

AVALIAÇÃO DA POSSIBILIDADE DE EROÇÃO NATURAL E INDUZIDA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS PEDRAS, QUIRINÓPOLIS (GO)

Flávio Henrique RODRIGUES¹, Juliano Martins COELHO¹, Fátima Sueli Marcon dos SANTOS¹, Ana Maria Carrascosa do AMARAL¹, José Eduardo ZAINE²

- (1) Pós Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro. Av. 24A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900, Rio Claro (SP). Endereços eletrônicos: rodrigues.ambiental@gmail.com; julianogeografia@gmail.com; suelimarconn@yahoo; ana.eng.ambiental@hotmail.com
- (2) Departamento de Geologia Aplicada, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro. Av. 24A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900, Rio Claro (SP). Endereço eletrônico: jezaine@rc.unesp.br

Introdução
Objetivo
Contextualização Regional da Área de Estudo
Geologia e geomorfologia do município de Quirinópolis
Metodologia
Resultados e Discussão
Mapas Complementares
Análise fisiográfica e geológico-geotécnica
Avaliação da Possibilidade de Ocorrência de Processos
Uso e ocupação da terra
Suscetibilidade à erosão na bacia do Ribeirão das Pedras
Conclusões
Referências Bibliográficas

RESUMO - Este artigo apresenta os resultados do estudo de avaliação da suscetibilidade à erosão na Bacia do Ribeirão das Pedras, município de Quirinópolis - GO. Os procedimentos adotados incluíram a análise de fotografias aéreas e imagens orbitais, trabalhos de campo, caracterização geológica e geomorfológica, com avaliação dos processos erosivos naturais e induzidos. A partir desta caracterização, foi aplicado um quadro matricial de avaliação da suscetibilidade à erosão natural e induzida. Os resultados consistem principalmente no Mapa de Unidades Fisiográficas e no Mapa de Suscetibilidade à Erosão, nos quais é avaliada a suscetibilidade à erosão natural dos terrenos bem como são indicados setores críticos de alta possibilidade de erosão induzida e/ou acelerada. Terrenos com coberturas arenosas do topo do planalto e aqueles com problemas decorrentes do processo de urbanização e de atividade agropecuária são apontados como os mais suscetíveis à erosão natural e induzida respectivamente.

Palavras-Chaves: análise fisiográfica, suscetibilidade à erosão, Quirinópolis – GO.

ABSTRACT - This paper presents the results of a study of rating susceptibility to erosion in the Ribeirão das Pedras basin, city of Quirinópolis - Goiás state. The procedures were based on analysis of aerial photography and satellite images, field survey, geological and geomorphological zonation, and evaluation of natural and induced erosion process. A framework matrix was applied for estimate the susceptibility to the occurrence of natural and induced erosion. The main result consist in a Map of Erosion Susceptibility, that evaluates the susceptibility of the terrain to natural erosion, as well were pointed critical sectors of high possibility of induced and/or accelerated erosion. Terrains with weathering sandstone in the plateau top, and those with problems arising from urbanization and agricultural activity are pointed as the most susceptible to natural and induced erosion respectively.

Keywords: physiographic analysis, erosion susceptibility, Quirinópolis (Goiás, Brazil).

INTRODUÇÃO

O município de Quirinópolis localiza-se na Microrregião Homogênea (MRH) – 18 (Quirinópolis) e Mesorregião Geográfica Sul Goiano, tendo área de 3.787 km² e população de 42.216 habitantes, segundo dados do Censo 2010 (IBGE, 2010). A erosão e o assoreamento estão entre os principais problemas geoambientais da área. Os processos geológicos de erosão linear nas encostas, registrados pela presença de ravinas e boçorocas, juntamente

com a erosão fluvial representada pelos solapamentos das margens dos canais, além de feições de rastejo e escorregamento de solo, aumentaram o carreamento de sedimentos para os canais de drenagem, resultando em assoreamento e consequentes mudanças na dinâmica dos cursos d'água. Além das condições naturais, a possibilidade de ocorrência de erosões, sua frequência e magnitude, está fortemente condicionada à

dinâmica e às características de uso e ocupação do solo.

Partindo da hipótese de que diferentes compartimentos do meio físico apresentam diferentes graus de suscetibilidade natural à erosão, depreende-se que a aplicação da Cartografia Geológico-Geotécnica, a partir da identificação e caracterização de unidades fisiográficas, pode contribuir para o planejamento e execução de ações técnicas que visam solucionar os problemas causados pelos processos erosivos da área de estudo.

A cartografia geotécnica, tendo como objetivo o gerenciamento de áreas naturais e urbanizadas, insere-se no campo da Geologia de Engenharia, por meio da aplicação de um conjunto de técnicas de análise e obtenção de informações geológicas de interesse à engenharia bem como das propriedades mecânicas de solos e rochas. Segundo Diniz, (2012), a Geologia de Engenharia se relaciona com a mecânica de rochas a partir dos estudos sobre os materiais rochosos e as águas subterrâneas, e com a mecânica de solos tratando das águas superficiais e dos materiais inconsolidados, com implicações na Geotecnia.

Zaine (2011), ao apresentar uma proposta metodológica de Análise Integrada do Meio Físico voltada à Geologia de Engenharia, destaca a importância do entendimento dos processos e fenômenos geológicos responsáveis pela evolução das formas de relevo e como estes se associam com os diferentes tipos de rochas, solos e materiais inconsolidados. Para o autor, a análise integrada está relacionada ao método de Avaliação de Terreno (*Terrain Evaluation*), baseando-se no reconhecimento, interpretação e análise das feições do relevo, denominadas *landforms*, ou geoformas, as quais refletem a ação atual e pretérita dos processos naturais sobre os materiais da superfície terrestre (GRANT, 1974; LOLLO, 1991; 1995).

Para Cendero (1989), o estudo do meio físico baseado em princípios geomorfológicos classifica-se metodologicamente como sintético, no qual as unidades de análise são definidas sistemicamente de acordo com a homogeneidade dos elementos analisados. No mesmo sentido, Ross (1995) define a análise integrada como a abordagem analítico-sintética, tomando como base padrões de fisionomia do terreno ou padrões de paisagem, os quais são

distinguidos e especializados em um único produto cartográfico. Cabe ressaltar que a definição da unidade espacial de trabalho leva em conta não somente os aspectos geomorfológicos, mas também outras informações que auxiliam na identificação tanto dos processos geomórficos, como nas suscetibilidades potenciais da área estudada.

Em termos metodológicos, os mapeamentos geotécnicos com base nos conceitos geomorfológicos (TRICART, 1965) consistem em dividir uma determinada região em áreas que apresentam internamente características fisiográficas homogêneas e que sejam distintas das áreas adjacentes. Tal compartimentação pode ser efetuada em diferentes escalas, sendo comum a determinação de classes de unidades homólogas, definidas pelas relações dos atributos analisados de natureza fisiográfica específica (VEDOVELLO, 1993).

