as pastagens (BACCI, 1994).

Apesar da mudança no uso do solo e o predomínio de extração de argila, a extração de areia ainda existe numa proporção considerável na região de Rio Claro, devido à expansão urbana e, conseqüentemente, ao aumento da demanda de insumo para construção. Como pode ser observado na Tabela 4, o número de processos de requerimento e autorização de pesquisa e lavra referentes à mineração de areia aumentou significativamente na última década, passando de 4 para 15.

Tabela 4. Número de processos de requerimento, autorização de pesquisa e autorização de lavra referente à mineração de areia cadastrados no DNPM.

Período (ano)	RP ⁽¹⁾	AP ⁽²⁾	RL ⁽³⁾	AL ⁽⁴⁾	Disp. ⁽⁵⁾	Total
2000-2009	3	9	2	0	1	15
1990-1999	0	0	2	2	1	4
1980-1989	0	2	2	3	0	7
1970-1979	0	0	1	3	0	4
1960-1969	1	0	0	0	1	1

Fonte: Elaborado por Silva (2010) com base nos dados coletados de Brasil (2010).

Obs. (1) Requerimento de Pesquisa; (2) Autorização de Pesquisa; (3) Requerimento de Lavra; (4) Autorização de Lavra; e (5) Disponibilidade.

Vale ressaltar que o município está inserido no pólo ceramista de Santa Gertrudes tendo como destaque a extração de argila. Segundo os dados obtidos no Brasil (2010), existem cadastrados 294 processos referentes ao requerimento de pesquisa, autorização de pesquisa, requerimento de lavra e autorização de lavra no município de Rio Claro. Dentre estes, 83 % são processos referentes à pesquisa e lavra de argila (240) e somente 11 % referem-se à areia (32).

3.4 Legislação

A constituição considera os recursos minerais como bens da União, desta forma esses só podem ser pesquisados e lavrados mediante concessão da mesma. Com a garantia da propriedade do produto da lavra, o concessionário tem a obrigação de recuperar o meio ambiente degradado (CABRAL; OBATA; SINTONI, 2005).

A legislação dispõe, que sem o Licenciamento Ambiental concedido pelos órgãos competentes não é permitido o aproveitamento mineral. Bem como, impõe que o titular de direitos minerários responda pelos crimes ambientais causados pela atividade (CABRAL; OBATA; SINTONI, 2005).

A base legal relacionada à indústria da mineração rege em âmbitos específicos como mineral, ambiental e compensações financeiras que poderão ser analisadas com maior detalhe a seguir.

3.4.1 Legislação minerária

O instrumento legal que rege sobre as formas e condições de habilitação e extração mineral é o Código Mineral estabelecido pelo Decreto nº 227/67, cujo limite de poder é concedido ao Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, órgão do Ministério de Minas e Energia - MME (TANNO; SINTONI, 2003).

O Código Mineral impõe normas e regulamenta disposições e procedimentos relativos ao aproveitamento de recursos minerais, o qual deve ser enquadrado em uma das seguintes formas de regime: regimes de autorização, concessão, licenciamento e permissão de lavra. Caso o empreendedor não esteja enquadrado nas determinações das leis e sem os devidos títulos legais de autorização, a extração mineral é constituída como um crime de usurpação sujeita a pena de detenção do responsável, multa e apreensão do produto mineral, dos equipamentos e dos veículos utilizados (CABRAL; OBATA; SINTONI, 2005).

Para a pesquisa, primeira fase do empreendimento mineiro, o titular necessita do Alvará de Autorização de Pesquisa expedido pelo Diretor Geral do DNPM. Somente com este documento, será permitida a pesquisa geológica e os trabalhos técnicos para a definição das substâncias de interesse econômico, considerando-se os limites da área e os prazos estabelecidos previamente. Vale ressaltar que o alvará, representante do regime de autorização, assegura apenas a pesquisa e não a lavra (TANNO; SINTONI, 2003).

Após o cumprimento de todas as disposições legais relativas ao regime de autorização, principalmente a aprovação do Relatório de Pesquisa e do Plano de Aproveitamento Econômico, bem como a apresentação do prévio licenciamento ambiental do órgão competente; a pessoa jurídica recebe a Portaria de Lavra expedida pelo MME. Tal Portaria habilita o titular a realizar os trabalhos de extração. Este regime é o de concessão.

No regime de licenciamento a extração mineral dependerá de diversos licenciamentos como as licenças específicas expedidas pelo município, o registro no DNPM, o licenciamento ambiental, assentimento de órgão e entidades no caso da área pertencer à pessoa jurídica de direito público ou pertencer à terrenos de interesse e jurisdição da FUNAI; e ainda outorga do DAEE no caso de extração em leitos de rio e aceite do concessionário ou proprietários de reservatórios de água. Este regime é somente aplicável para um grupo restrito de substâncias minerais, ao qual a areia se enquadra.

As substâncias minerais de uso imediato na construção como a areia, cascalho entre outros, podem ser submetidas ao registro de extração, que tem a finalidade de simplificar o processo formal envolvido no requerimento, na outorga e na execução da lavra. Já o regime de permissão de lavra aplica-se a extração de minerais garimpáveis. Vale ressaltar, que este aspecto não foi essencial para o presente trabalho, portanto, não será aprofundado.

3.4.2 Legislação ambiental

A Constituição Federal de 1988, no Art. 225, dispõe que toda a atividade que cause degradação do meio ambiente deverá realizar o estudo prévio de impacto ambiental e que estas atividades lesivas ao meio ambiente estarão sujeitas às sanções penais e administrativas.

Sob o aspecto da legislação ambiental, a mineração é uma atividade potencialmente causadora de impacto, portanto podendo ser submetida ao licenciamento ambiental condicionado a apresentação e aprovação do Estudo de Impacto Ambiental - EIA e do respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA (CABRAL; OBATA; SINTONI, 2005).

Dependendo do tipo de atividade, da situação da área onde se insere o empreendimento de mineração e da capacidade de suporte do meio ambiente, tal empreendimento pode ser dispensado do EIA/RIMA e substituído por outros estudos ambientais. No entanto, todos os empreendimentos de mineração são obrigados a apresentar um Plano de Recuperação da Área Degradada (TANNO; SINTONI, 2003).

A Resolução CONAMA nº 10 de 1990 fornece às diretrizes para o licenciamento ambiental (Licença Prévia, Licença de Instalação e Licença de Operação) referente à lavra de minerais da classe II (areia, argila e cascalho). Vale ressaltar, que tal classificação foi extinta pela Lei nº 9.314 de 1996 (SILVA, 2008).

Segundo Cabral, Obata e Sintoni (2005), devem realizar o licenciamento ambiental os empreendimentos que desenvolvem: extração de substâncias minerais pelos regimes de Licenciamento e de Concessão, bem como pelo Registro de Extração; pesquisa mineral com emprego de Guia de Utilização; e pesquisa mineral sem a Guia, quando houver a retirada de vegetação nativa e, ou interferência em área de preservação permanente.

No Estado de São Paulo, o órgão competente da outorga do licenciamento ambiental é a Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Salvo alguns casos especiais, estabelecidos por lei, cujo licenciamento é da alçada do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA (CABRAL; OBATA; SINTONI, 2005).

3.4.3 Legislação em nível municipal

A proteção e gestão de recursos naturais em nível municipal podem ser efetuadas por meio de um Plano Diretor. O Plano Diretor através da Constituição Federal e da Lei Federal nº 10.257/2001 se tornou obrigatório para cidades com mais de 20.000 habitantes, sendo que o mesmo deve ser revisado a cada 10 anos. A Prefeitura Municipal de Rio Claro instituiu por meio do seu Plano Diretor, a Lei nº 3.806 de 2007, da Política do Meio Ambiente. Este plano, no Título III, Capítulo IV, dispõe sobre a Política dos Recursos Hídricos, seus fundamentos e objetivos e sua gestão, a qual será realizada pelas Unidades de Planejamento de Recursos Hídricos e complementada pelo Planejamento Urbano e Rural do Município. Na Seção I instituiu um Programa de Recuperação Ambiental de Cursos D'Água e Fundos de Vale (RIO CLARO, 2008).

Além da base legal para preservação, manutenção e gestão do recurso hídrico, o Município de Rio Claro também possui normas e políticas referentes a empreendimentos urbanos que causam impactos ambientais. Um dos instrumentos desta política é o Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV), o qual exige dos empreendimentos que tenham significativo impacto no meio ambiente urbano, a elaboração do EIV e fique condicionado a aprovação do Relatório de Impacto de Vizinhança. São dispensados do EIV os empreendimentos que já estão sujeitos à elaboração do EIA/RIMA, como é o caso das mineradoras (RIO CLARO, 2008).

Em nível municipal, o controle ambiental da atividade mineradora se faz por meio da Licença Municipal específica e da Certidão de Diretrizes para Uso do Solo, emitidas pela Secretaria de Planejamento, Desenvolvimento e Meio Ambiente - SEPLADEMA e submetidos à análise e aprovação do Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente - CONDEMA (RIO CLARO, 2008).

4 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA

O objeto de estudo da presente pesquisa é a bacia hidrográfica do córrego Mandu, sub-afluente do ribeirão Claro. A referida bacia está inserida no distrito de Ajapi, região norte do município de Rio Claro/SP. Esta área localiza-se entre as coordenadas UTM E=236.835 m e N=7.533.275,2 m; E=238.441,6 m e N=7.535.557,7 m, no fuso 23, totalizando uma área de 1.407.807,37 m² (Figura 2).

No Estado de São Paulo, Rio Claro está inserido na região administrativa de Campinas e localiza-se na bacia do Rio Corumbataí, entre as coordenadas 22°21` S e 22°27` S, 47°32` W e

47°36`W. O município possui uma área de 498,7 km² e limita-se entre os seguintes municípios: Araras, Corumbataí, Ipeúna, Iracemápolis, Itirapina, Piracicaba e Santa Gertrudes (PANCHER; FREITAS, 2004).

As vias de acesso ao município de Rio Claro compreendem as rodovias Washington Luiz (SP-310), Anhanguera (SP-330), Rio Claro-Piracicaba (SP-127) e a Rio Claro-Araras (SP-191). Já o acesso à bacia do córrego Mandu é oferecido pela estrada municipal Corumbataí – Rio Claro.

O município de Rio Claro destaca-se por ser a área mais densamente ocupada da bacia do rio Corumbataí. Segundo o censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a densidade demográfica de Rio Claro em 2000 era de 337,8 hab./km² com 97,2 % da população situada em área urbana. Em 2009, o IBGE estimou uma população de 191.886 habitantes e densidade demográfica de 384,77 hab./ km².

Os dados evidenciam a expansão urbana no município, que segundo Pancher e Freitas (2004) ocorreu de forma desordenada e sem planejamento adequado, fato que desencadeia problemas sociais e ambientais. Apesar disso, Rio Claro obteve no ano de 2000 o alto índice de desenvolvimento humano (IDH) de 0,825, o melhor em relação às outras cidades da bacia do rio Corumbataí. Vale ressaltar que o índice compreende três itens básicos do desenvolvimento humano: a longevidade, educação e renda. No caso, Rio Claro se destacou nos dois últimos itens (TAUK-TORNISIELO e RIBEIRO, 2008).

A micro-bacia estudada tem como elementos hidrográficos o açude Mandu e o córrego Mandu, afluente do Ribeirão Claro. Esta pertence à bacia do rio Corumbataí, que ocupa uma área de aproximadamente 270 km² e está inserida na bacia do rio Piracicaba (HENRY-SILVA; CAMARGO, 2000).

Afluente do rio Corumbataí, localizado no curso médio, o ribeirão Claro juntamente com o seu receptor configuram-se importantes no ponto de vista hídrico, pois abastecem o município de Rio Claro. Segundo o Plano de Bacia Piracicaba-Capivari-Jundiá (PCJ) (2008), a vazão captada destes mananciais foi de 0,934 m³/s.

Um dos grandes problemas com relação ao recurso hídrico é a poluição das águas, principalmente por despejo de esgoto não tratado. O rio Corumbataí recebe do município de Rio Claro esgoto doméstico e industrial no decorrer do seu curso de forma direta e indireta através do córrego da Servidão, do Ribeirão Claro e do córrego da Assistência. Com base em análises realizadas em 2002 a carga potência que este rio recebeu do município de Rio Claro foi de 6887,24 kg DBO/dia (GARCIA et al., 2002).

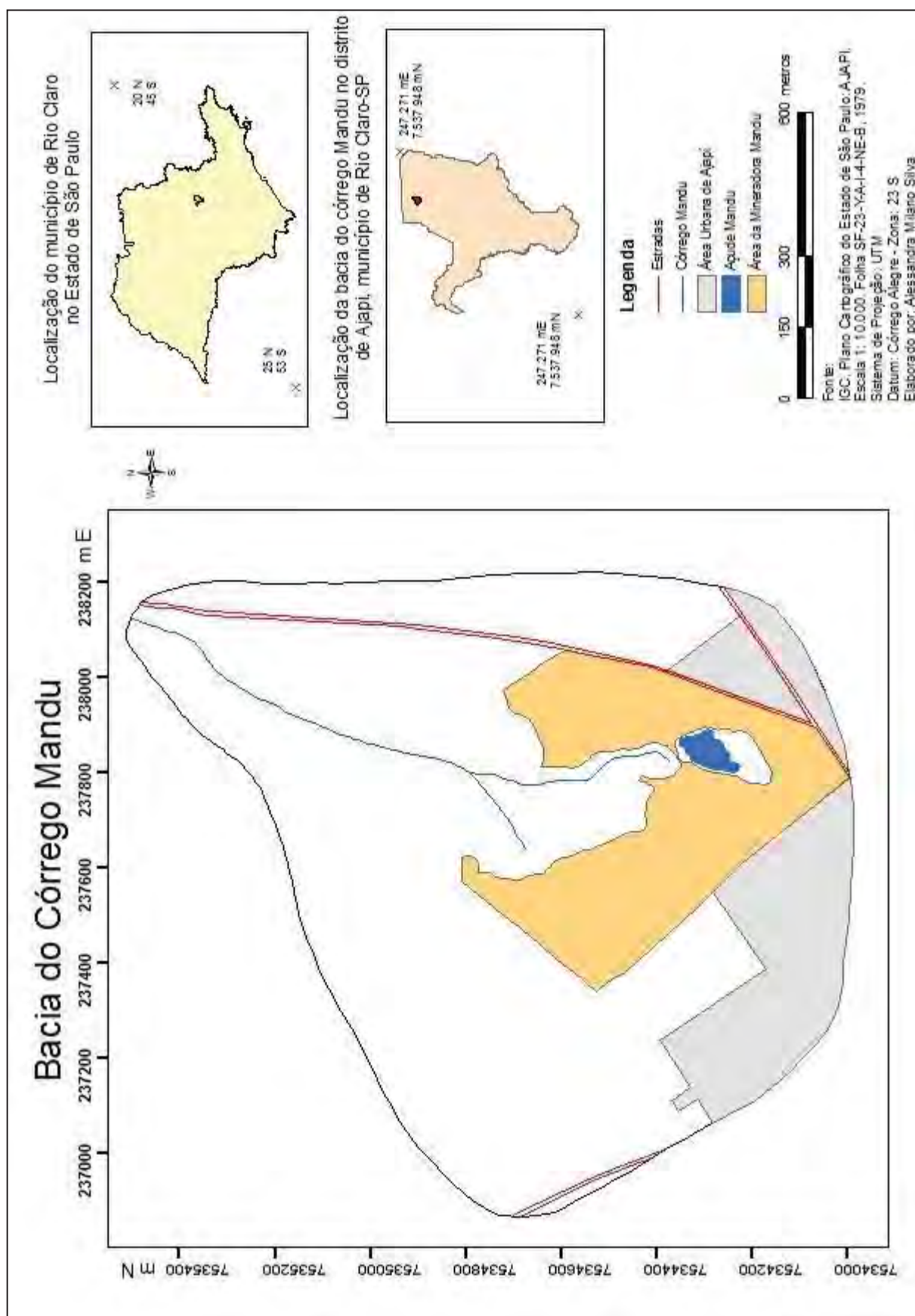


Figura 2. Localização da bacia do córrego Mandu - distrito de Ajapi, Rio Claro/SP.