A caracterização subsequente das áreas compartimentadas consiste em um conjunto de procedimentos realizados para a obtenção de dados geotécnicos básicos para a análise dos terrenos segundo o uso a que se destinam. Esta etapa visa fornecer subsídios para análise da inter-relação entre os componentes do meio físico e os fatores exógenos atuantes, visando definir classes do terreno, para as quais são determinadas as condições geotécnicas, podendo-se, assim, antecipar as consequências diretas e indiretas, decorrentes das atividades socioeconômicas nas unidades estabelecidas.

Dentre os procedimentos de aquisição de dados geotécnicos mais usados, destaca-se a inferência geotécnica, realizada a partir de elementos fisiográficos que compõem uma dada área e para os quais é possível obter determinadas informações sobre as propriedades e características do meio físico (RODRIGUES E LOPES, 1998). Segundo Zaine (2011), esta abordagem se dá pela análise da textura em fotos aéreas e imagens orbitais, estabelecendo-se uma relação entre as propriedades de determinado elemento fisiográfico (geológico, geomorfológico, pedológico, geotécnico, hidrológico, etc.) e os dados geotécnicos referentes ao alvo em análise. Portanto, a partir da análise integrada dos diferentes elementos fisiográficos que compõem o meio físico, é possível inferir sobre

a permeabilidade e a alterabilidade da rocha, a declividade, a espessura de solo, a ocorrência de processos geológicos exógenos e outras informações das unidades de análise delimitadas previamente.

A aquisição específica de dados e fatores geotécnicos por correlação com dados de sensoriamento remoto tem sido amplamente utilizada para obtenção de informações relativas aos materiais e estruturas geológicas e formas de relevo. A escolha da forma de obtenção dos dados geotécnicos depende do tipo e classes dos atributos analisados, da viabilidade ou não de aquisição de informação *in situ* e da precisão necessária às avaliações dos produtos previstos, em função da escala de trabalho e características do terreno. Importantes contribuições metodológicas são encontradas nos trabalhos de Soares e Fiori (1976), Veneziani e Anjos (1982), Zuquette e Gandolfi (1987, 2004), Riedel (1988), Oliveira (1989), Diniz (1998) e Zaine (2000).

Dentre os exemplos do uso da interpretação fotogeológica, segundo Soares e Fiori (1976) destacam-se o uso em mapeamentos geológicos e em estudos para implantação de obras de engenharia, visando a avaliação de

potencialidades e limitações do meio físico e o comportamento geotécnico do terreno.

Tendo em vista a maior aplicabilidade dos produtos obtidos pela Análise Integrada, Vedovello e Mattos (1998) apontam para uma tendência favorável ao desenvolvimento de trabalhos nessa área. Segundo os autores, as principais vantagens deste método, são a economia de tempo e custos, bem como a geração de um produto cartográfico que reflete atributos e limites reais, facilitando as ações de planejamento territorial.

Frente ao exposto, considera-se que a relevância do estudo dos componentes do meio físico, aliados às características do uso da terra na definição de unidades fisiográficas, na Bacia do Ribeirão das Pedras, no município de Quirinópolis - GO, consiste em indicar potencialidades e limitações dos terrenos associadas à suscetibilidade ao desenvolvimento e evolução de processos erosivos naturais e acelerados. Tais resultados podem contribuir com informações técnicas que subsidiem o poder público e os proprietários rurais em ações de planejamento e gestão do meio físico.

OBJETIVO

O presente estudo teve o objetivo de avaliar a possibilidade de ocorrência de processos erosivos induzidos e/ou acelerados, a partir da análise integrada do meio físico, visando identificar, descrever e avaliar os principais processos geodinâmicos associados à morfogênese na Bacia do Ribeirão das Pedras,

Quirinópolis (GO). Assim, foram analisados os componentes do meio físico, aliados às características do uso da terra, na definição de unidades fisiográficas na área de estudo, a fim de indicar potencialidades e limitações dos terrenos associadas aos processos geológicos exógenos

CONTEXTUALIZAÇÃO REGIONAL DA ÁREA DE ESTUDO

A área da pesquisa corresponde à Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras, um manancial para a captação de água pelo sistema público de abastecimento da cidade de Quirinópolis (GO), localizado na porção noroeste do município, com sua principal nascente a 26 quilômetros da área urbana, em altitude de 880 metros, desaguando no Rio

Preto a dois quilômetros a sul da cidade, na cota de 425 metros (Figura 1).

A interação entre os componentes do meio físico, associada à evolução tectônica e climática, contribuiu para a complexidade morfológica da área e, conseqüentemente, para geração de formas de relevo agradacionais e degradacionais.

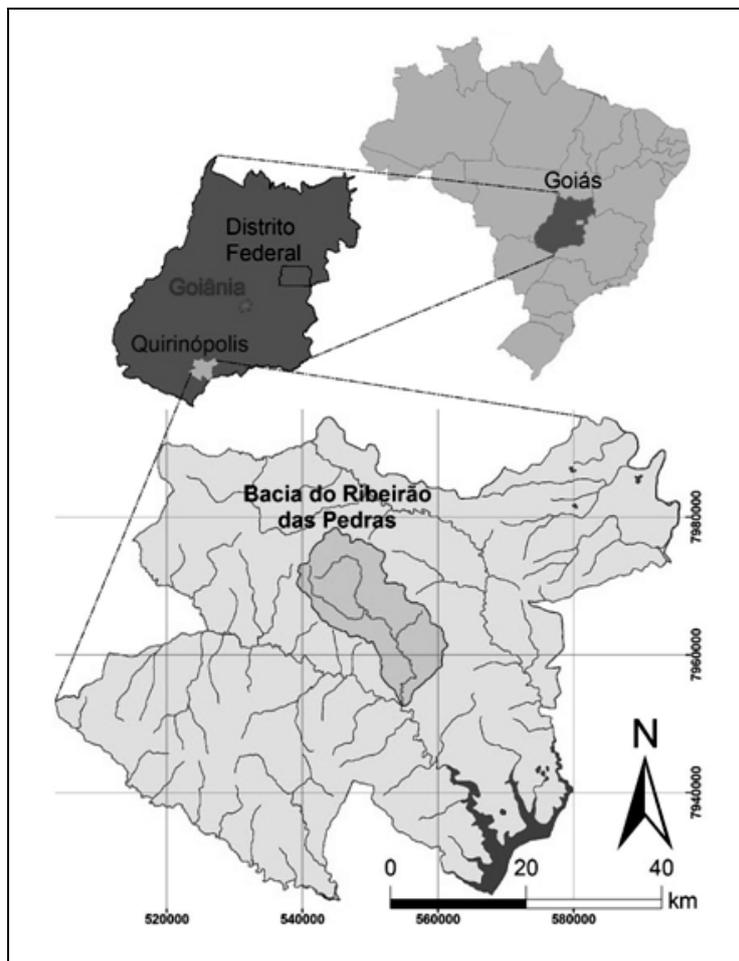


Figura 1. Localização geográfica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras.

No início do processo histórico de ocupação do município de Quirinópolis, até a década de 1950, a Bacia do Ribeirão das Pedras era dominada por espécies nativas do Cerrado, intercalando-se formações florestais e áreas desmatadas para atividades agrícolas de subsistência e formação de pastagens. No entanto, a ocupação desordenada do espaço rural, associada à implantação de projetos agropecuários sem planejamento técnico e ambiental adequados, provocou a eliminação da vegetação natural em áreas de preservação permanente, de elevada declividade e de

várzeas, ocasionando erosão nas vertentes, perda de solos agricultáveis e consequente assoreamento dos leitos fluviais, reduzindo a disponibilidade de água na região e comprometendo o abastecimento público da área urbana.

Nos anos de 1970, observa-se a intensificação da atividade agrícola com o cultivo da cana-de-açúcar, o que agravou o desmatamento dos remanescentes florísticos, expondo a fragilidade dos solos aos processos erosivos acelerados e induzidos.

GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DO MUNICÍPIO DE QUIRINÓPOLIS

A área de estudo engloba litologias magmáticas e sedimentares do Cretáceo da Bacia Sedimentar do Paraná e coberturas cenozoicas, são elas: Grupo São Bento - Formação Serra Geral (Ksg); Grupo Bauru - Formação

Adamantina e Marília (Kba, Kbm); Coberturas Detrito Lateríticas (Tdl e TQdl) e Aluvião (QHa, Qpa), como observado na Figura 2, organizada por Santos (2002).

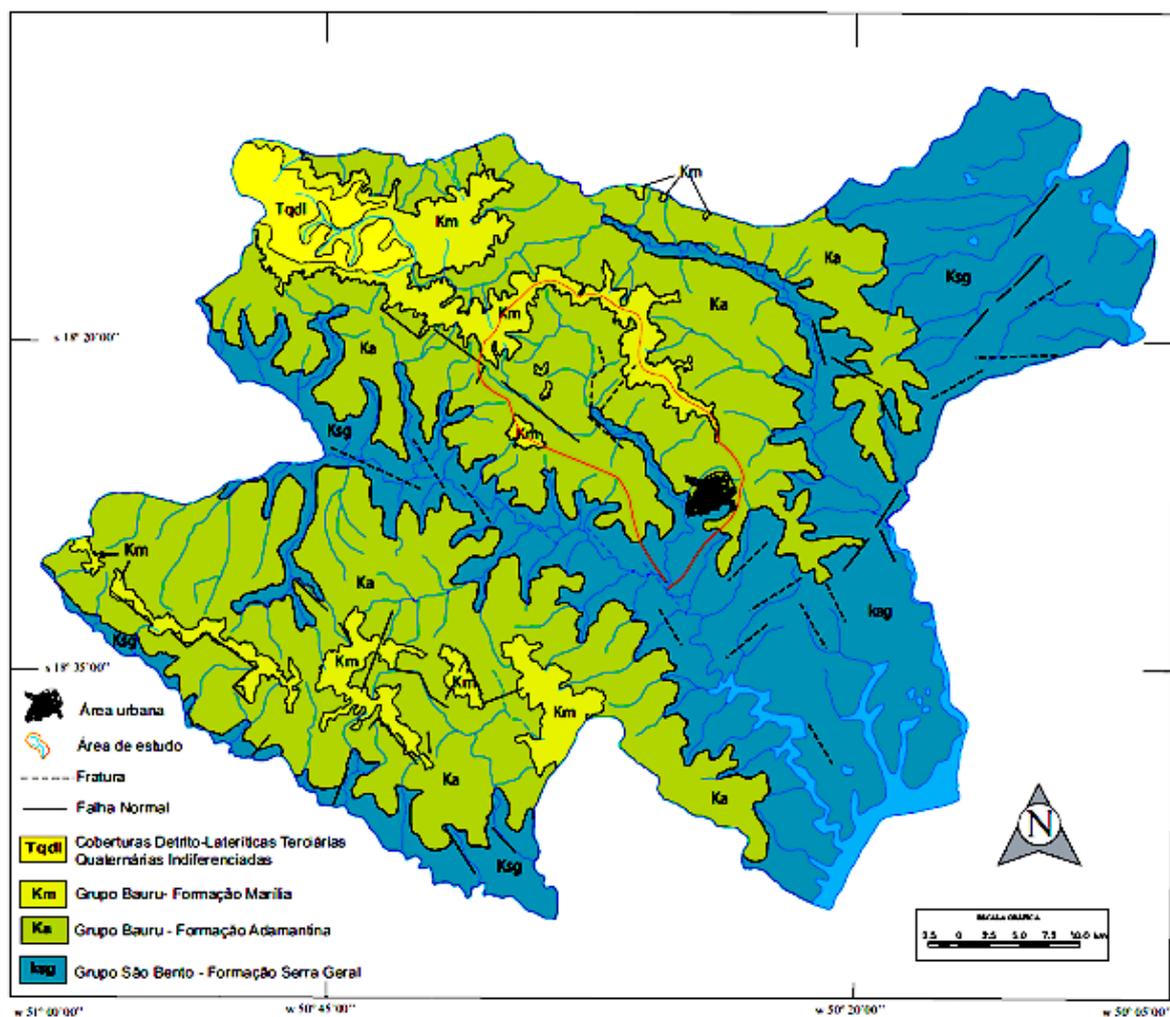


Figura 2. Mapa geológico do município de Quirinópolis.

Segundo Almeida (1985), o Grupo São Bento é representado pelos basaltos do tipo compacto, cor negra quando não alterados, da Formação Serra Geral. O Grupo Bauru é representado na área pelas formações Adamantina e Marília (FREITAS, 1964 apud LACERDA FILHO E REZENDE, 2000, p. 29). A Formação Adamantina é constituída por siltitos e argilitos, destacando-se os arenitos finos a muito finos, mal selecionados, compostos de grãos de quartzo subangulares e subarredondados, podendo estar cimentados por sílica e carbonatos. A Formação Marília compreende arenitos finos a muito finos, predominantemente arenitos argilosos, arenitos com nódulos carbonáticos, lamitos, conglomerados polimíticos e brechas conglomeráticas, além de níveis lenticulares e concreções de sílex. As rochas desta unidade aparecem comumente limonitizadas e em pacotes geralmente maciços, com estratificações cruzadas de pequeno a médio porte (SOUSA JUNIOR ET AL., 1983). As

Coberturas Detrito-Lateríticas compreendem sedimentos arenosos e argilosos, com níveis conglomeráticos, parcial e/ou totalmente ferruginizados, lateríticos ferruginosos e/ou manganésiferos e solos ferruginosos preservados em superfície de cimeira (SOUSA JUNIOR ET AL., 1983). Os Aluviões caracterizam-se por sedimentos inconsolidados, predominantemente arenosos, representados por areias, com níveis de cascalhos e lentes de material silto-argiloso e turfa.