Em relação às condições do açude e córrego Mandu, Waltrick (2002) estudou a possibilidade de impactos decorrentes da extração mineral realizada pela Mineração Mandu nestes corpos d'água. Através de medições dos parâmetros físicos e químicos, a ecóloga concluiu que a mineração não alterou esses aspectos, exceto a turbidez que apresentou valores mais elevados. No entanto afirma que esse parâmetro não tinha evidências de que estivesse afetando os macro-invertebrados aquáticos. Em relação ao aumento de sedimentos num dos pontos de coleta, a autora concluiu que este fenômeno decorreu devido à presença de um barramento feito para a utilização de uma bomba hidráulica.

Em relação ao clima, de acordo com Troppmair (1992), Rio Claro possui duas estações bem definidas. De abril a setembro se estabelece o período frio e seco com temperatura média de 17°C e precipitação entre 180 a 200 mm. O período quente e úmido prolonga-se de outubro a março com temperatura média de 22°C e precipitação média de 1200 mm. Pela classificação de Koeppen o clima é considerado subtropical úmido (Cwa), ou seja, C representa que a média do mês mais frio varia entre 3°C e 18°C, w indica que a seca ocorre no inverno e a refere-se ao mês mais quente com temperatura média superior a 22°C.

Dados obtidos no Centro de Análise e Planejamento Ambiental (CEAPLA) da UNESP mostraram que durante no período de 2003 a 2007 a temperatura média anual do município foi de 23°C, com máxima de 25,5°C no mês de fevereiro e mínima de 19,1°C em julho. A maior precipitação ocorreu em janeiro com 353,6 mm e a menor em agosto com apenas 10 mm (TOLEDO, 2008).

Geomorfologicamente a área de estudo situa-se na Depressão Periférica Paulista, dividida em três zonas: Médio Tiete, Paranapanema e Mogi Guaçu. Trata-se de uma área sensivelmente rebaixada pela erosão, entre as terras altas do Planalto Atlântico e as cristas elevadas das cuestas basálticas (ALMEIDA, 1974).

A Zona do Médio Tietê, a qual Rio Claro pertence, é caracterizada por topografia pouco acidentada, com desníveis locais que só excepcionalmente ultrapassam 200 metros. Predominam nesta zona colinas baixas, de formas suavizadas, separadas por vales jovens, sem planícies aluviais importantes e é coberta por drenagem bem definida (ALMEIDA, 1974).

De forma geral, Penteado (1968) caracteriza o setor geomorfológico da região de Rio Claro formado principalmente por relevo de colinas tabuliformes de vertentes suavemente convexas e patamares de fraca inclinação dispostos entre 550 e 650 metros.

Geologicamente Rio Claro situa-se na região nordeste do setor Paulista da Bacia Sedimentar do Paraná, área com predomínio de rochas sedimentares e vulcânicas das

Formações Rio Claro, Corumbataí do grupo Passa Dois e Serra Geral do grupo São Bento das eras Cenozóica, Paleozóica e Mesozóica, respectivamente (ZAINE, 1994).

Quanto à vegetação, no passado os principais tipos que ocorriam na região eram de cerrado e mata Atlântica, porém no decorrer do tempo estas vegetações foram sendo suprimidas pelo crescimento urbano, pela pastagem e principalmente pela agricultura. Um dos maiores responsáveis pelo desaparecimento do cerrado e pela atual redução das matas ciliares foi o cultivo de cana-de-açúcar (TAUK-TORNISIELO; PALMA-SILVA, 2008).

Apesar de todo amparo legal a mata ciliar não é adequadamente protegida. Segundo Braga (2005) na bacia do rio Corumbataí a porcentagem de APP com mata ciliar, em 2002, era de somente 25,83%. Já na sub-bacia ribeirão Claro as APP com esta vegetação correspondia a 20,77 %. Apesar de ser uma baixa porcentagem esta não é a menor considerando-se todas as sub-bacias do rio Corumbataí. A situação mais crítica localizava-se na sub-bacia do baixo Corumbataí, cuja área ocupada pelas APP com vegetação ciliar abrangia somente 15,69 %.

Segundo São Paulo (1999), além das APP que protegem a mata ciliar, Rio Claro, conta com outras unidades de preservação, tais como:

- ✓ Área Natural Tombada do Haras São Bento: legalizada em 1990 pela Resolução da Secretaria de Estado da Cultura nº 8, a unidade possui uma reserva de Mata Atlântica e esta se localiza a nordeste de Rio Claro;
- ✓ Área Natural Tombada Horto Florestal e Museu Edmundo Navarro de Andrade: localizada na estrada municipal Horto Florestal foi criada em 1998 e abriga 62 espécies de eucaliptos e;
- ✓ Área de Proteção Ambiental Corumbataí, Botucatu e Tejuapá: criada em 1983 através do Decreto Estadual nº 20.960 é subdividida em três perímetros, o perímetro Corumbataí, no qual se insere o município de Rio Claro e abrange as cuestas basálticas e os morros testemunhos; o perímetro de Botucatu e o perímetro de Tejuapá.

Dentre as três unidades de conservação a área de estudo insere-se na Área de Proteção Ambiental Corumbataí e a vegetação ciliar da nascente e do córrego Mandu estão protegidas pelo Código Florestal.

5 MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos aplicados neste estudo estão destacados no fluxograma da Figura 3.

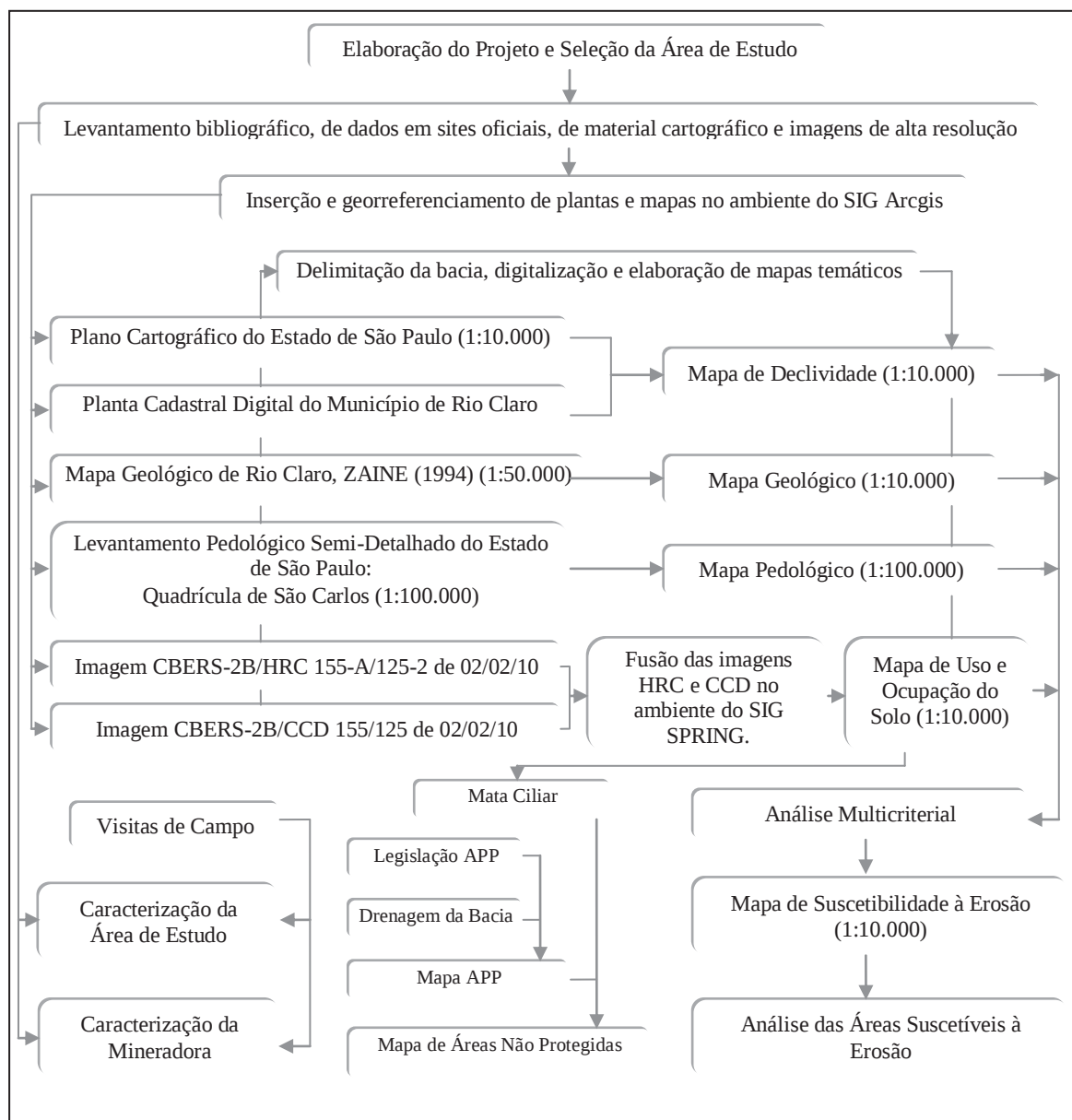


Figura 3. Fluxograma dos procedimentos metodológicos adotados nessa pesquisa.

5.1 Material

O material necessário para o desenvolvimento deste estudo está destacado a seguir:

a) Documentos Cartográficos

- ✓ Planta Cadastral Digital do município de Rio Claro-SP, na escala 1:10.000 (2008).
- ✓ Mapa Geológico RIO CLARO, na escala 1:50.000, Folha Rio Claro (ZAINÉ, 1994).

- ✓ Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. AJAPI. Escala 1: 10.000. Folha SF-23-Y-A-I-4-NE-B (IGC, 1979).
 - ✓ Levantamento Pedológico Semi-Detalhado do Estado de São Paulo. Quadrícula de São Carlos. Escala 1:100.000. Folha SF 23-Y-A-I (OLIVEIRA et. al., 1981)
- b) Sensores Remotos
- ✓ Imagem do satélite CBERS-2B – HRC órbita/ponto 155-A/125-2 de 02/02/2010.
 - ✓ Imagem do satélite CBERS-2B – CCD órbita/ponto 155/125 de 02/02/2010.
- c) Programas Computacionais
- ✓ SIG/ARCGIS, da empresa ESRI, versão 9.3.1.
 - ✓ SIG/SPRING, do INPE, versão 5.1.6.

5.2 Metodologia

5.2.1 Levantamento de dados bibliográficos e cartográficos

A primeira etapa consistiu na realização de levantamento de informações em livros, teses e artigos, buscando o embasamento teórico-metodológico relativo à mineração e seus impactos; técnicas de utilização do geoprocessamento e sua importância nos estudos ambientais; e características da área de estudo. Este material foi coletado na biblioteca da UNESP, sites oficiais e acervos digitais acadêmicos. Também, foi realizado um levantamento de mapas, cartas topográficas, plantas cadastrais, fotografias aéreas e imagens de alta resolução existentes da área de estudo, os quais serviram de base para o mapeamento dos aspectos físico-naturais e antrópicos da área do córrego Mandu.

5.2.2 Pesquisa em campo

Com a finalidade de obter dados sobre as características da atividade mineradora no mês de julho foram realizadas três pesquisas de campo. A primeira visita à Mineradora Mandu foi realizada no dia 06, organizada pela Prof^a. Dr^a. Gilda Carneiro Ferreira, na disciplina Recuperação de Áreas Degradadas, do curso de Engenharia Ambiental. A visita de campo teve como objetivo observar as práticas de recuperação de áreas degradadas utilizadas pela mineradora e conhecer o seu processo produtivo. Assim, foi possível acompanhar todo o processo de extração e beneficiamento do minério; posteriormente visitaram-se as áreas recuperadas pela mineradora.

No dia 20 realizou-se a segunda pesquisa de campo, com o objetivo de obter informações atuais, destacando-se aspectos históricos e os impactos ambientais causados pela atividade mineradora, especialmente nos cursos d'água e na mata ciliar. Primeiramente realizou-se uma entrevista com o biólogo Márcio Roberto da Silva, proprietário da mineradora. Em seguida efetuou-se o reconhecimento em campo de aspectos importantes relacionados à pesquisa, com o acompanhamento de um funcionário. Durante as visitas foram coletados dados de forma empírica e obtidos registros fotográficos.

Através das informações fornecidas pelo biólogo Márcio, pela geóloga Gilda e pelo funcionário Sérgio, pode ser caracterizada a estrutura física da empresa, o método produtivo, os impactos ambientais e as medidas mitigadoras.

Ainda, foi realizada uma terceira visita de campo, visando o reconhecimento de algumas feições de difícil identificação na imagem de alta resolução. No dia 1º de outubro foram selecionados 5 pontos da bacia onde foram coletadas as coordenadas por meio do GPS e observados os tipos de ocupação e uso do solo existente, a fim de verificar os dados mapeados (Tabela 5).

Tabela 5. Pontos cotados.

Ponto	Coordenada E (m)	Coordenada N (m)	Cota (m)	Precisão (m)
1	237.083	7.534.360	678,5	7,4
2	237.573	7.533.712	673,0	7,5
3	238.063	7.534.706	662,0	7,6
4	238.128	7.534.483	625,7	7,6
5	238.115	7.535.485	617,5	8,3

5.2.3 Geração dos mapas temáticos

A etapa foi iniciada com a inserção dos documentos cartográficos no ambiente do SIG/ARCGIS. Em seguida foi realizado o georreferenciamento dos mesmos através da ferramenta *Georeferencing*, adotando-se o Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM), datum planimétrico brasileiro Córrego Alegre, Zona 23-Sul. Assim, realizou-se a digitalização e edição das feições para a elaboração dos mapas temáticos Geológico, Pedológico e de Declividade, utilizando-se recursos de desenho e edição do SIG.

Mapa Pedológico

Diante da importância das características do solo para análise de susceptibilidade à erosão, foi elaborado o mapa pedológico. Este mapa foi produzido através da digitalização de cada feição pedológica da área de estudo encontrada no mapa de Levantamento Pedológico Semi-Detalhado do Estado de São Paulo (1981).

Mapa Geológico

Nas áreas em que as camadas superficiais do solo são removidas pela erosão ou por qualquer outro processo, as camadas geológicas também sofrem com os processos erosivos. Diante do exposto, os aspectos geológicos também foram considerados para a elaboração do mapa de suscetibilidade à erosão, utilizando-se como base cartográfica o Mapa Geológico de Zaine (1994).

Mapa de Declividade

A topografia do terreno possui influência na intensidade erosiva, de modo que quanto maior o grau de declive maior será a velocidade do escoamento superficial. Compreendendo a importância do estudo deste fator, elaborou-se o Mapa de Declividade da área de estudo aplicando-se o método de Modelagem Numérica de Terreno (MNT).

Segundo Câmara e Felgueiras (2001), um MNT trata-se de uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. O processo de geração de um MNT envolve duas etapas: amostragem e interpolação.

A primeira etapa constitui na aquisição de um conjunto de amostras que representam a variação de um fenômeno espacial de interesse (CÂMARA E FELGUEIRAS, 2001). No presente estudo, o processo de amostragem desenvolveu-se com a digitalização de curvas de nível, pontos cotados e drenagem a partir do Plano Cartográfico de Ajapí. As curvas de nível e os pontos cotados receberam valores de cota para o desenvolvimento do MNT.

A interpolação, etapa consecutiva a amostragem, refere-se à geração do modelo propriamente dito. De acordo com Câmara e Felgueiras (2001), o processo de interpolação implica na criação de estruturas de dados e na definição de superfícies de ajuste com o objetivo de se obter uma representação contínua do fenômeno a partir das amostras. As estruturas de dados mais utilizadas são a grade regular e a malha triangular também conhecida como *Triangular Irregular Network* (TIN). A malha triangular é representada por um conjunto de poliedros cujas faces são triangulares, o vértice destes triângulos são os pontos obtidos na amostragem. Este tipo de estrutura permite que sejam consideradas as discontinuidades representadas por feições lineares de relevo (cristas) e drenagens (vales).

Com a finalidade de obter um produto que melhor represente a declividade do terreno foram realizados dois mapeamentos: um utilizando o interpolador de malha triangular e o outro utilizando a função *Topo to raster*.