A área se destaca por apresentar um relevo contrastante, que vem evoluindo a partir de uma superfície de erosão, associada aos Planaltos Setentrionais da Bacia Sedimentar do Paraná e Planaltos Areníticos-Basálticos Interiores (MAMED ET AL., 1983)

Os Planaltos Setentrionais apresentam feições complexas, com sulcos adaptados às estruturas, bordas escarpadas com reversos em rampas pouco declivosas, geralmente interrompidas por relevos residuais de topos tabulares e níveis topográficos embutidos na

superfície geral dos planaltos. A Região dos Planaltos Areníticos-Basálticos Interiores é caracterizada por chapadões, planaltos e extensas superfícies rebaixadas, remodeladas

por sucessivas reativações e basculamentos cenozoicos, sendo constituída por modelados com feições de relevo bastante homogêneas e formas muito amplas.

METODOLOGIA

Os procedimentos adotados se iniciaram com a análise fisiográfica, por meio de fotografias aéreas e imagens orbitais e trabalhos de campo, para a caracterização dos diferentes tipos de terrenos que compõem a área de estudo, com registro de processos erosivos instalados. A partir da caracterização dos materiais geológicos (solos, rochas e sedimentos) e formas e tipos de relevo, aliada a informações de campo, foi gerado o Mapa de Unidades Fisiográficas, que permitiu a avaliação destas características imanentes ao meio físico, resultando no Mapa de

Suscetibilidade à Erosão Natural. Em seguida as informações de uso e ocupação da terra foram associadas à avaliação dos processos erosivos, obtendo-se então o Mapa de Possibilidade de Erosão Induzida, o qual representa a integração da suscetibilidade natural dos terrenos com as potencialidades de indução da erosão pelas atividades socioeconômicas presentes na Bacia do Ribeirão das Pedras. A sequência de mapeamento e associação de atributos é apresentada na Figura 3.

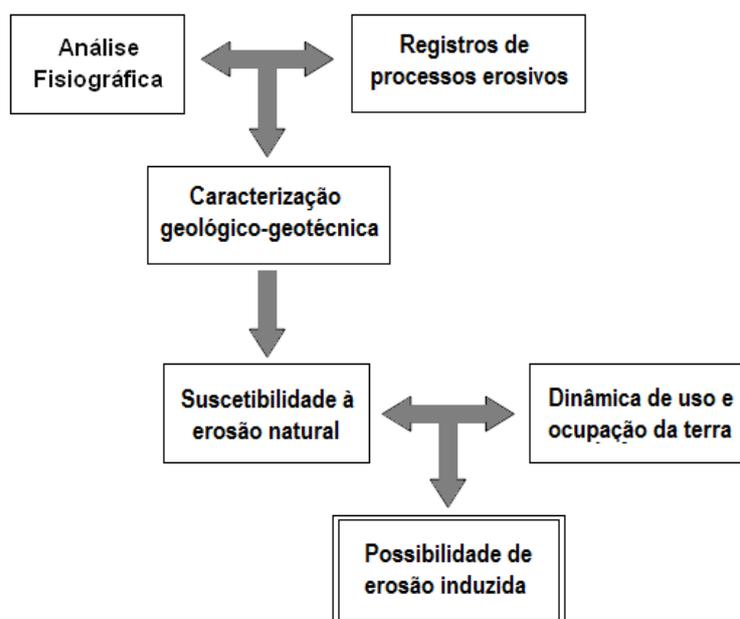


Figura 3. Diagrama de associação dos atributos adotados na avaliação de possibilidade de erosão induzida na Bacia do Ribeirão das Pedras, Quirinópolis (GO).

Para a avaliação da suscetibilidade à erosão natural foi elaborado primeiramente o Mapa de Unidades Fisiográficas, a partir de fotografias aéreas na escala de 1:60.000 (*United States Air Force – USAF, 1965*). e levantamentos de campo por meio da análise táctil-visual de perfis de alteração expostos em cortes de estradas, aliadas a registros de informações sobre as propriedades e características geológicas (litologia e estrutura),

geomorfológicas e processos erosivos. Os diferentes compartimentos do meio físico (zonas homólogas) foram definidos pela repetição e associação de elementos texturais e estruturais de relevo e drenagem, cujos limites foram estabelecidos pela identificação das linhas de ruptura de declive (limites nítidos), níveis de dissecação e rugosidade do relevo (Figura 3), analisados em fotografias aéreas.

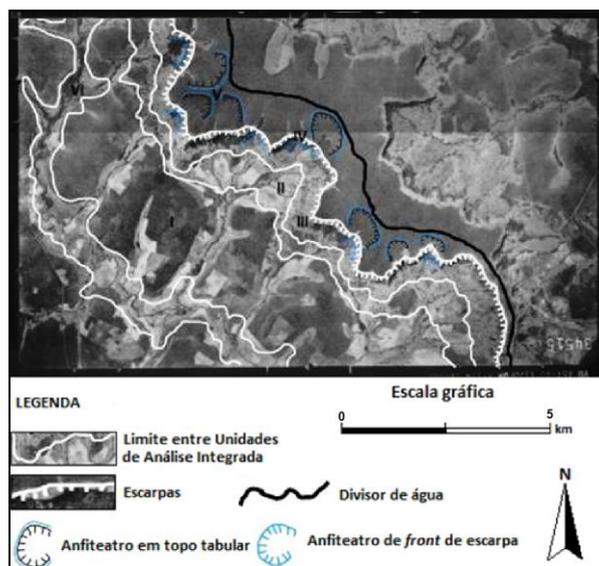


Figura 3. Fotoanálise e representação da distribuição de compartimentos fisiográficos em fotografia aérea.

Realizou-se então uma avaliação da suscetibilidade de ocorrência natural de erosão linear, considerando as informações obtidas nas etapas anteriores. Para tal, avaliou-se as unidades mapeadas quanto às condições naturais imanentes ao meio físico, caracterizando o evento perigoso e sua distribuição espacial, a fim de indicar diferentes níveis de suscetibilidade a processos erosivos lineares (BITAR, 1995; RIDENTE JÚNIOR, 2008).

Da mesma forma, foi avaliado o potencial dos fatores antrópicos à deflagração dos processos geológicos registrados previamente. Foram identificados e descritos os impactos relacionados às atividades socioeconômicas sobre a morfodinâmica da área estudada, e em

alguns casos sendo determinantes para o desenvolvimento dos processos erosivos.

Os critérios de avaliação dos processos erosivos naturais e induzidos foram obtidos a partir de Cerri et al. (2006) e Amorim et al. (2012). A seguir, são apresentados o Quadro 1, que lista os fatores e estabelece parâmetros qualitativos para a avaliação e classificação dos terrenos, bem como o Quadro 2, com a classificação dos fatores antrópicos quanto seu potencial indutor e/ou potencializador da erosão linear.

Para o preenchimento das matrizes de avaliação, definiram-se três classes: baixa, moderada e alta, representadas, respectivamente, pelas cores semafóricas verde, amarela e vermelha.

Quadro 1. Avaliação da suscetibilidade à ocorrência de erosão linear natural

Fatores		Suscetibilidade à Ocorrência de Processos de Erosão Linear		
		BAIXA	MODERADA	ALTA
Características Geológico-Geotécnicas	Tipo e espessura do solo	Solo argiloso e pouco espesso (< 2 m) ou área de afloramento de rocha	Solo arenoso e areno-argiloso, com espessuras médias (2 a 5 m)	Solo arenoso e areno-siltoso espesso (> 5 m)
	Declividade	Suave (< 3 %)	Moderada (3 a 10%)	Alta (> 10%)
	Escoamento superficial (Densidade x Organização)	- Pequena área de contribuição a montante - Domínio de escoamento laminar em áreas dispersoras de água - Alta densidade textural	- Área de contribuição a montante de médio porte - Linhas de concentração de fluxo de água reduzido	- Grande área de contribuição (deflúvio) a montante - Domínio de escoamento concentrado com formação de canais preferenciais e incisão do talvegue - Baixa densidade textural
Processos Geológicos	Indícios de erosão e evidências de concentração de águas	Poucos sulcos erosivos, rasos e esparsos.	- Sulcos erosivos generalizados - Acúmulo de materiais erodidos com formação de depósitos de assoreamento	- Marcante presença de sulcos erosivos generalizados, profundos, podendo ocorrer também ravinas e boçorocas - Surgência d'água nas erosões profundas

Fonte: adaptado de Cerri et al.(2006) e Amorim et al. (2012), *In* Santos (2013).

Quadro 2. Avaliação do potencial de ocorrência de erosão linear induzida/acelerada

Fatores	Potencial de Ocorrência de Processos de Erosão Linear		
	BAIXA	MODERADA	ALTA
Cobertura vegetal	Sem áreas significativas de solo exposto	Cobertura vegetal deficiente com áreas significativas de solo exposto	Predomínio de áreas de solo exposto
Atividade Agropecuária	Pastagens e culturas com manejo adequado	Pastagens e culturas com deficiência no manejo	Pastagens e culturas sem manejo ou apresentando medidas de controle insuficientes
Ocupação urbana (vetores de expansão)	Crescimento urbano ordenado em áreas com preparo do terreno e preservação de APP	Formação de pequenos núcleos de ocupação urbana em áreas impróprias	Núcleos de ocupação irregular consolidados em parcelas do meio urbano, caracterizados pela ausência de infraestrutura e serviços de saneamento básico

Fonte: adaptado de Cerri et al.(2006) e Amorim et al. (2012), *In* Santos (2013).

A avaliação das unidades fisiográficas quanto à possibilidade de ocorrência de processos erosivos foi realizada de forma qualitativa e descritiva, usando-se para tal uma associação das informações referentes às características geológico-geotécnicas, os processos erosivos lineares instalados e potenciais e aspectos relacionados ao uso e

cobertura da terra. Esta abordagem possibilitou identificar os diferentes níveis de potencial de erosão induzida e suscetibilidade à erosão natural, a partir de uma associação direta dos atributos e critérios adotados para cada unidade fisiográfica mapeada, conforme mostrado no Quadro 3.

Quadro 3. Avaliação dos parâmetros nas unidades fisiográficas obtidas pelo estudo

ATRIBUTOS/ FATORES		UNIDADES FISIográfICAS					
		I	II	III	IV	V	VI
Características Geológico-Geotécnicas	Tipo e espessura do solo	Verde	Amarelo	Verde	Vermelho	Amarelo	Amarelo
	Declividade dominante do terreno	Amarelo	Verde	Vermelho	Amarelo	Amarelo	Verde
	Escoamento superficial (densidade X organização)	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Vermelho	Vermelho	Vermelho
Processos Erosivos	Indícios de erosão e de concentração de águas	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Vermelho	Amarelo	Amarelo
Dinâmica de uso e ocupação da terra	Cobertura vegetal Remanescentes de cerrado e mata ciliar	Verde	Amarelo	Verde	Amarelo	Verde	Verde
	Pecuária e atividade agrícola	Verde	Amarelo	ausente	Vermelho	Amarelo	Amarelo
	Ocupação urbana (vetores de expansão)	Vermelho	Vermelho	ausente	ausente	ausente	ausente

A partir desta análise inicial foi gerado um mapa síntese, representando classes de suscetibilidade à erosão natural das unidades mapeadas, sendo considerados apenas as características geológico-geotécnicas e os processos erosivos avaliados individualmente.

O Mapa de Suscetibilidade à Erosão na Bacia do Ribeirão das Pedras resultou da análise gráfica, segundo critérios de classificação estabelecidos por Martins et. al.

(2014). Esta análise partiu do pressuposto de que todos os fatores/atributos avaliados possuem mesma relevância à suscetibilidade à erosão, não sendo atribuídos pesos aos diferentes parâmetros e sendo descartadas as combinações repetidas de atributos. Portanto, das 81 relações possíveis entre as classes, foram reduzidas para 15 possibilidades.

Aplicando a matriz de análise gráfica (Figura 4) apenas aos elementos do meio físico

(desconsiderando neste momento a dinâmica de uso da terra), obtivemos a avaliação da suscetibilidade à erosão natural das unidades fisiográficas, classificadas em baixa, moderada

e alta suscetibilidade à erosão, identificadas pelas cores verde, amarela e vermelha, respectivamente, como pode ser observado no Quadro 4.

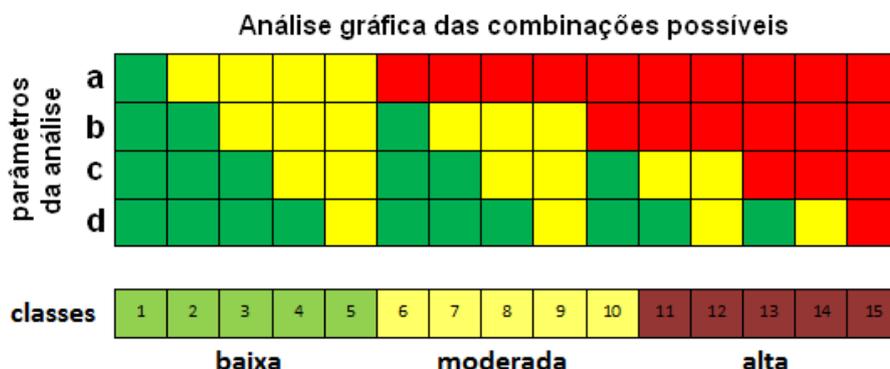


Figura 4. matriz de análise gráfica da suscetibilidade à erosão natural, adaptado de Martins (2010)

Quadro 4. Resultado da avaliação da suscetibilidade à erosão natural.