Utilizando-se o recurso de interpolação de dados altimétricos existente no SIG/ARCGIS, o MNT foi elaborado por meio da malha triangular através da ferramenta *Create TIN from Feature*. O produto obtido da modelagem do terreno foi o Modelo Digital de Terreno (MDT).

De acordo com Nogueira e Amaral (2009) a função *Topo to raster* foi baseada nos trabalhos desenvolvidos por Hutchinson (1998, 1999) em seu programa ANUDEM e utiliza a eficiência computacional da interpolação local, como ponderação do inverso da distância, sem perder a continuidade superficial dos métodos globais de interpolação. Uma das vantagens do *Topo to raster* é que permite que arquivos como, curvas de nível, cursos de rio e delimitações de bacia, possam ser utilizados durante a interpolação, diminuindo os possíveis erros que venham a serem cometidos pelo método. Para a aplicação deste método foi utilizada a ferramenta *Interpolation – Topo to raster*, gerando-se um MDT.

Segundo Câmara e Felgueiras (2001), a declividade é definida por um plano tangente a posição da superfície modelada pelo Modelo Digital de Terreno, e pode ser expressa em graus ou porcentagem.

O SIG/Arcgis possui ferramentas computacionais que processam a declividade a partir do MDT, permitindo-se elaborar o mapa de declividade. A ferramenta utilizada foi *3D Analyst – Surfaces Analysis – Slope*. Em seguida, foi realizado o fatiamento das classes de declividade, de acordo com o grau de limitação por susceptibilidade à erosão estipulado por Ramalho Filho et. al. (1983) (Tabela 6).

Tabela 6. Classes de declividade

Grau de Limitação	Intervalo de Declividade
Nulo	Inferior a 3%
Ligeiro	Entre 3 e 8 %
Moderado	Entre 8 e 20 %
Forte	Entre 20 e 45 %
Muito Forte	Superior a 45 %

O número de classes adotado por Ramalho Filho et. al. (1983) condiz com o número de classes ideal para o conjunto de dados utilizados na elaboração do mapa de declividade determinada pela Fórmula de Sturges. Este método estatístico determina o número de classes (k) considerando o número de n valores de dados de entrada; no caso deste estudo o valor de n foi igual a 14 (12 curvas de nível e 2 pontos cotados) e o de k igual a 5 classes.

$$\text{Fórmula de Sturges : } k = 1 + 3,322(\log_{10} n)$$

Comparando-se os mapeamentos de declividade realizados pelos métodos de malha triangular e de Topo to raster, o que melhor representou a declividade foi o do método Topo to raster. O MDT desenvolvido pelo método TIN gerou erros na representação do fundo de vale. Portanto, adotou-se o MDT desenvolvido pelo método Topo to raster para o mapeamento da declividade da bacia do córrego Mandu.

Mapa de Uso e Ocupação do Solo

Segundo Salomão e Iwasa (1995), o uso e a ocupação do solo constituem o fator decisivo da origem e aceleração dos processos erosivos, juntamente com os fatores naturais caracterizados pela chuva, relevo, solo e cobertura vegetal. Diante do exposto, foi imprescindível a elaboração do Mapa de Uso e Ocupação do Solo para o estudo proposto.

Para o desenvolvimento desta etapa utilizou-se as imagens do satélite CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite ou Satélite Sino-Brasileiro de Recurso Terrestre), o qual foi implantado em 1988 com a parceria entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Academia Chinesa de Tecnologia Espacial (CAST). O programa CBERS mantém três satélites de observação terrestre em órbita, dentre os quais o mais recente lançado foi o CBERS-2B (em 2007). Tal satélite conta com três instrumentos sensores: WFI (*Wide Field Imager* ou Câmera Imageadora de Amplo Campo de Visada), CCD (*High Resolution CCD Camera* ou Câmera Imageadora de Alta Resolução) e HRC (High Resolution Camera ou Câmera Pancromática de Alta Resolução) (BRASIL, 2007).

As imagens utilizadas neste estudo foram geradas no dia 02 de fevereiro de 2010 pelo satélite CBERS-2B por meio dos sensores CCD (bandas 1, 2 e 3) e HRC. Vale ressaltar que as imagens foram obtidas gratuitamente no catálogo de imagens do INPE. As características gerais do satélite CBERS-2B, dos sensores CCD e HRC podem ser observados na Tabela 7.

A finalidade de se adotar duas imagens para a extração das informações relativas ao uso e ocupação do solo foi obter um produto que reunisse as qualidades inerentes a cada imagem. Para atingir o objetivo adotou-se o método de fusão no ambiente do SIG/SPRING, de tal modo que aproveitasse a resolução espacial da imagem do sensor HRC e a resolução espectral da imagem extraída pelo sensor CCD.

Antes de iniciar a fusão das imagens, foi necessário georreferenciá-las baseando-se nas coordenadas da imagem HRC no SIG/Arcgis. Já no ambiente do SPRING, decorrente da incompatibilidade de resolução espacial, espectral e radiométrica entre as imagens dos sensores CCD e HRC, foi necessário aplicar as seguintes técnicas de pré-processamento: restauração e reamostragem.

Tabela 7. Características gerais dos sensores remotos.

SATÉLITE CEBERS-2B		
Lançamento	19/09/2007	
Situação Atual	Ativo	
Altitude	778 km	
Tempo de Duração de Órbita	100,26 min.	
Período de Revisita	26 dias	
Instrumentos Sensores	CCD, HRC e WFI	
SENSORES		
	CCD	HRC
Bandas Espectrais / Resolução Espectral	PAN / 0,51 - 0,73 μm	PAN/ 0,50 - 0,80 μm
	Azul / 0,45 - 0,52 μm	
	Verde / 0,52 - 0,59 μm	
	Vermelho / 0,63 - 0,69 μm	
	Infravermelho Próximo / 0,77 - 0,89	
Resolução Espacial	20 metros	2,7 metros
Resolução Temporal	26 dias (visada vertical) e 3 dias (visada lateral)	130 dias
Área Imageada	113 km	27 km (nadir)
Resolução Radiométrica	/	8 bits
IMAGENS		
	CCD	HRC
Satélite	CBERS-2B	CBERS-2B
Órbita	155	155-A
Ponto	125	125-2
Data de Passagem	02/02/2010	02/02/2010
Latitude Norte	-21,80690	-22,05230
Longitude Oeste	-48,07920	-47,71870
Latitude Sul	-22,94170	-22,33750
Longitude Leste	-47,21760	-47,50540
Tempo Central (GMT)	13:32:51	13:32:40
Orientação da Imagem	8,50435	8,50435
Ângulo Nadir	0	0
Azimute Sol	82,8827	83,243
Elevação do Sol	63,7587	63,7795
Cobertura de Nuvens	Q1, Q2, Q3 e Q4 = 0	Q1, Q2, Q3 e Q4 = 0

Fonte: Brasil, 2007.

A restauração é uma técnica de correção radiométrica cujo objetivo é corrigir as distorções inseridas pelo sensor óptico no processo de geração das imagens digitais. Devido às limitações dos sensores, os detalhes da cena são suavizados na imagem digital, provocando um efeito borrado. Tal efeito é reduzido por meio da restauração, realçando a imagem. Este processo foi aplicado nas imagens do sensor CCD (bandas 1, 2 e 3) através da ferramenta

Imagem – Restauração, onde se inseriu a imagem CCD com resolução espacial de 20 metros, gerando-se uma imagem de resolução espacial de 10 metros e resolução radiométrica de 8 bits (BRASIL, 2006).

No Spring, a reamostragem pode ser desenvolvida por meio de dois tipos de interpoladores: o interpolador de alocação de vizinho mais próximo e o interpolador bilinear. O interpolador utilizado no estudo foi o de alocação de vizinho mais próximo, pois o interpolador bilinear suaviza os limites dos alvos. O interpolador de alocação de vizinho mais próximo atribui ao valor de nível de cinza do "pixel" da imagem corrigida, o mesmo valor do nível de cinza do "pixel" que se encontra mais próximo da posição a ser ocupada. O método é aplicado nas regiões da imagem onde não há heterogeneidade nos valores de nível de cinza, de forma a não alterar o valor de nível de cinza.

Para o desenvolvimento da reamostragem no presente estudo foi necessário criar novos planos de informação, através da ferramenta *Editar – Plano de Informação*, para as imagens restauradas do sensor CCD e a imagem do sensor HRC. Neste plano foi delimitado o retângulo envolvente, no qual se insere a área de estudo, de forma manual através da imagem do sensor HRC; e foi fixado o tamanho dos pixels iguais ao da imagem HRC, ou seja, todas as imagens inseridas nestes planos tiveram a resolução espacial de 2,7 metros. Posterior a este procedimento realizou-se o preenchimento do plano com as imagens reamostradas, definindo esta etapa como a reamostragem propriamente dita. Através da ferramenta *Editar – Mosaico*, foram reamostradas as imagens CCD restauradas e a HRC.

A fusão foi realizada por meio da técnica de transformação IHS (*Intensity, Hue, Saturation*). No espaço IHS, ao invés das cores serem definidas por três quantidades de cores primárias como no espaço RGB (*Red-Vermelho, Green-Verde, Blue-Azul*), as cores são definidas por três atributos: intensidade (*Intensity*) a qual define o brilho da imagem; matiz (*Hue*) define a cor dos objetos; e a saturação (*Saturation*) implica na pureza da cor, fornecendo a elas tons mais fortes ou tons - pasteis (CROSTA, 1992).

A técnica IHS consiste na transformação do sistema RGB para o sistema IHS, seguido da transformação inversa do sistema IHS para RGB. No Spring, a ferramenta utilizada para a elaboração da fusão foi *Imagem – Transformação IHS < - > RGB*. Primeiramente, as imagens CCD reamostradas (bandas 1, 2 e 3) foram transformadas do sistema RGB para o IHS, através de algoritmos matemáticos que relacionam os dois espaços de cores. O resultado foi a geração de três novas imagens, representando respectivamente a intensidade, a saturação e a matiz. Na etapa seguinte, as imagens geradas passaram pela transformação inversa, ou seja, de IHS para RGB. No entanto, nesta transformação ao invés de entrar no atributo intensidade

com a imagem que a representa, foi inserida a imagem HRC reamostrada, consolidando a fusão das imagens. Para se trabalhar com a imagem resultante da fusão, estas foram exportadas para o ambiente Arcgis.

No SIG/ARCGIS, a composição da imagem resultante da fusão foi georreferenciada através de pontos de controle coletados no Plano Cartográfico de Ajapí. Em seguida, efetuou-se a transformação do sistema de projeção de coordenadas planas de WGS (*World Geodetic System*) de 1984 para o sistema UTM/Córrego Alegre/Zona 23-S. Após o reconhecimento em campo de feições observadas na imagem resultante da fusão, as classes de uso e ocupação do solo foram digitalizadas e editadas finalizando-se o mapa de uso e ocupação do solo.

5.2.4 Mapeamento de suscetibilidade à erosão

O mapa de suscetibilidade à erosão foi gerado a partir dos dados físicos e antrópicos solo, geologia, declividade e uso e ocupação do solo, os quais influenciam no processo erosivo. A metodologia adotada baseia-se naquela recomendada por Iwasa e Frendrich (1998). De acordo com estes autores para a elaboração de mapas de suscetibilidade, em escala regional, recomenda-se: realizar o levantamento e a compilação de dados básicos sobre a região; identificar as erosões lineares e os depósitos de assoreamento; fotointerpretação e mapeamento de campo para o reconhecimento e definição dos principais condicionantes dos processos erosivos – geologia, geomorfologia e pedologia; elaborar o mapa de uso e ocupação do solo através de foto interpretação; efetuar a compartimentação em áreas homogêneas em relação a predominância de processos erosivos; e finalmente a elaborar de mapa de suscetibilidade a erosão. Já para a elaboração do mapa adotou-se o método de Análise Multicriterial Ponderada.

Análise Multicriterial Ponderada consiste na aplicação de técnica de inferência espacial, como ferramenta na integração de dados espaciais, ou seja, para a combinação de dados multifonte. Esta combinação resulta em plano de informação com diferentes representações do tipo temático e numérico (MUÑOZ, 2005).

No SIG/Arcgis, o processo consiste em combinar um conjunto de mapas através de uma determinada função, gerando um mapa de saída. Esta combinação leva em conta a importância relativa de cada variável para a contribuição da ocorrência de um determinado evento.

O mapeamento da suscetibilidade a erosão se desenvolveu em duas etapas: tratamento dos dados e análise multicriterial. O tratamento dos dados consistiu na elaboração dos mapas

dos aspectos físicos relacionados com a erosão (Mapa Pedológico, Geológico, Declividade e Uso e Ocupação do Solo) e na conversão dos dados para formato raster.

Para realizar este procedimento de conversão no Mapa de Declividade foi utilizada a ferramenta *Reclass-Reclassify*, a qual transforma o valor classificado (*Classified*) para o formato valor único (*Unique Value*). Nos demais mapas utilizaram-se a ferramenta *Conversion tools-to Raster-Polygon to Raster* para a transformação de vetor para raster.

A análise multicriterial ponderada teve início através da atribuição das influências aos mapas temáticos. O critério adotado para a determinação das influências foi proporcional a sua influência no processo erosivo, ou seja, quanto maior a influência de certo aspecto no desencadeamento do processo erosivo em relação a outro aspecto, maior foi o valor em porcentagem para o mapa.

O critério adotado para a aplicação dos pesos a cada feição mapeada foi semelhante ao dado aos mapas, porém difere-se na escala. Enquanto a ponderação dos mapas se deu por porcentagens, por se tratar de uma comparação entre estes; as feições mapeadas de cada aspecto receberam peso em uma escala de 1 à 5 quanto a sua fragilidade ao desencadeamento do processo erosivo de forma crescente. As feições muito suscetíveis ao desencadeamento do processo erosivo receberam o valor 5, por outro lado aquelas com baixíssima suscetibilidade receberam o valor 1. Para auxiliar na ponderação das feições adotou-se as denominações 5 (altíssima suscetibilidade), 4 (alta), 3 (média), 2 (baixa) e 1 (baixíssima suscetibilidade). A ponderação de cada mapa e suas respectivas classes foi baseada nas características de cada feição quanto à suscetibilidade à erosão e no próprio conhecimento dos aspectos da área de estudo. Os valores aplicados na ponderação dos mapas e suas feições, adotados em cada mapa de suscetibilidade podem ser observados na Tabela 8.

Após a análise dos critérios seguiu-se com o mapeamento da suscetibilidade a erosão. No SIG/Arcgis, o cruzamento dos mapas é realizado da seguinte forma: cada grupo de pixels de entrada, representando as feições reclassificadas, recebe um valor único na escala de 1 a 5, e cada mapa recebe um peso em porcentagem. Cada pixel da imagem raster de saída recebe um valor, que é calculado através da média ponderada dos valores dos pixels de entrada, ou seja, o valor do pixel de saída é igual à soma da multiplicação dos valores de cada pixel pelo fator de porcentagem referente ao aspecto representado, tudo dividido pelo número de pixel somado. A ferramenta utilizada na elaboração do cruzamento foi *Spatial Analyst Tools – Overlay - Weighted Overlay*. A Figura 4 apresenta um resumo referente ao funcionamento da análise multicriterial ponderada.

Tabela 8. Análise Multicriterial, influência de cada mapa e pesos às classes.