ATRIBUTOS/ FATORES		Unidades Fisiográficas					
		I Basaltos em relevo colinoso	II Solos arenosos da Fm Adamantina	III Escarpas da Fm Marília	IV Coberturas arenosas de topo de planalto	V Colúvios e talus da Fm Marília	VI Aluviões e terraços fluviais
Características Geológico- Geotécnicas	Tipo e espessura do solo	Verde	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Verde
	Declividade dominante do terreno	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
	Escoamento superficial (densidade X organização)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Processos Geológicos (erosão)	Indícios de erosão e de concentração de águas	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Classes de suscetibilidade à erosão natural		4	4	8	14	9	8

Este procedimento permitiu a obtenção de classes de suscetibilidade à erosão natural para as diferentes unidades fisiográficas analisadas. A partir da combinação das informações de suscetibilidade à erosão natural com as informações da dinâmica de uso e ocupação da terra, a sua distribuição espacial se dá de forma descontínua e dinâmica, sendo avaliada separadamente da suscetibilidade à erosão natural e cartografada na forma de setores

terra, foi possível avaliar a possibilidade de desenvolvimento de erosão induzida ou acelerada pela atividade antrópica na Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras.

Uma vez que a possibilidade de erosão induzida/acelerada está relacionada à críticos de maior possibilidade de ocorrência de erosão induzida. Porém, seus efeitos podem ser observados em praticamente toda a área de estudo e variam no tempo com as modificações antrópicas no meio físico.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Mapas complementares

O mapa hipsométrico apresenta a área de estudo subdividida em dez classes, em intervalos de 50 metros, definidas a partir da cota de cada curva em relação ao nível do mar (Figura 5). Foi observada grande variação altimétrica na área, com valores desde 422 m a 840 m, com terrenos mais baixos localizados na porção sul da área e aumentando, gradativamente, em relação ao deslocamento para noroeste. A topografia é marcada pelo *front* das escarpas, onde a variação altimétrica é cerca de 180 metros, caracterizada pelo relevo de dissecação e muito energético com grande aporte de sedimentos nos cursos d'água.

Baseado nos trabalhos de Ridente Júnior (2008), Cerri et al. (2006) e Zaine (2011), o mapa de declividade apresenta quatro intervalos, associando a inclinação do terreno à

suscetibilidade de ocorrência de processos geológicos. As classes são descritas a seguir, apresentando os seguintes intervalos de declividade:

- Baixa: de 0 a 3% - associado a processos erosivos incipientes e a processos fluviais, como assoreamento de canais, solapamento de margens e inundação;

- Média: de 3 a 10% - associado aos processos erosivos generalizados e dimensões variadas (sulcos, ravinas e boçorocas), devido principalmente ao fluxo concentrado de escoamento das águas pluviais sobre o terreno;

- Alta: > 10% - associado às regiões de relevo modelado pela Formação Marília e com os processos erosivos mais intensos, com destaque para boçorocas, bem como os movimentos gravitacionais de massa.

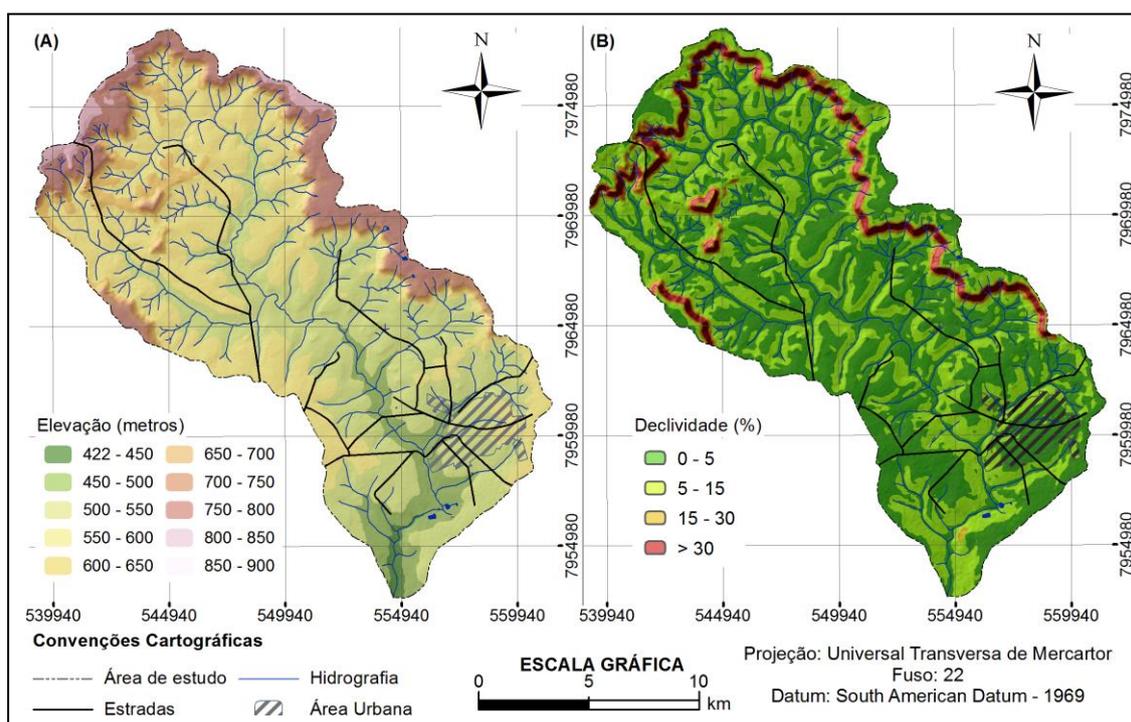


Figura 5. Mapas Hipsométrico (A) e de Declividade (B) da Bacia do Ribeirão das Pedras

Análise fisiográfica e geológico-geotécnica

Foram mapeadas seis unidades fisiográficas na área de estudo. Na Figura 6 podemos observar o mapa de unidades fisiográficas,

representando o resultado da análise fisiográfica realizada neste estudo. A síntese da descrição das unidades está ilustrada pelos quadros 3, 4 e 5.

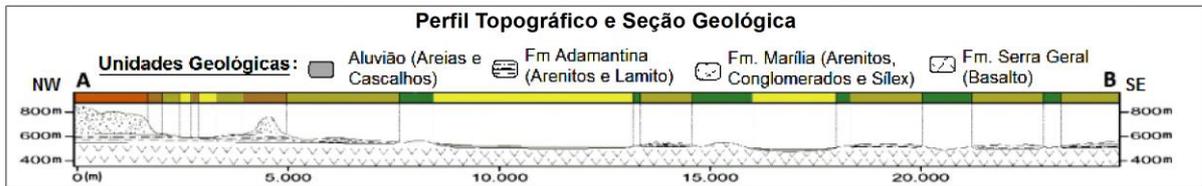
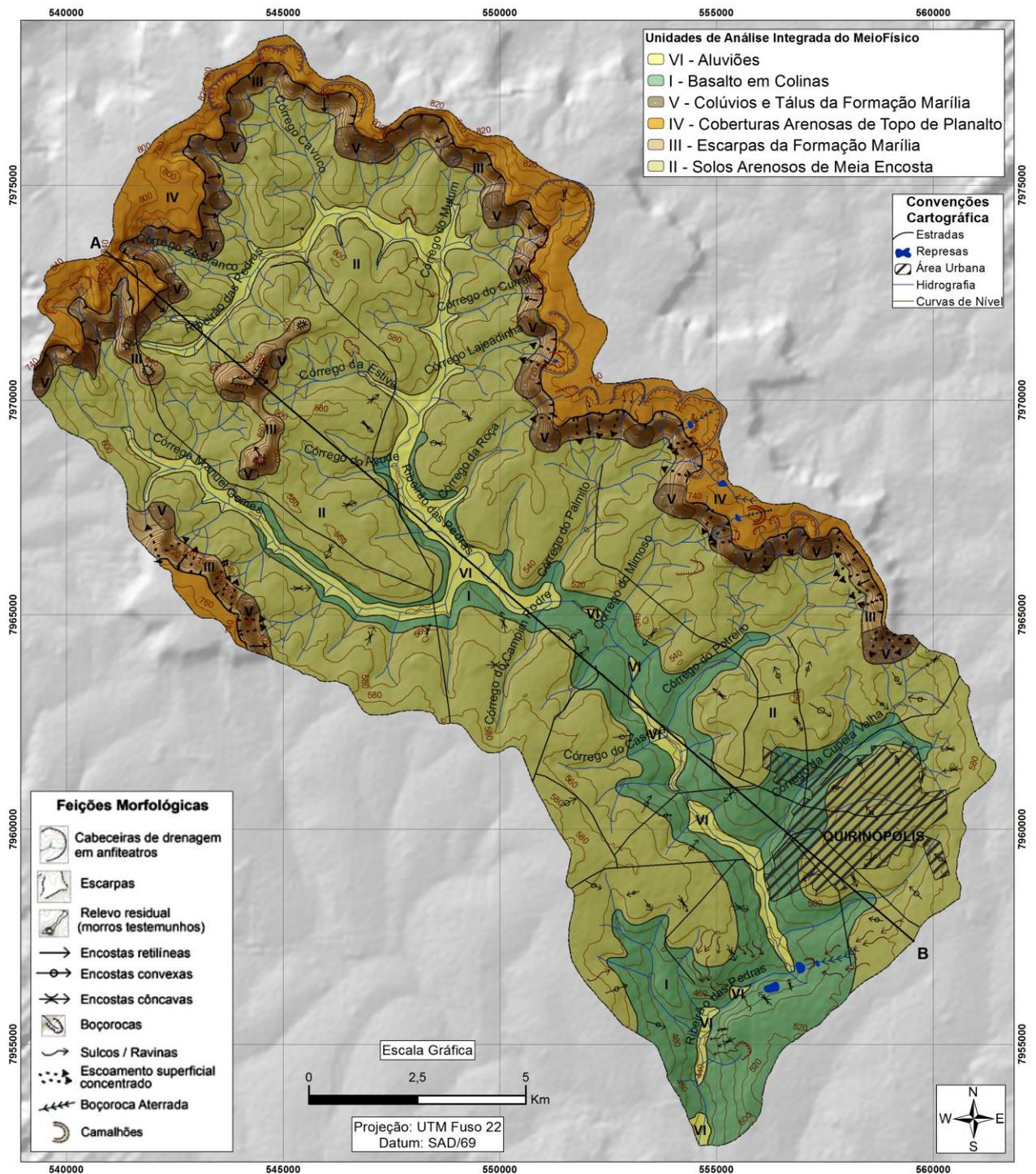


Figura 6. Mapa de Unidades Fisiográficas da Bacia do Ribeirão das Pedras

Quadro 3. Análise fotogeológica, levantamento de campo e informações complementares das unidades fisiográficas.

	Unidades de Análise Integrada I					
	I	II	III	IV	V	VI
Geologia e Relevo	Basalto em relevo de colinas	Arenitos argilosos avermelhados em relevo colinoso	Arenitos em relevo de encostas escarpadas	Arenitos em relevo de platôs e morretes residuais	Arenitos em relevo de rampas de deposição	Terraços baixos, depósitos aluvionares
Densidade textural	Baixa	Média	Alta	Média	Média	Baixa
Amplitude local	Pequena	Pequena	Média	Pequena	Média	Pequena
Declividade predominante	Média	Média	Alta	Média	Alta	Baixa
Formas das encostas	Convexas	Convexas	Retilíneas	Convexas	Côncavas e Convexas	–
Formas dos vales	Abertos	Abertos	Fechados	Abertos	Abertos	Abertos
Formas dos topos	Ondulados a aplainados	Aplainados	–	Aplainados	Ondulados a aplainados	–
Processos geológicos	Sulcos e ravinas	Sulcos e ravinas	Escoamento superficial concentrado e movimentos gravitacionais de massa	Erosão acelerada	Sulcos, ravinas e movimentos gravitacionais de massa	Erosão fluvial e inundações

Quadro 4. Fotointerpretação e caracterização geológico-geotécnica das unidades fisiográficas.

	Unidades de Análise Integrada I					
	I	II	III	IV	V	VI
Permeabilidade intergranular	Média a alta	Média	Baixa	Média a alta	Média	Alta
Escoamento superficial / infiltração	Baixa	Baixa	Alta	Média a alta	Média	Baixa
Espessura do manto de alteração	Grande	Grande	Pequena a média	Grande	Grande	Grande
Resistência à erosão natural (dureza)	Baixa	Baixa	Média	Média a alta	Baixa	Baixa
Suscetibilidade à erosão linear	Média a baixa	Baixa	Média a baixa	Média a alta	Média	Baixa a Alta
Potencial aos movimentos de massa	Baixo	Baixo	Alto	Médio	Médio a alto	Baixo
Composição e estrutura	Homogênea	Homogênea	Homogênea	Homogênea	Homogênea	Homogênea
Afloramentos e blocos rochosos	Presente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente
Nível d'água subterrânea	Profundo	Profundo	Variável	Profundo	Variável	Raso

A caracterização das unidades fisiográficas permitiu estabelecer uma associação destas com os contextos geológico e geomorfológico regionais extraídos da literatura existente sobre o município de Quirinópolis e a Bacia do Ribeirão das Pedras. O Quadro 5 apresenta esta

associação entre as unidades de análise e o contexto geológico e geomorfológico regional, assim como uma descrição dos processos geológicos, com destaque para os diferentes tipos de erosão atuantes na área de estudo.