Variáveis do Meio Físico		Teste 1		Teste 2		Teste 3		Teste 4	
Físico	Feição	Peso	Infl. mapa	Peso	Infl. mapa	Peso	Infl. mapa	Peso	Infl. mapa
Geologia	F. Rio Claro	5	10%	5	10%	5	10%	5	10%
	F. Corumbataí	2		2		2		2	
	D. Turfas	4		4		4		4	
	D. Aluvionares	3		3		3		3	
Pedologia	PV6	3	20%	3	20%	3	20%	3	20%
	LV2-LV3	2		2		2		2	
Uso e Ocupação do solo	Área minerada	5	40%	5	30%	5	35%	5	40%
	Área da mineradora	4		4		4		4	
	Área revegetada	2		2		2		2	
	Área urbana	0		0		0		0	
	Açude Mandu	5		5		5		5	
	Cultivo de cana	4		4		4		4	
	Cultivo de citrus	4		4		4		4	
	Estrada asfaltada	4		4		4		4	
	Estrada terra	4		4		4		4	
	Eucalipto	3		3		3		3	
	Gramínea	4		4		4		4	
	Pasto	4		4		4		4	
	Solo exposto	5		5		5		5	
	Solo preparado cultivo	3		3		3		3	
	Vegetação ciliar	1		1		1		1	
	Vegetação rasteira/arbustiva	3		3		3		4	
	Área construída	0		0		0		0	
Declividade	0 a 3 %	1	30%	1	40%	1	35%	1	30%
	De 3 a 8 %	2		2		2		2	
	De 8 a 20 %	3		3		3		3	
	De 20 a 45 %	4		4		4		4	
	Maior que 45 %	5		5		5		5	

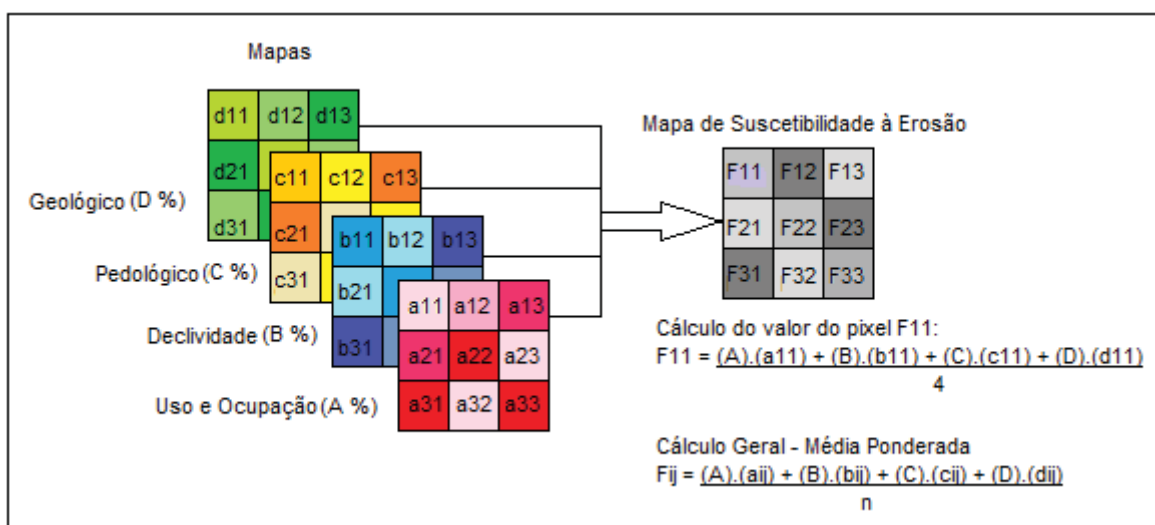


Figura 4. Esquema de cálculo na aplicação da análise multicriterial ponderada.

Na figura 4 cada quadrado maior representa um mapa e os menores os pixels. Cada mapa possui uma influência atribuída em porcentagem, representado pelas letras A, B, C e D; e cada pixel recebe um peso determinado para cada feição física que ele representa, este valor é representado pelas letras minúsculas acompanhadas por uma numeração. A figura mostra o cálculo da média ponderada para cada pixel, onde n é o número de mapas de entrada.

Em suma, foram elaborados quatro mapas de suscetibilidade à erosão, efetuando-se testes através de mudanças no valor de algumas feições. Com a finalidade de checar a veracidade de cada mapa de suscetibilidade, foi realizada uma análise visual comparando os mapas de entrada (geológico, pedológico, declividade e de uso e ocupação do solo) com o de saída (suscetibilidade). Na análise dos mapas, o que mais se aproximou da realidade foi o quarto mapa (teste 4), o qual foi adotado como o mapa final de suscetibilidade à erosão.

5.2.5 Mapeamento da mata ciliar, áreas de proteção permanente e áreas não protegidas pela vegetação ciliar.

A vegetação ciliar é extremamente importante para a proteção dos recursos hídricos e para manter o equilíbrio do ecossistema. Deste modo, considerou-se relevante analisar as condições atuais desta vegetação na bacia do córrego Mandu com base na legislação ambiental.

A preservação da mata ciliar é obrigatória por lei. A Lei 4.771 de 1965 (Código Florestal), alterada pela Lei 7.803 de 1989, considera áreas de preservação permanente aquelas que possuam “[...] florestas e demais formas de vegetação natural situadas: a) ao

longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal". As larguras mínimas de APPs em relação à largura dos cursos d'água foram estabelecidas pela referida Lei e estão evidenciadas na Tabela 9. Já "[...] nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica", a lei estabelece "um raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura".

Tabela 9. Limites mínimos para mata ciliar

Largura Mínima (metros)	Largura do curso d'água (metros)
30	Menor que 10
50	Entre 10 e 50
100	Entre 50 e 200
200	Entre 200 e 600
500	Maior que 600

De forma a complementar o Código Florestal, as resoluções CONAMA nº 302 e 303 de 2002 dispõe sobre parâmetros, definições e limites de APPs, tratando a primeira específica para reservatórios artificiais. Conforme o artigo 3º da resolução nº 302 "constitui Área de Preservação Permanente a área com largura mínima, em projeção horizontal, no entorno dos reservatórios artificiais, medida a partir do nível máximo normal" (Tabela 10).

Tabela 10. Limites mínimos para mata ciliar de acordo Resolução CONAMA.

Largura Mínima (metros)	Condição do Reservatório Artificial
15	Utilizado para geração de energia elétrica com até 10 hectares, sem prejuízo da compensação ambiental.
15	Não utilizado em abastecimento público ou geração de energia elétrica, com até 20 hectares de superfície e localizados em área rural.
30	Situado em áreas urbanas consolidadas.
100	Situados em áreas rurais.

De acordo com o Código Florestal, APP é considerada uma área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas.

Assim, utilizando-se a imagem obtida na fusão a vegetação ciliar da bacia do córrego Mandu foi delimitada, elaborando-se o mapa temático de Mapa de Mata Ciliar.

Com o objetivo de definir áreas prioritárias para a gestão ambiental e verificar se a mata ciliar existente atende às determinações legais, elaborou-se o mapa de APP segundo o

Código Florestal e as resoluções do CONAMA n. 302 e 303 de 2002. Na bacia do córrego Mandu a largura da drenagem é inferior a 10 metros, portanto foi elaborado buffers de mata ciliar de 30 metros ao longo dos canais, 50 metros no entorno das nascentes e 15 metros ao redor do reservatório artificial. No caso a área total do açude Mandu é de 6.034 m². Para elaborar o mapa com os limites das áreas destinadas para a proteção permanente foi utilizado o recurso de *buffer* do Arcgis.

Já para criar um mapa que auxilie na determinação de áreas prioritárias para gestão ambiental foi necessário realizar uma sobreposição dos mapas de mata ciliar e APPs, gerando o Mapa de APP não Protegidas pela Vegetação Ciliar. Para isto, foram ativados os *shapefiles* representando as APPs e a mata ciliar; com a ferramenta *Editor* gerou-se um novo *shape*, delimitando-se as áreas que se encontravam dentro do limite da APP, porém sem vegetação ciliar.

Posteriormente, foi realizada uma sobreposição dos mapas de APP não Protegidas pela Vegetação Ciliar e de Suscetibilidade à Erosão, com objetivo final em obter um mapa que represente as áreas que devem ser consideradas prioritárias para gestão ambiental da bacia. Para tanto, seguiu-se o procedimento semelhante ao adotado na elaboração do mapa de áreas não protegidas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Análise ambiental de suscetibilidade a erosão: fatores condicionantes à erosão

Considerados os condicionantes da origem e aceleração do processo erosivo, os fatores antrópicos determinados pelo uso e ocupação do solo, e os fatores naturais determinados pela declividade do terreno, solo e feições geológicas, foram caracterizados e detalhados por meio de mapeamentos. Esta caracterização foi de suma importância para o desenvolvimento do mapeamento de suscetibilidade a erosão.

6.1.1 Pedologia

De acordo com o Mapa Pedológico da bacia do córrego Mandu (Figura 5), baseado no Levantamento Pedológico Semi-Detalhado da área de estudo, os tipos de solo encontrados foram o Latossolo Vermelho Amarelo e o Podzólico Vermelho Amarelo, classificados como LV2 + LV3 e P6, respectivamente.

Os Latossolos LV2-LV3 representam 86,3 % da área da bacia e localizam-se em toda região sul e parte do norte da área de estudo. As características destes solos são: textura média

no horizonte B com ou sem horizonte A arenoso, solo álico, A moderado, sendo o LV2 pertencente à Unidade Coqueiro e o LV3 a Unidade Laranja Azeda. O caráter álico se refere às altas concentrações de alumínio na camada subsuperficial, apresentando problemas de toxicidade para a maior parte das plantas cultivadas e extrema pobreza de nutrientes. No entanto, na camada arável este problema pode ser corrigido com a aplicação de calcário.

O solo Podzólico Vermelho Amarelo ou Argissolo Vermelho Amarelo foi encontrado em uma pequena porção da região norte, próximo a foz do córrego Mandu, representando apenas 13,7 % da área e podem ser caracterizados como: solo álico, A moderado, textura argilosa ou média/argilosa, pertencente à Unidade Olaria. De modo geral os argissolos são definidos pela EMBRAPA apud Borges (2009) como “solos constituídos por material mineral com argila de atividade baixa e horizonte B textural imediatamente abaixo de horizonte A ou E”.

Segundo Oliveira, Menk e Rotta (1979), na Unidade Olaria a camada superficial possui uma fração de areia fina com valor médio de 40% e uma fração de argila com 33%; já na camada subsuperficial a fração de argila é de 53%, enquanto a de areia é de 30%. No horizonte B é frequente a porcentagem de argila ser superior a 60%. Segundo Oliveira, Jacomine e Camargo apud Borges (2009), o solo Argissolo Vermelho Amarelo possuem algumas limitações por apresentarem uma maior suscetibilidade erosiva.

Sob este aspecto, de acordo com Bueno (1994), a associação indiscriminada de Latossolo Vermelho Amarelo da Unidade Coqueiro e o Latossolo Vermelho Amarelo da Unidade Laranja Azeda apresentam um valor de erodibilidade igual a 0,0148 t.ha./MJ.mm/ha.h. Já o solo Argissolo Vermelho Amarelo apresenta um valor de 0,0285 t.ha./MJ.mm/ha.h.

Considerando os valores de erodibilidade atribuídos para cada tipo de solo como baixa (0,0122 a 0,0223), média (0,0250 a 0,0347) e alta (0,0350 a 0,0490), conforme Bueno (1994), os solos LV2+LV3 e P6 apresentam, respectivamente, baixa e média erodibilidade.

Vale ressaltar que Bueno (1994) estimou os valores de erodibilidade do solo tomando como referência as seguintes propriedades: argila natural, argila dispersa e umidade equivalente. O índice de erodibilidade do solo foi considerado como sendo a razão entre a relação de dispersão e a relação argila dispersa/umidade equivalente, entendendo-se por relação de dispersão a relação do teor de argila natural/teor de argila dispersa.

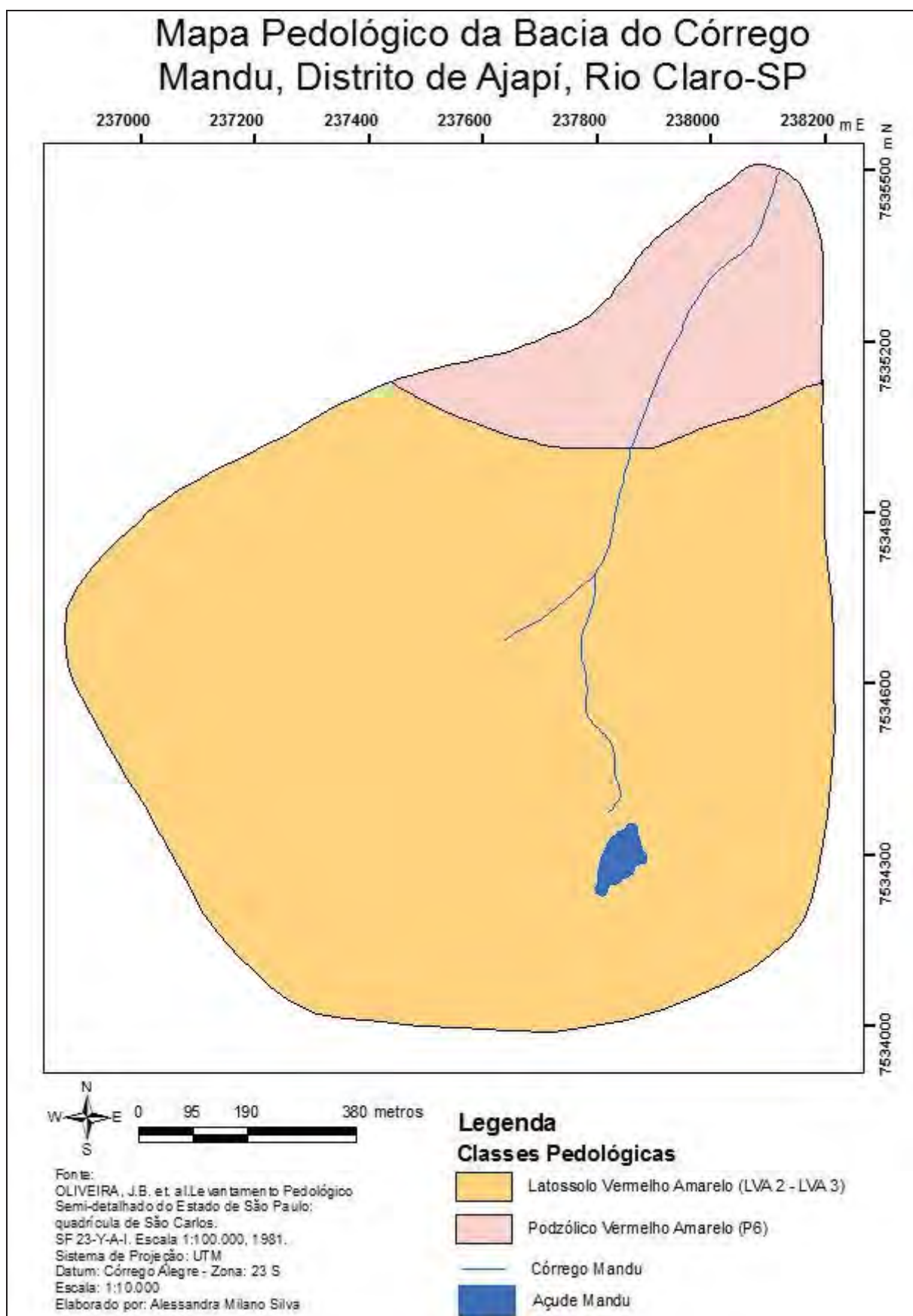


Figura 5. Mapa Pedológico da bacia do córrego Mandu

6.1.2 Geologia

As feições geológicas encontradas na área de estudo são depósitos de terraços com turfas associadas, depósitos aluvionares, formação Rio Claro e formação Corumbataí (Figura 6). Os depósitos de terraços com turfas associadas, em geral localizam-se em médias e baixas encostas, em vales de drenagens e caracterizam-se por depósitos de areia resultante do retrabalhamento da formação Rio Claro com a presença de turfas associadas, as quais indicam oscilações climáticas típicas de clima temperado, de acordo com Zaine (1994). Na área de estudo estes depósitos são encontrados em uma pequena porção central da bacia, representando apenas 5,9 % da área total.

Os Depósitos Aluvionares representam camadas de areias, siltes e argilas, provenientes dos processos erosivos, de transporte e sedimentação nas principais calhas de drenagens ou talvegues (WALTRICK, 2002). Esses depósitos compreendem uma área de 34625,26 m² (2,5% da bacia), localizados em uma pequena porção ao norte da bacia do córrego Mandu, próximo ao ribeirão Claro.

A formação Rio Claro constitui-se por depósitos de arenitos arcosianos mal consolidados, arenitos conglomeráticos e argilitos vermelhos (SCHNEIDER et. al., 1974). Segundo Fúlfaro (1979), sua formação está ligada ao processo de escavação da Depressão Periférica Paulista. Zaine (1994) reforça esta hipótese afirmando que a superfície desta formação pode ter se formado por erosão e pedimentação, com fecho deposicional de pequena espessura. Esta formação está presente na maior parte da bacia, abrangendo cerca de 73,7 % da área, e localiza-se na região norte. Assim como os depósitos de terraços com turfas, a formação Rio Claro é um substrato arenoso com alta suscetibilidade a erosão, em vista de relatos de erosões desenvolvidas nesta formação, principalmente voçorocas.

A formação Corumbataí, segundo Scheneider et. al. (1974) é constituída em argilitos, folhelhos e siltitos de cores cinza escuro na parte inferior e na parte superior, em argilitos, folhelhos e siltitos arroxeados e avermelhados, com intercalações de bancos carbonáticos e camadas de arenitos muito finos. Em geral, esta formação encontra-se entre as formações Irati (contato inferior) e Pirambóia (contato superior), porém como já observado na estratigrafia apresentada por Garcia et. al (2006) a formação Corumbataí está limitada superiormente pela formação Rio Claro na área da bacia do córrego Mandu. Localizada na maior parte da região sul, a formação Corumbataí é a segunda maior formação da área, com 17,9 %. Por sua característica argilosa pode ser considerada menos suscetível a processos erosivos, em relação aos outras feições geológicas.

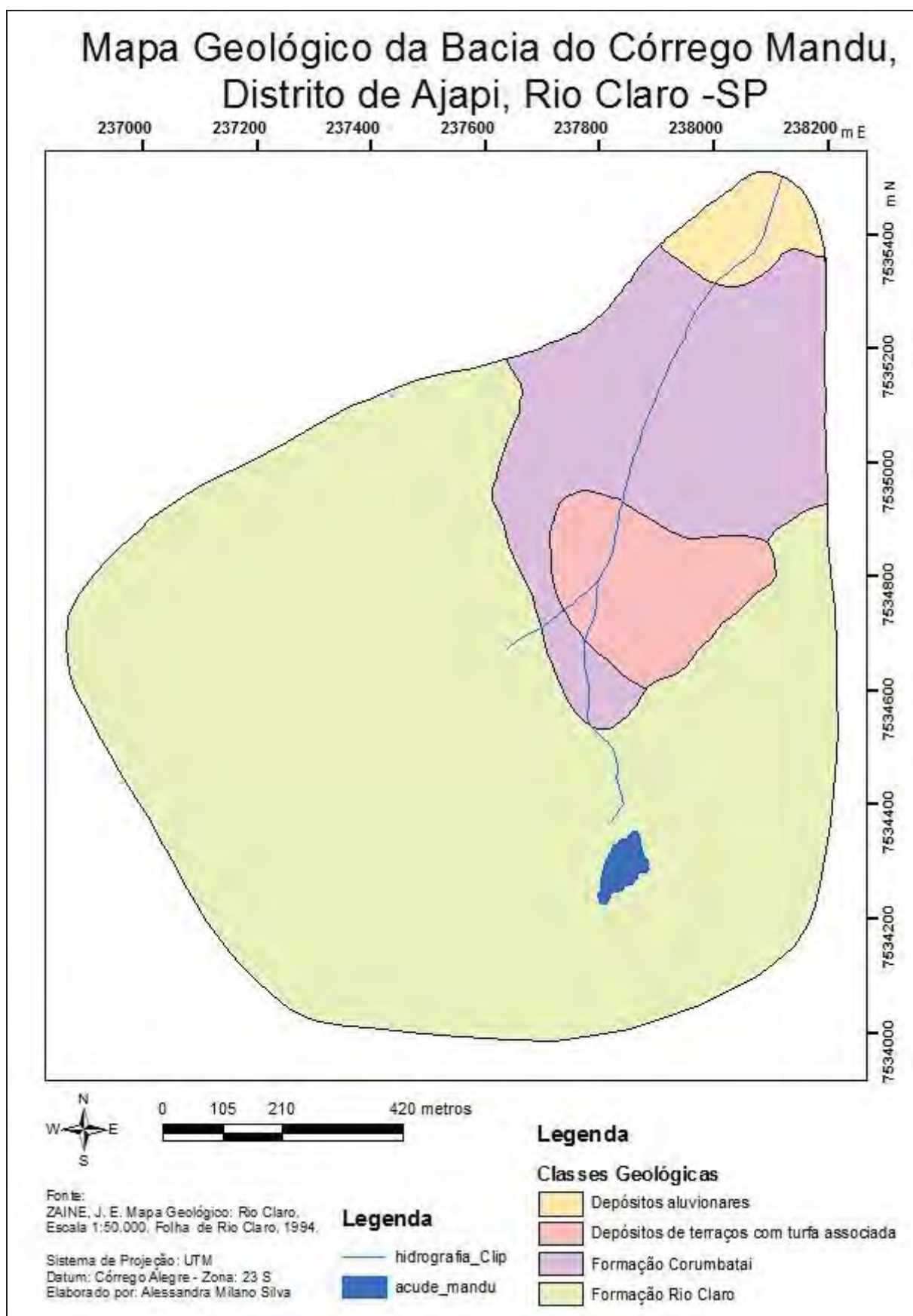


Figura 6. Mapa Geológico da bacia do córrego Mandu.

6.1.3 Topografia

Por meio dos dados altimétricos obtidos na Planta Cartográfica de Ajapí e do Mapa de Declividade (Figura 7), a área de estudo é caracterizada por elevação entre 625 e 680 metros e predominância de declividade entre 0 a 8%. A região aplainada compreende o norte da bacia onde se encontra a área urbana. As declividades de 8 a 20% foram encontradas ao longo do curso de água; já declividades maiores de 20 a 45% estão localizadas próximas a nascente do córrego Mandu e do açude.

Ramalho Filho et. al (1983) classifica a declividade de acordo com o grau de limitação por suscetibilidade à erosão. Estes limites foram adotados para a definição das classes do mapa de declividade e estão caracterizados na Tabela 12.

Tabela 11. Grau de limitação por suscetibilidade à erosão.

Grau de Limitação por Suscetibilidade à Erosão	Declividade (%)	Características
Nulo	< 3	Terras não suscetíveis a erosão. Geralmente ocorre em relevo plano ou quase plano, com boa permeabilidade. Quando cultivadas por 10 a 20 anos podem apresentar erosão ligeira.
Ligeiro	3 ┤ 8	Terras que apresentam pouca suscetibilidade à erosão. Normalmente possuem boas propriedades físicas. Quando utilizadas com lavouras, por um período de 10 a 20 anos, mostram, normalmente, uma perda de 25% ou mais do horizonte superficial.
Moderado	8 ┤ 20	Terras que apresentam moderada suscetibilidade à erosão. Os níveis de declividade podem variar para mais, quando as condições favoráveis, ou para menos de 8% quando muito desfavoráveis, como é o caso de solos com horizonte A arenoso e mudanças texturais abruptas para o horizonte B. Se utilizadas sem adoção de princípios conservacionistas, essas terras podem apresentar sulcos e voçorocas.
Forte	20 ┤ 45	Terras que apresentam grande suscetibilidade à erosão. Os declives podem ser maiores ou menores, dependendo de suas condições físicas. Na maioria dos casos a prevenção à erosão é difícil e dispendiosa, podendo ser antieconômica.
Muito Forte	>45	Terras que apresentam severa suscetibilidade à erosão. Não são recomendáveis para o uso agrícola, sob pena de serem totalmente erodidas, em poucos anos.

Fonte: Adaptado de Ramalho Filho et. al. (1983)

Mapa de Declividade da Bacia do Córrego Mandu, Distrito de Ajapi, Rio Claro-SP

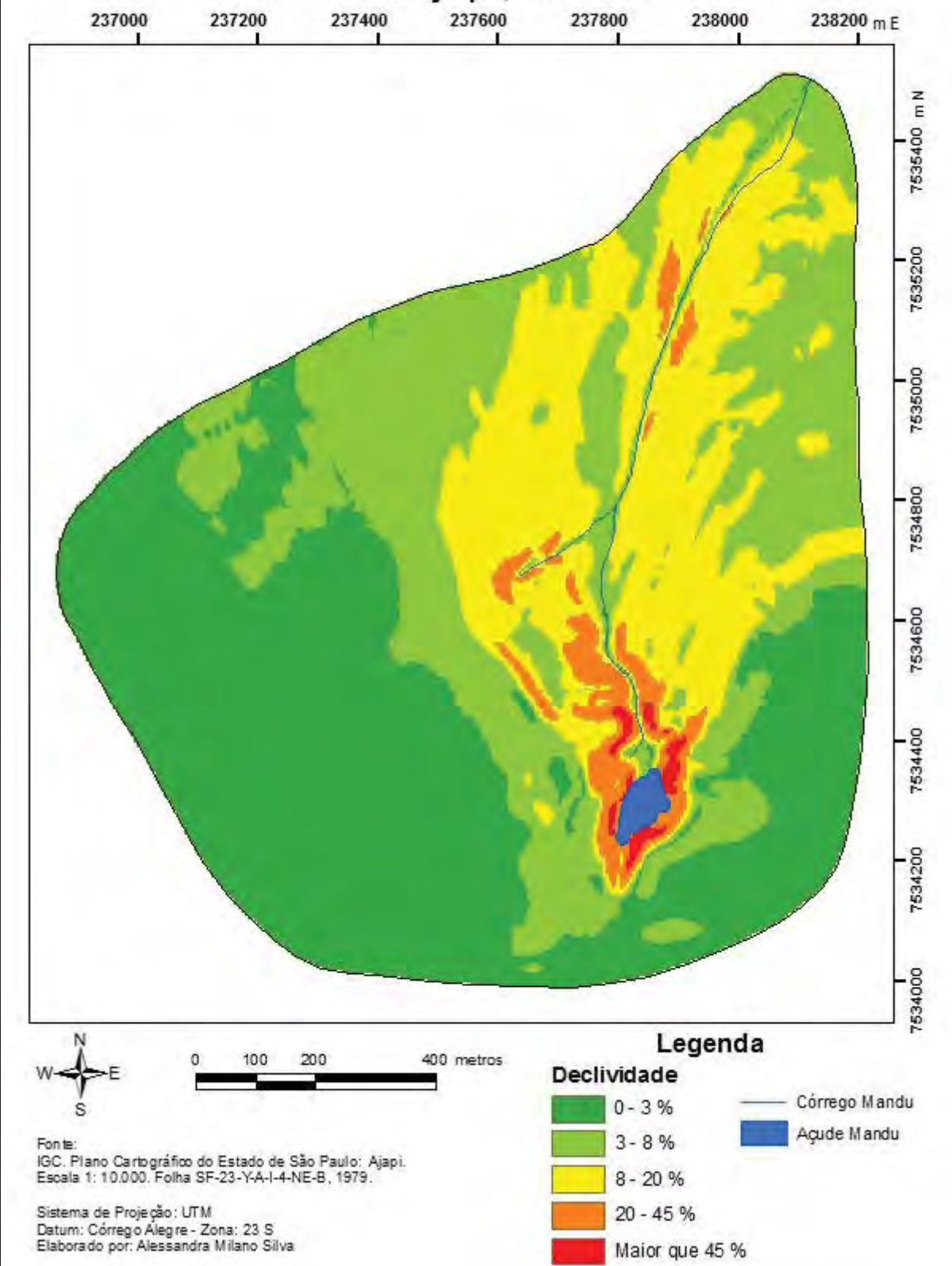


Figura 7. Mapa de Declividade da bacia do córrego Mandu.

5.1.4 Uso e ocupação do solo

O procedimento de fusão das imagens do satélite Cbers-2B, sensores CCD e HRC, pode ser observado na Figura 8. Esta imagem resultante da fusão, juntamente com a identificação realizada em campo foram importantes na extração das feições do uso e ocupação do solo.



Figura 8. Imagens do CBERS dos sensores CCD e HRC antes e depois da fusão.

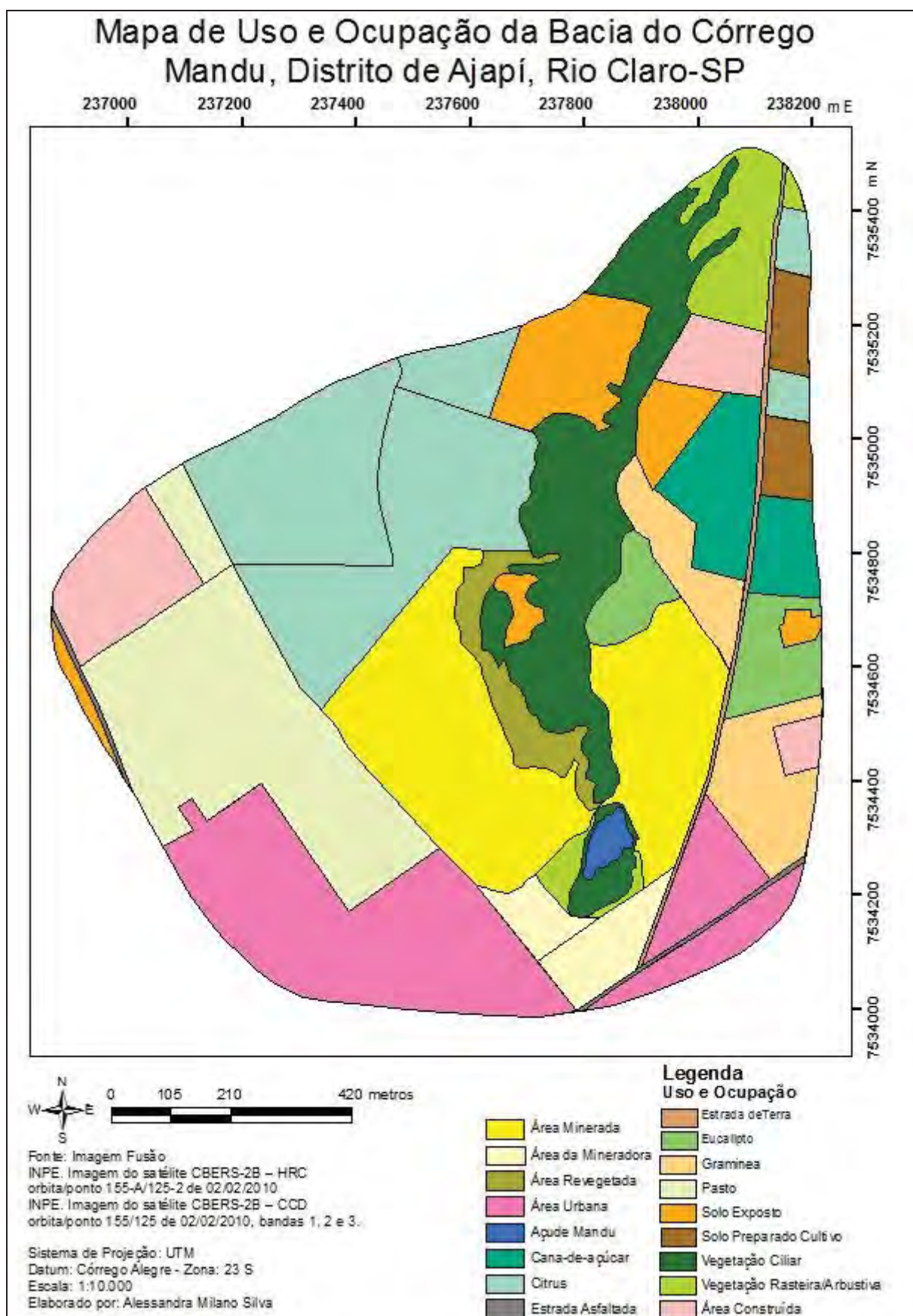


Figura 9. Mapa de uso e ocupação do solo da bacia do córrego Mandu.

O resultado da digitalização das feições de uso e ocupação da bacia com base na interpretação visual da imagem resultante da fusão pode ser observado no Mapa de Uso e Ocupação (Figura 9) e na Figura 10. Através deste mapeamento observa-se que a bacia é composta pelas seguintes feições: área urbana, área da mineradora a qual compreende a área de escritório e depósito, área minerada a qual corresponde à área onde esta sendo retirado o minério e a que já foi minerada, área construída, estrada asfaltada e terra, solo preparado para o cultivo, cultivo de cana-de-açúcar, cultivo de citrus, plantio de eucalipto, solo exposto, açude e córrego Mandu, pasto, gramínea, vegetação rasteira e arbustiva, vegetação ciliar, área revegetada e erosão. Os valores das áreas e perímetros de cada feição do uso e ocupação podem ser observados na Tabela 12 do APÊNDICE A – Dados gerais da bacia.

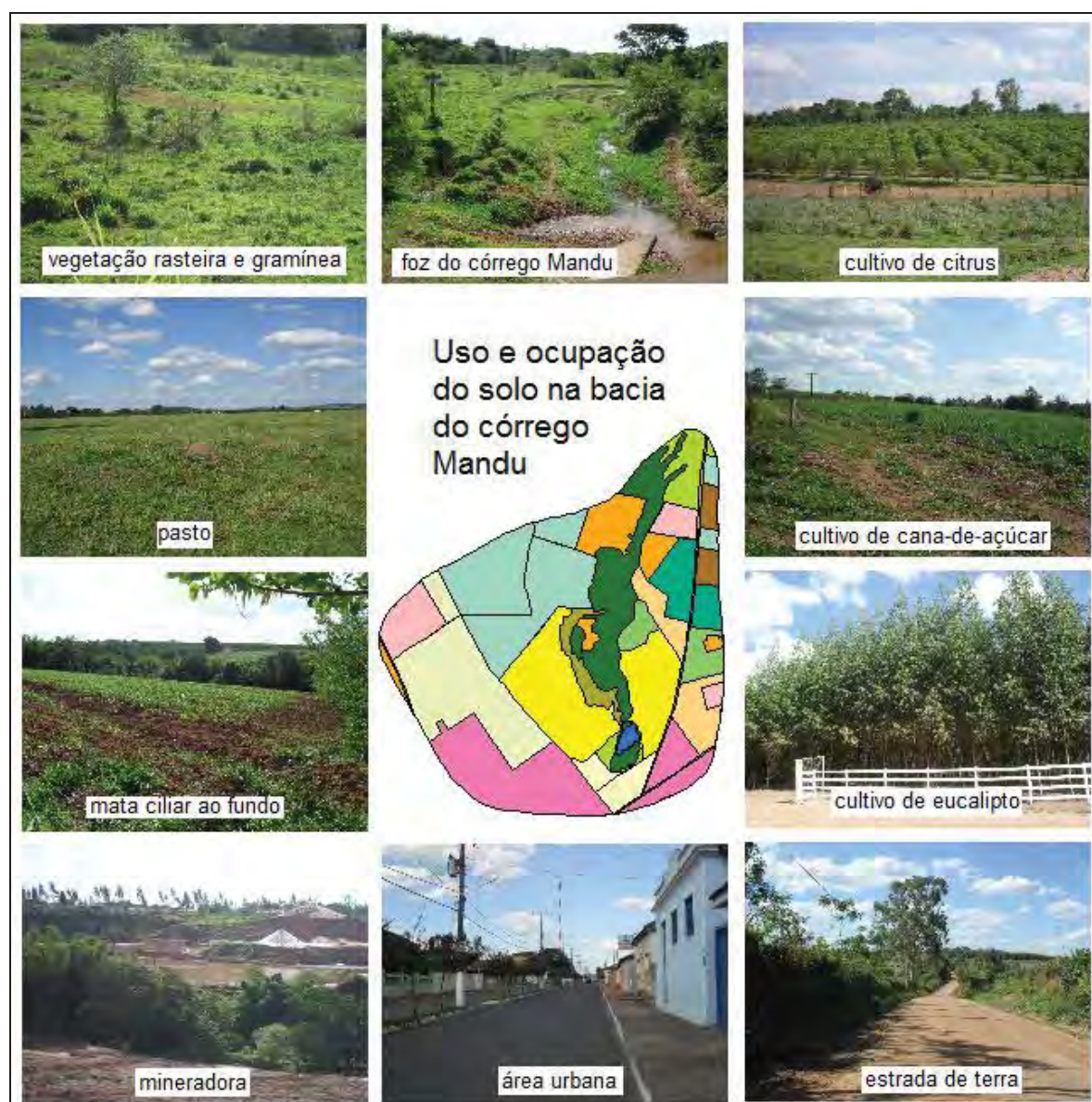


Figura 10. Fotos de feições do uso e ocupação do solo.

Conforme o mapa, a bacia do córrego Mandu caracteriza-se pelo predomínio do uso rural, representando 76,4% da área total da bacia (área bacia = 1.407.807,37 m²); já a área urbana, localizada ao norte, representa 13,74% e a mata ciliar 9,9%. A Mineração Mandu está localizada na porção rural da bacia e sua área é representativa tanto no que se refere à área total da bacia quanto na área rural, representando 11,4% e 21,8% destas áreas, respectivamente. A seguir será apresentada uma breve caracterização da mineradora em questão, incluindo sua localização, modo de produção e medidas preventivas e mitigadoras

A) Características da Mineração Mandu

A Mineração Mandu Indústria e Comércio Ltda. localiza-se na Estrada Velha de Ajapí-Corumbataí, km 1, no distrito de Ajapí, município de Rio Claro-SP, próximo ao córrego Mandu (Figura 2).

A mineradora atua desde 1981 e consiste num empreendimento de pequeno porte, produzindo dois tipos de areia: areia industrial e areia para construção civil. A areia destinada a indústria diferencia-se pela sua cor clara e por ser de origem de camadas mais profundas; sua produção anual é de 15.000 toneladas e seus principais consumidores localizam-se nos municípios de São Paulo, Itú, Piracicaba, Araras, Limeira e Campinas. Já a areia construção civil possui uma cor mais escura e é extraída de camadas mais rasas; sua produção é de 15.000 toneladas por ano, abastecendo os municípios de Rio Claro, Piracicaba e Limeira.

A estrutura do empreendimento consiste num escritório; depósito de ferro velho para maquinário; pátio para secagem da areia industrial; galpão de maquinários; galpão com forno de secagem e estocagem; tanque de água de reuso; uma cava ativa; e três tanques de rejeito (antigas cavas), sendo que apenas um dos tanques ainda recebe rejeito, dos outros dois tanques um encontra-se desativado e recuperado, e o outro apenas desativado, conforme pode ser observado na Figura 11.

O processo de produção envolve duas etapas: a extração e o beneficiamento do minério. A primeira etapa consiste na retirada do minério da cava a céu aberto por meio de retroescavadeiras, em seguida o material retirado é transportado por caminhões para a segunda etapa. O beneficiamento é realizado através da lavagem do material e posterior secagem, esta última pode ser feita por meio de um forno ou através da secagem natural, onde o material fica exposto ao sol em um pátio de secagem.

Algumas medidas mitigadoras são aplicadas pela mineradora, dentre as quais se podem citar a recuperação da mata ciliar, recirculação da água do processo de beneficiamento,

utilização de tanque de rejeito, recuperação de tanques de rejeito e reutilização da camada fértil do solo

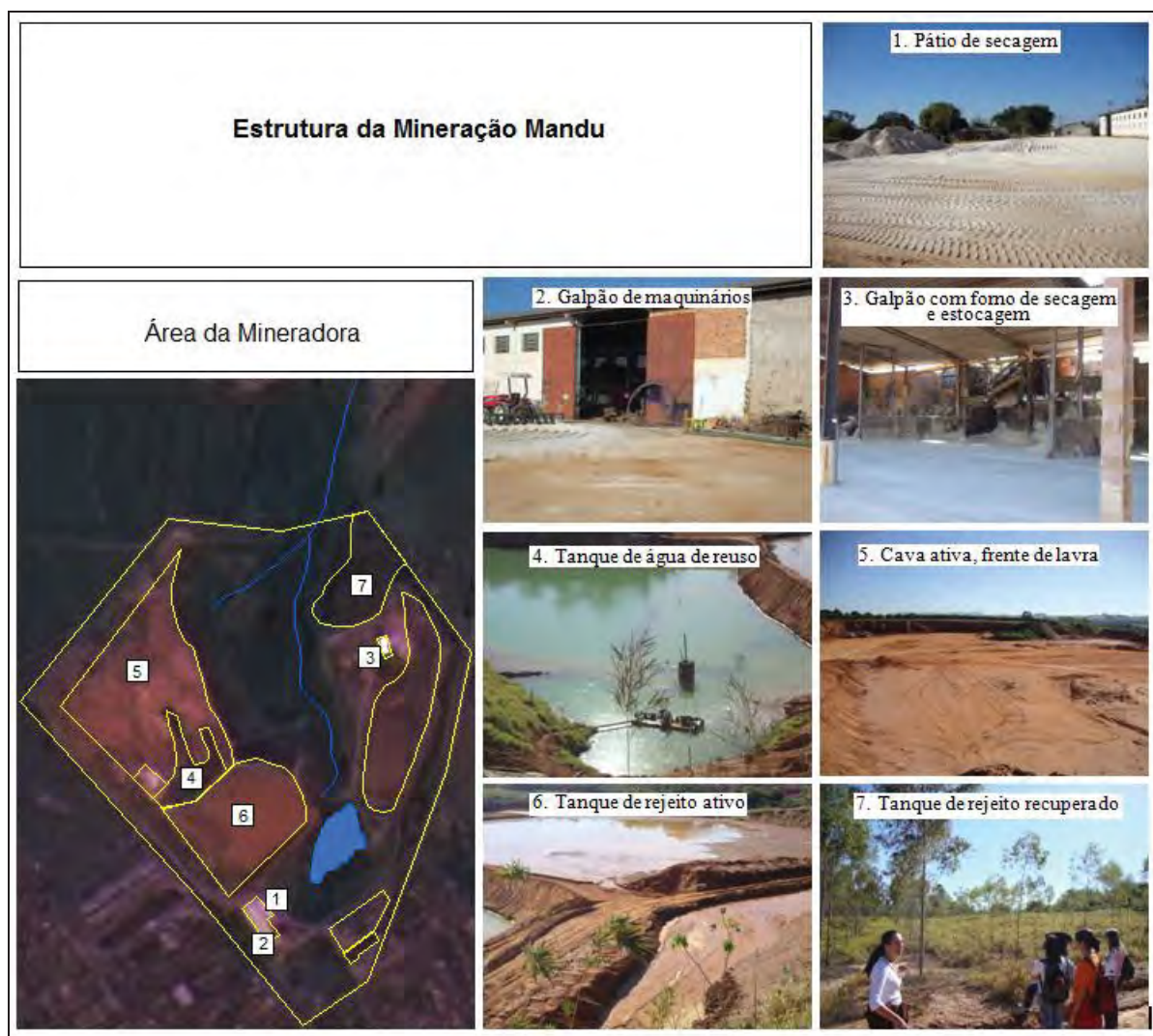


Figura 11. Estrutura produtiva da Mineração Mandu.

A recuperação da mata ciliar do córrego Mandu foi realizada posteriormente ao retaludamento e terraplanagem da área, efetuado antes da instalação da mineradora devido às erosões encontradas na área. Todo o material de rejeito do beneficiamento é depositado em um tanque de rejeito, o qual era uma antiga cava de extração. Composto por um material argiloso e aquoso, o rejeito depois de algum tempo no tanque acaba se sedimentando e a água que ficou na parte superior do tanque é reutilizada no processo de lavagem do minério. Embora se utilize a água reaproveitada do rejeito, o processo demanda também a água do açude Mandu.

Na mineradora existem um tanque de rejeito ativo e dois desativados, destes últimos um passou pelo processo de recuperação e o outro se encontra em processo de secagem. Esta secagem é uma fase preliminar a recuperação, para que se estabilize o terreno. O tanque que foi recuperado, após passar por esta fase, passou por uma correção topográfica, recebeu uma camada de solo e posteriormente foi revegetado com eucalipto.

Em relação aos aspectos legais, segundo Brasil (2010), foi concedido pelo DNPM à mineradora o Alvará de Pesquisa em 06 de fevereiro de 1984 e a Concessão de Lavra em 24 de março em 1988. Sua situação perante o órgão ambiental também é regular, de acordo com São Paulo (2010), a empresa possui Licença de Operação desde 14 de dezembro de 2000, a qual vem sendo renovada a cada 5 anos.

6.2 Análise ambiental das áreas de suscetibilidade à erosão

O mapa de Suscetibilidade à erosão (Figura 12) foi gerado a partir do cruzamento dos mapas pedológico, geológico, de declividade e uso e ocupação do solo, apresentando quatro classes de suscetibilidade à erosão que serão descritas a seguir:

- ✓ Baixa suscetibilidade à erosão: as áreas com possibilidades baixas de desenvolver o processo erosivo estão localizadas em áreas urbanas e construídas e ao longo do córrego Mandu e correspondem a áreas com predomínio de vegetação ciliar, declividade menor que 8%, com pequenas porções com declividade entre 8 e 20%. O solo Podzólico Vermelho Amarelo, associado com a baixa declividade e o substrato argiloso da formação Corumbataí caracteriza-se pela classe baixa de suscetibilidade ao desenvolvimento do processo erosivo na região próxima ao encontro do córrego Mandu com o ribeirão Claro. Na porção mediana do córrego, apesar da declividade ser caracterizada com ligeira a moderado grau de suscetibilidade, encontra-se nesta área uma grande faixa classificada como baixa suscetibilidade à erosão, justificada pelo uso do solo ser composto por mata ciliar, possuir substrato argiloso da formação Corumbataí e depósito de turfa, e um solo menos erodível, o Latossolo Vermelho Amarelo. Já próxima a nascente, a mancha de baixa suscetibilidade caracterizada pela baixa declividade, cobertura vegetal ciliar e solo com baixa erodibilidade, não é extensa por se tratar de uma área com subsolo arenoso da formação Rio Claro. A área urbana e as áreas construídas associadas com a baixa declividade e com o Latossolo Vermelho Amarelo determinam a baixa suscetibilidade, mesmo se tratando de áreas com formação geológica arenosa, Formação Rio Claro.

- ✓ Média suscetibilidade à erosão: predominante na bacia, as áreas de média suscetibilidade à erosão consistem em áreas com predomínio de baixa declividade (menor que 8%) associadas com uso agrícola de cultivos de citrus, cana e eucalipto, áreas com gramínea, pasto e vegetação rasteira. Apesar de algumas características físicas e antrópicas ao serem analisadas separadamente são consideradas de alta suscetibilidade, estas foram classificadas como média devido à declividade de baixa a média do terreno, cujo peso é alto na avaliação da suscetibilidade. Na região sul da bacia, as áreas classificadas como média suscetibilidade à erosão apresenta solo pouco erodível, declividade menor que 2%, predomínio da atividade agrícola e substrato arenoso da formação Rio Claro. No extremo norte da bacia, onde o córrego Mandu encontra o ribeirão Claro, apesar de ser uma área com subsolo composto por depósitos aluvionares e se tratar de uma área com vegetação rasteira e arbustiva, onde deveria possuir vegetação ciliar, foi considerado de média suscetibilidade por ser uma região aplainada e de solo de textura argilosa. Na porção mediana a norte da bacia, a média suscetibilidade é justificada pela alta declividade associada com o uso agrícola, ao substrato argiloso da formação Corumbataí e com solo de baixa erodibilidade nas regiões próximas ao córrego. A área da mineradora que representa o depósito, escritório e área de secagem localizam-se nesta região de média suscetibilidade. Observa-se também que foi atribuída esta classe a pequenas partes da área minerada devido a baixa declividade do terreno, no entanto, tal classificação pode ter acarretado um erro na geração do mapa de declividade, pois este mapa foi elaborado a partir de curvas de nível extraídas em 1979 e não representando com fidelidade a topografia atual.
- ✓ Alta suscetibilidade à erosão: localizadas na porção mediana da bacia onde se insere a área minerada e em pequenas áreas de solo exposto ao norte, as áreas de alta suscetibilidade à erosão representam áreas de alta declividade (entre 20 a 45%) com moderado a forte grau de suscetibilidade erosiva. As áreas na porção central caracterizam-se por solo pouco erodível, no entanto, a alta suscetibilidade determina-se pela alta declividade, pela formação arenosa da formação Rio Claro e pela área de extração mineral. As áreas ao norte correspondem a áreas de alta declividade, solo exposto e de média erodibilidade e formação geológica representada pela formação Corumbataí.

Todas as áreas classificadas quanto à suscetibilidade a erosão devem ser consideradas no planejamento e na gestão da bacia do córrego Mandu de forma a dar prioridade àquelas que possuam maior possibilidade em desenvolver o processo erosivo. Em relação à mineradora, como pode ser observado no Mapa de Suscetibilidade à Erosão, a área minerada está localizada na região de alta suscetibilidade à erosão, portanto a não recuperação desta área após encerramento ou mesmo durante a operação pode ocasionar problemas erosivos graves, uma vez que área possui um histórico com este tipo de problema.

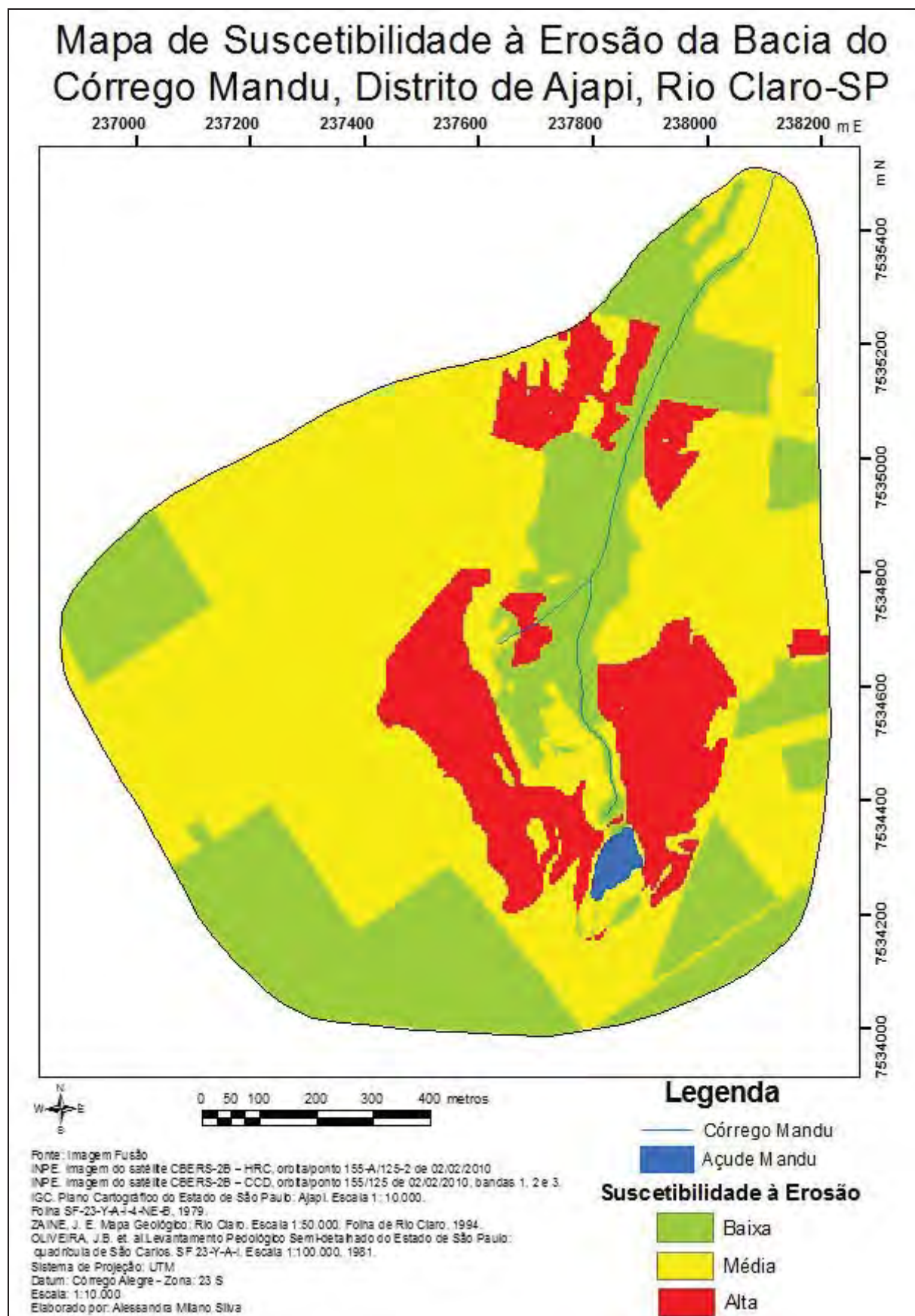


Figura 12. Mapa de Suscetibilidade à Erosão da bacia do córrego Mandu.

6.3 Análise de compatibilidade da mata ciliar existente com a APP regida por lei

O resultado do cruzamento das áreas de mata ciliar existente na bacia com as áreas de proteção permanente determinadas pelo Código Florestal e pelas Resoluções CONAMA n. 302 e 303 de 2002 foi o Mapa de Áreas Não Protegidas (Figura 13), que aponta as áreas que deveriam possuir vegetação ciliar, mas que não possuem.

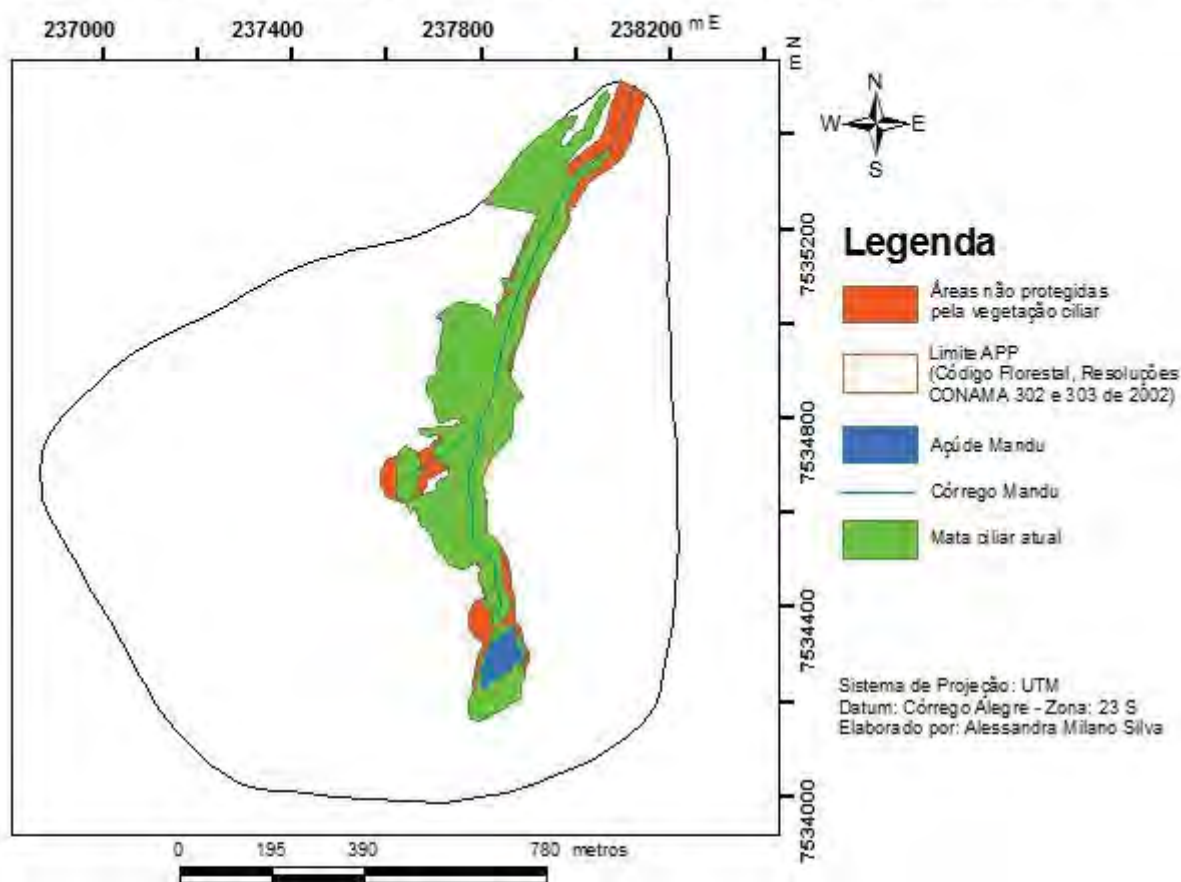
De forma geral, o córrego Mandu está bem protegido pela vegetação ciliar, sendo que 71,6% da APP determinada por lei é preenchida pela mata ciliar, porém o cenário ideal deveria ser de 100%. De acordo com o mapeamento, as áreas que não possuem vegetação ciliar representam 28,4% da área limitante destinada à proteção e estão localizadas próximas as nascentes e ao açude Mandu, e em uma faixa considerável localizada a jusante do córrego.

Apesar dos esforços da mineradora Mandu em revegetar a área da nascente, as margens do córrego Mandu incluídas em sua área e as margens do açude, não estão devidamente protegidas de acordo com a legislação. Além de não compreender toda a faixa destinada a APP, a vegetação encontrada não é muito densa no entorno do açude e da nascente, como pode ser observado pela Figura 14.

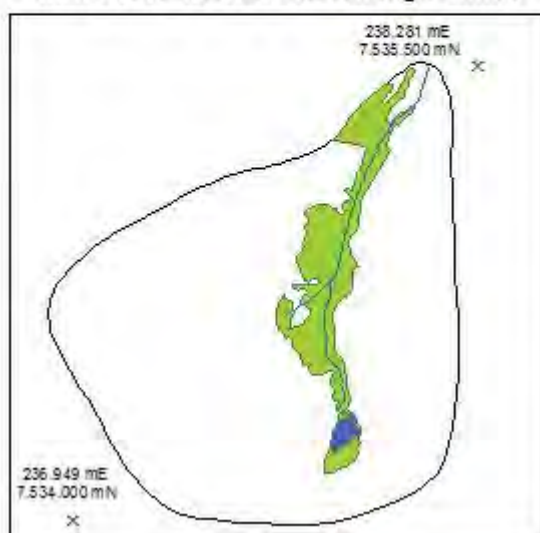
Em se tratando de suscetibilidade à erosão, de acordo com a Figura 14, pode se observar que as áreas que não estão protegidas localizam-se em regiões de média à alta suscetibilidade à erosão. Portanto, nota-se a importância em se tomar medidas mitigadoras imediatas nestas áreas.

Vale lembrar, que o antigo Código Florestal foi modificado recentemente e seu projeto esta no plenário da Câmara para que seja votado pelos parlamentares. As alterações realizadas no novo Código Florestal que merecem destaque são: redução da reserva legal; anistia aos que desmatam reservas legais e áreas de preservação permanente e; redução de áreas destinadas à proteção ambiental nas margens de cursos d'água, nascentes e olhos d'água. De acordo com o texto proposto por Aldo Rebelo, as áreas de preservação permanente passariam de no mínimo 30 metros para 7,5 metros podendo o Estado propor diferentes medidas de acordo com os levantamentos locais e estas áreas passariam a contabilizar como reserva legal.

Mapa de Áreas Não Protegidas Pela Vegetação Ciliar da Bacia do Córrego Mandu, Distrito de Ajapí, Rio Claro-SP



Mata Ciliar da bacia do Córrego Mandu



Área de Proteção Permanente da bacia do Córrego Mandu

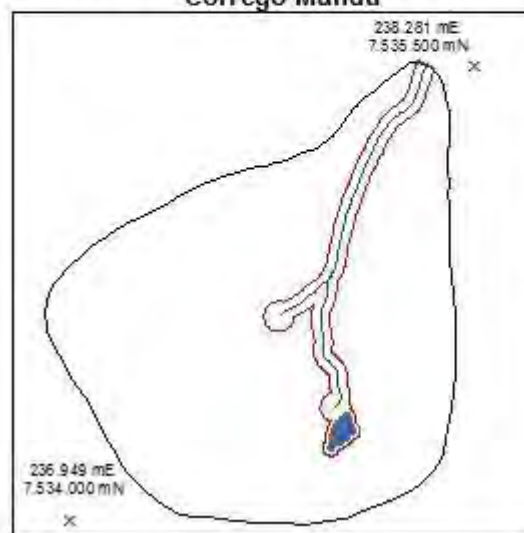
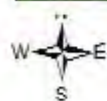
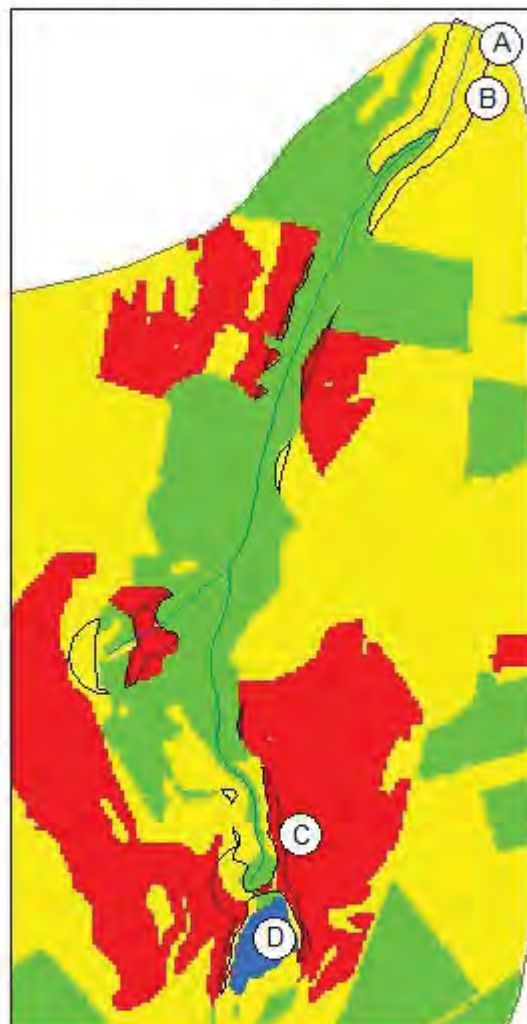


Figura 13. Mapa de áreas não protegidas da bacia do córrego Mandu.

Área não Protegida
X
Suscetibilidade à Erosão



Legenda

- | | |
|------------------|--------------------------|
| — Córrego Mandu | Suscetibilidade à Erosão |
| □ Áreas Críticas | ■ Baixa |
| ■ Açude Mandu | ■ Média |
| | ■ Alta |



Figura 14. Cruzamento das áreas não protegidas com as áreas de suscetibilidade à erosão.

7 CONCLUSÕES

A utilização do SIG e de técnicas de geoprocessamento quando aplicados ao estudo associado ao meio físico e antrópico auxilia no entendimento da dinâmica territorial. No caso da análise de suscetibilidade à erosão, essas ferramentas foram de grande relevância, possibilitando a visualização das áreas susceptíveis e áreas inadequadas à implantação de atividades econômicas e à expansão urbana.

Em geral, grande parte da bacia possui média suscetibilidade à erosão devido principalmente ao uso agrícola do solo e a baixa a média declividade. Porém, as áreas de alta suscetibilidade à erosão também são representativas, principalmente na área minerada. As áreas classificadas como de baixa suscetibilidade são encontradas em regiões com mata ciliar, demonstrando a grande importância desta vegetação para a preservação do solo quanto ao processo erosivo. Outro fato que também justifica esta importância é a localização das áreas de alta suscetibilidade à erosão que se localizam próximas a nascente e ao açude, onde não há vegetação ciliar e possui alta declividade.

As técnicas aplicadas também permitiram analisar a situação atual da bacia quanto à vegetação ciliar existente na área e seu enquadramento na legislação ambiental, identificando as áreas não protegidas pela mata ciliar. De forma geral, as margens do córrego Mandu se encontram com uma considerável porcentagem de mata ciliar. Porém, as áreas não protegidas por esta mata estão concentradas dentro do perímetro da mineradora, especificamente próxima a nascente e do açude Mandu, e numa grande porção a jusante do córrego Mandu.

Os métodos aplicados para gerar os mapas de suscetibilidade à erosão e de mata ciliar se mostraram eficazes, permitindo atingir com sucesso o objetivo proposto. Contudo, houve algumas dificuldades quanto à obtenção dos dados. Verificou-se a ausência de estudos detalhados da área e de documentos cartográficos com nível de detalhe mais elevado.

Por fim, o estudo gerou produtos cartográficos que podem ser de grande utilidade para a administração pública e até mesmo aos produtores rurais e industriais, pois permite direcionar ações e o crescimento urbano ainda não consolidado, e consequentemente subsidiando a gestão ambiental da bacia do córrego Mandu. Ainda, este estudo pode ser testado como modelo para análise ambiental de bacias hidrográficas, podendo ser aplicado para a gestão de outras áreas.

8 RECOMENDAÇÕES

Em decorrência dos resultados apresentados recomenda-se que se priorize a gestão das áreas com maior grau de suscetibilidade à erosão. De forma preventiva ou até mesmo mitigadora devem-se proteger as áreas de alta suscetibilidade com cobertura vegetal, bem como as APP não protegidas pela mata ciliar, impedindo qualquer tipo de uso nestas áreas.

Para as áreas com média e baixa suscetibilidade recomenda-se que sejam aplicadas técnicas de manejo do solo pelos agricultores, de forma a prevenir o desenvolvimento do processo erosivo, tais como aplicação de curva em nível e rotação de cultura. Em relação à mineradora, por se tratar de uma área com média suscetibilidade à erosão, o empreendedor deve dar atenção especial à vegetação ciliar encontrada na área, recomendando-se aplicar técnicas de recuperação tanto para a área já minerada quanto para a área de APP.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, P. C.; OLIVEIRA, S. L. Mineração, In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A.(Ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 1998.

ALMEIDA, F. M. DE. **Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista**. São Paulo: Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, 1974.

ALVES, H. M. R; VIEIRA, T. G. C; ANDRADE, H. Sistemas de informação geográfica na avaliação de impactos provenientes de atividade agropecuárias. Informe **Agropecuário**, Belo Horizonte, MG, v. 21, p. 99-109, 2000.

BACCI, D. L. C. **Extração de Areia na Bacia do Rio Corumbataí (SP)**. 1994. 115 f. Dissertação (Mestrado em Geociência) – Instituto de Geociência e Ciência Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1994.

BARROS, M. T. L. Gestão de recursos hídricos, In: PHILIPPI JR, A.; ALVES, A. C. (Ed.). **Curso Interdisciplinar de Direito Ambiental**. Barueri: Manole, 2005. (Ambiental; 4).

BORGES, P. **Evolução dos Processos Erosivos na Bacia do Ribeirão Alan Grei - SP: uma contribuição ao planejamento ambiental.** 2009. Dissertação (Mestre em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro: 2009.

BRAGA, R. A. P. **Avaliação dos Instrumentos de Políticas Públicas na Conservação Integrada de Florestas e Águas, com Estudo de Caso na Bacia do Corumbataí – SP.** 2005. 316 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Departamento da Produção Mineral. **Prévia da Indústria Mineral 2009/2008.** 2009. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/publicacoes/Previa/Previa_da_Industria_Mineral_2009_2008.pdf> . Acessado em: 02 fev. 2010.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sistema:** Cadastro Mineiro. 2010. Disponível em: <<https://sistemas.dnpm.gov.br/SCM/extra/site/admin/pesquisarProcessos.aspx>>. Acessado em: 12 fev. 2010.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População residente, por sexo e situação do domicílio, população residente de 10 anos ou mais de idade, total, alfabetizada e taxa de alfabetização, segundo os municípios.** 2000. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/universo.php?tipo=31o/tabela13_1.shtm&paginaatual=1&uf=35&letra=R>. Acessado em: 04 mai. 2010.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. INPE. Cbers. **Sobre o satélite.** São José dos Campos, 2007c. Disponível em: < <http://www.cbers.inpe.br/?content=index> >. Acessado em: 29 de set. 2010.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Divisão Processamento de Imagem. INPE. **Tutorial de Geoprocessamento.** São José dos Campos, 2006c. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/index.html> >. Acessado em: 29 set. 2010.

BUENO, C. R. P. **Zoneamento de suscetibilidade à erosão dos solos da alta e média bacia do Rio Jacaré-Pepira, SP, com vistas ao planejamento ambiental**. 1994. Tese (Doutorado em Geociência) – Instituto de Geociência e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1994.

CABRAL, M. Jr.; OBATA, O. R.; SINTONI, A. (Coord.). **Minerais Industriais**: orientação para regularização e implantação de empreendimentos. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2005. 86 p.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂMARA, G.; FELGUEIRAS, C. A. Modelagem Numérica de Terreno. In: Câmara, G; Davis, C; Monteiro, A.M.V. (Org.). **Introdução a Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: Ministério da Ciência e Tecnologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001.

CONSUMO de água no Brasil é cinco vezes maior. São Paulo: EBand, 2010. Disponível em: < <http://www.band.com.br/jornalismo/cidades/conteudo.asp?ID=279641>>. Acesso em: 02 dez. 2010.

CROSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1992.

DIAS, J. E.; GOES, M. H. de B.; DA SILVA, J. X.; GOMES, O. V. de O. Geoprocessamento aplicado à análise ambiental: o caso do município de Volta Redonda-RJ, In: DA SILVA, J. X.; ZAIDAN, R. T. (Org.). **Geoprocessamento & Análise Ambiental**: aplicações. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

FORNASARI FILHO, N. (Coord.); BRAGA, T. O.; GALVEZ, M. L.; BITAR, O. Y.; AMARANTE, A.; **Alterações no Meio Físico Decorrentes de Obras de Engenharia**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1992.

FÚLFARO, V.J. Cenozóico da Bacia do Paraná. In: **Curso de Atualização Geologia do Estado de São Paulo: programas, resumos e bibliografia**. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 1979.

GARCIA, G. J. (Cord.); PERINOTTO, J. A. J.; GARCIA, L. B. R.; MORETTI, L. R.; FREITAS, M. I. C.; KOFFLER, N. F.; MORALES N. **Atlas Ambiental da Bacia do Rio Corumbataí**. Centro de Análise e Planejamento Ambiental, Universidade Estadual Paulista, 2002. Disponível em: < <http://ceapla.rc.unesp.br/atlas/atlas.html>>. Acessado em: 04 mai. 2010.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Impacto do lançamento de efluentes urbanos sobre alguns ecossistemas aquáticos do município de Rio Claro-SP. **PUC-SP Ciências Biológicas e do Ambiente**: revista da Faculdade de Ciências Biológicas do Centro de Ciências Médicas e Biológicas da PUC-SP, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 317-330, 2000.

HERMANN, H. **Política de Aproveitamento de Areia no Estado de São Paulo**: dos conflitos existentes às compatibilizações possíveis. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1992.

HIRATA, R. C. A.; BASTOS, C. R. A.; ROCHA, G. A. (Coord.) IG; CETESB; DAAE. **Mapeamento da Vulnerabilidade e Risco de Poluição da Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto Geológico: CETESB, 1997.

IBGE.Cidades@. **São Paulo**: Rio Claro (SP). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acessado em: 23 set. 2009.

INFANTI, N. Jr.; FORNASARI FILHO, N. Processos de Dinâmica Superficial. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. (Ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

IWASA, O. Y. ; FENDRICH, R. Controle da Erosão Urbana. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. (Ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

LA SERNA, H. A; RECUERO, J. C.; REZENDE, M. M.; CAVALCANTE, V. M. M. **Sumário Mineral Brasileiro 2008**: Agregados para construção civil. 2008. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/SumarioMineral2008/Agregados.pdf>>. Acessado em: 02 fev. 2010.

MINERAIS ao alcance de todos. São Paulo: BEI, 2004. 141 p. (Entenda e Aprenda).

MOREIRA, M. A. N. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3 ed. Viçosa: Ed. UFG, 2005.

MUCCI, J. L. N. Introdução às Ciências Ambientais, In: PHILIPPI JR, A.; ALVES, A. C. (Ed.). **Curso Interdisciplinar de Direito Ambiental**. Barueri: Manole, 2005. (Ambiental; 4).

MUÑOZ, V. A. **Análise Comparativa de Técnicas de Inferência Espacial para Identificação de Unidades de Suscetibilidade aos Movimentos de Massa na Região de São Sebastião, São Paulo, Brasil**. 2005. 61 F. Monografia (Especialização do XVIII Curso Internacional em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.

NEVES, C. A. R.; SILVA, L. R. **Universo da Mineração Brasileira**. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, 2007.

OLIVEIRA, J.B; MENK, J. R. F.; ROTTA, C. L. **Levantamento Pedológico Semidetalhado dos Solos do Estado de São Paulo**: quadrícula de Capinas. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.

PANCHER, A. M.; FREITAS, M. I. C. O uso da cartografia digital e SIG para o mapeamento da mata ciliar do Rio Corumbataí na cidade de Rio Claro/SP, In: PEJON, O. J.; ZUQUETTE, L. V. (Ed.). **Cartografia geotécnica e Geoambiental** : conhecimento do meio físico : base para a sustentabilidade. São Carlos: Suprema Gráfica Editora, 2004.

PENTEADO, M. M. **Geomorfologia do Setor Centro-Ocidental da Depressão Periférica Paulista**, 1976. 86 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro-SP, 1968.

PHILIPPI JR, A.; MAGLIO, L. C. Avaliação de Impacto Ambiental, In: PHILIPPI JR, A.; ALVES, A. C. (Ed.). **Curso Interdisciplinar de Direito Ambiental**. Barueri: Manole, 2005. (Ambiental; 4).

PHILIPPI JR, A.; RODRIGUES, J. E. R. Introdução de Direito Ambiental: conceitos e princípios, In: PHILIPPI JR, A.; ALVES, A. C. (Ed.). **Curso Interdisciplinar de Direito Ambiental**. Barueri: Manole, 2005. (Ambiental; 4).

PHILIPPI JR, A.; ROMÉRIO, M. A.; BRUNA, G. C. Uma Introdução à Questão Ambiental, In: PHILIPPI JR, A.; ROMÉRIO, M. A.; BRUNA, G. C. (Ed.). **Curso de Gestão Ambiental**. Barueri: Manole, 2004. (Ambiental; 1).

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, E. G.; BEEK, K. J. **Sistema de Avaliação de Aptidão Agrícola das Terras**. Brasília: EMBRAPA, 1978.

REIS, L. B.; FADIGAS, E. A. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável**. Barueri: Manole, 2005. (Ambiental)

RIO CLARO (SP). Secretaria Municipal do Planejamento. Secretaria de Planejamento, Desenvolvimento e Meio Ambiente. **Plano Diretor**. Rio Claro, 2008.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia**: ambiente e planejamento. 8 ed. São Paulo: Contexto, 2007. (Repensando a Geografia).

SALOMÃO, F. X. T.; IWASA, O. Y. Erosão e a Ocupação Rural e Urbana. In: BITAR, O. Y.(Coord.) **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia/Instituto de Pesquisas Tecnológicas/Divisão de Geologia, 1995 (Meio Ambiente).

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Tecnologia Ambiental:** Câmara ambiental do Setor de Mineração. 2010. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/camaras/ca_ativas/mineracao/mineracao.asp>.

Acessado em: 11 fev. 2010 Verificar como devo referenciar

SÃO PAULO. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo**. São Paulo: Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos, 1999.

128 p. Disponível em: < <http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/basecon/r0estadual/quadro38.htm>>.

Acessado em: 04 ma. 2010.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Licenciamento Ambiental:** consulte o andamento do seu processo. 2010. Disponível em:

<http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamentoo/cetesb/processo_resultado2.asp?razao=MINERACAO+MANDU+INDUSTRIA+E+COMERCIO+LTDA&muni=RIO%20CLARO&logrid=ESTRADA+VELHA+DE+AJAPI%2DCORUMBATAI&nmuncp=587&nseqnc=1465&cgc=48264956000127>. Acessado em: 11 fev. 2010.

SCHNEIDER, R. L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMAN, R. F.; NOGUEIRA, A. A. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, n. XXVIII, 1974, Porto Alegre. **Anais do XXVIII Congresso**. Porto Alegre: Pallotti, 1974. 41-65 p.

SILVA, C. M. dos S.; DE MAURO, C. A.; BARCELOS, J. H.; THOMAZIELLO, S. A.; MARINHO, V. L. F. Extração de areias em canais fluviais, In: DE MAURO, C. (Org.). **Laudos Periciais em Degradações Ambientais**. Rio Claro, 1997.

SILVA, S. K. A. **Mineração de Areia e seus Problemas Ambientais:** o caso do rio Paraíba do Sul. 2008. 33 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Bacharel em Geografia) – Instituto de Geociência e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

STS ENGENHARIA. Planos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí 2008-2011 , v. 1. Disponível em: <<http://www.comitepcj.sp.gov.br/comitespcj.htm>>. Acessado em: 06 mai. 2010.

SUSTENTABILIDADE Ambiental. **Revista Minérios & Minerales**, São Paulo, n. 314, p. 50-51, abr. 2009.

TAUK-TORNISIELO, S. M.; PALMA-SILVA, G. M. Condições Climáticas, Solo e Cobertura Vegetal, In: TAUK-TORNISIELO, S. M.; ESQUIERRO, J. C. (Org.). **Bacia do rio Corumbataí: aspectos socioeconômicos e ambientais**. Consórcio PCJ, 2008. 178 p

TAUK-TORNISIELO, S. M.; RIBEIRO, S. L. Índice de Sustentabilidade Socioambiental, In: TAUK-TORNISIELO, S. M.; ESQUIERRO, J. C. (Org.). **Bacia do rio Corumbataí: aspectos socioeconômicos e ambientais**. Consórcio PCJ, 2008. 178 p.

TANNO, L. S.; SINTONI, A. (Coord.). **Mineração & Município: bases para planejamento e gestão dos recursos minerais**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2003. 177 p.

TOLEDO, R. G. **A Influência do Clima sobre a Criminalidade na Cidade de Rio Claro, Estado de São Paulo**. 2008. 51 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

TROPPMAIR, H. **Atlas da Qualidade Ambiental e de Vida de Rio Claro-SP**. Rio Claro-SP: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 1992.

VENTURI, L. A. B. Recurso Natural: construção de um conceito. **GEOUSP Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 20, p. 9-17, 2006.

ZAINE, J. E. **Geologia da Formação Rio Claro na Folha de Rio Claro (SP)**. 1994. 90 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1994.

WALTRICK, V. P. **Avaliação dos Impactos Ambientais Causados por Atividade Mineral no Ribeirão Claro, Arredores de Rio Claro, São Paulo**. 2002. 49 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

Rio Claro, 03 de dezembro de 2010.

Profa. Dra. Andréia Medinilha Pancher
Orientadora

Alessandra Milano Silva
Aluna

APÊNDICE A - Dados da bacia Mandu

Tabela 12. Dados gerais da bacia do córrego Mandu.

Aspecto Físico	Feição	Área (m²)	Perímetro (m2)	Área %
Geologia	F. Rio Claro	1038182	4777	73,7
	F. Corumbataí	251336	2874	17,9
	D. Turfas	83664	1162	5,9
	D. Aluvionares	34625	776	2,5
Pedologia	PV6	192722	2016	13,7
	LV2-LV3	1215085	4242	86,3
Uso e Ocupação do solo	Área minerada	198319	3103	8,9
	Área da mineradora	36268	1306	2,6
	Área revegetada	28242	1586	2,0
	Área urbana	193236	3740	13,7
	Açude Mandu	6034	346	0,4
	Cultivo de cana	56339	1438	4,0
	Cultivo de citrus	234405	4431	16,7
	Estrada asfaltada	5199	1688	0,4
	Estrada terra	10640	2907	0,8
	Eucalipto	41985	1478	3
	Gramínea	64877	1961	4,6
	Pasto	178181	2591	12,7
	Solo exposto	74338	2783	5,2
	Solo preparado cultivo	23689	941	1,7
	Vegetação ciliar	139600	4840	9,9
	Vegetação rasteira/arbustiva	46654	2415	3,3
	Área construída	69802	1746	5,00
Bacia da córrego Mandu		1407807,37	4651,71	100,0