Quadro 5. Contextualização regional das unidades fisiográficas e relação com os processos geológicos

CONTEXTO GERAL (REGIONAL)				UNIDADES DE ANÁLISE INTEGRADA DO MEIO FÍSICO		PROCESSOS GEOLÓGICOS								
GEOLOGICO		RELEVO		SOLO										
BACIA SEDIMENTAR DO PARANÁ	UNIDADES MESOZOICAS		Grupo Bauru (Kb)	Formação Adamantina	Arenitos	Planalto Setentrional da Bacia do Paraná	Relevos residuais sustentados por rochas sedimentares	Planícies Fluviais	Planícies aluviais	Terraços	Gleissolo Neossolos Flúvicos	VI	Terraços baixos, planos, junto às margens dos canais fluviais. Meandros abandonados. Terraços alçados, não inundáveis.	Erosão marginal. Depósitos de Assoreamento, enchentes e inundações.
	Formação Marília	Arenitos	Platôs Elevados (topos tabulares)	Neossolos Quartzarênicos	IV	Coberturas arenosas de topo de planalto		Topos de tabuleiros, com baixas declividades, encostas convexas. Ocorrência no planalto e nos morrotes residuais.	Presença de boçorocas de grande magnitude.					
										Formação Marília	Arenitos	Escarpas festonadas	Neossolos Litólicos	III
	Formação Serra Geral	Basaltos	Sopé de cuesta	Neossolos Quartzarênicos	II	Solos arenosos de média encosta		Encostas de média a baixa declividade, convexas, com solo arenoso residual e transportado.	Erosão linear (sulcos e ravinas). Rastejo em setores mais íngremes.					
										Formação Serra Geral	Basaltos	Colinas Médias e Amplas	Nitossolos Argissolos Latossolos	I
	Formação Serra Geral	Basaltos	Fundos de vales basálticos	Nitossolos Argissolos Latossolos	I	Basaltos em colinas		Áreas com baixa densidade textural, baixas declividades, encosta convexas. Solo coluvionar avermelhado. Drenagens com trechos retilíneos. Alinhamentos de drenagem	Erosão linear (sulcos e ravinas), associada a escoamento superficial concentrado					

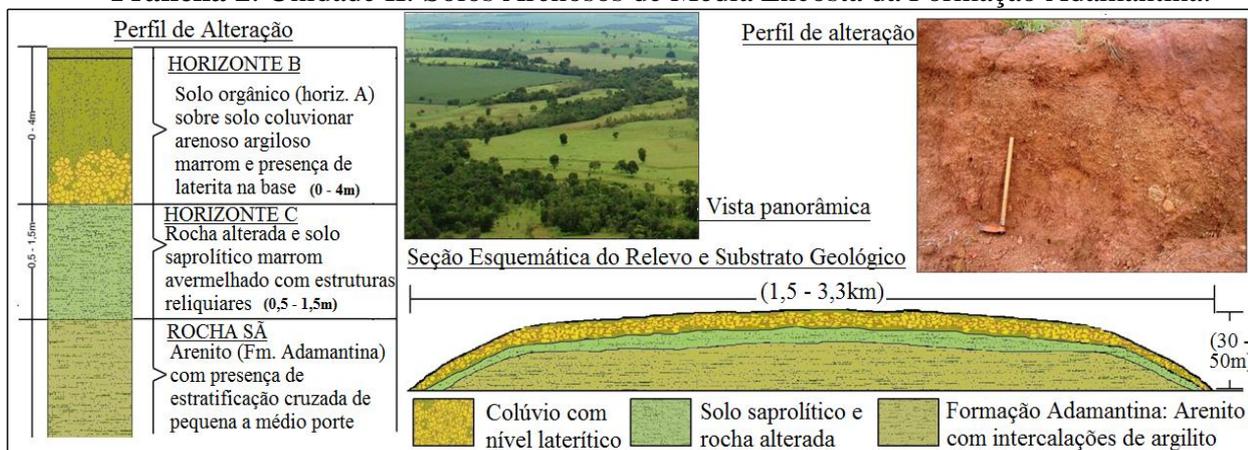
Os perfis de alteração e/ou de materiais inconsolidados e seção esquemática do relevo relativos às unidades delimitadas são

apresentados por meio de Pranchas 1 a 6, com registros fotográficos e ilustrações.

Prancha 1. Unidade I: Basaltos em Relevo Colinoso.



Prancha 2. Unidade II: Solos Arenosos de Média Encosta da Formação Adamantina.



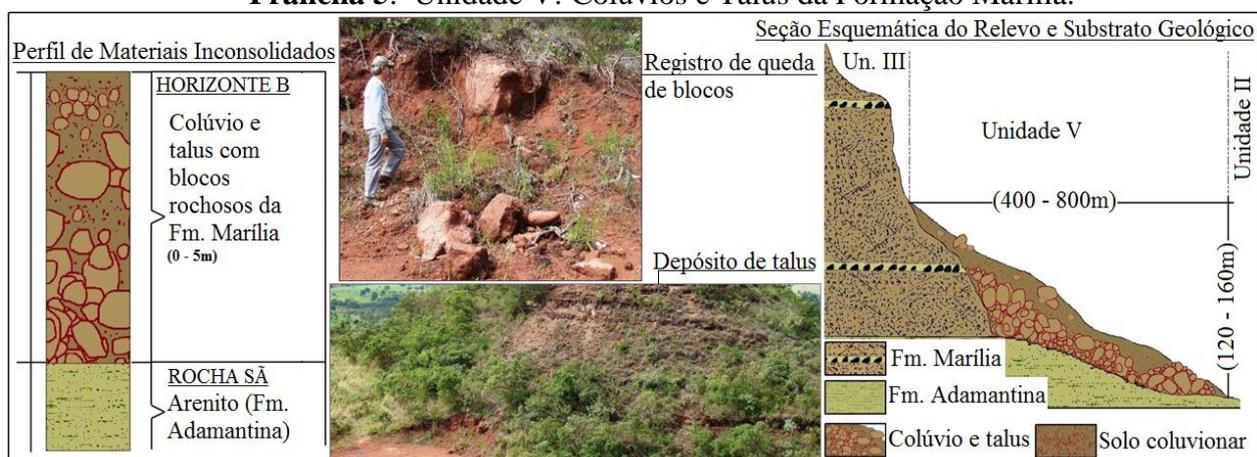
Prancha 3. Unidade III: Escarpas da Formação Marília.



Prancha 4. Unidade IV: Coberturas Arenosas de Topo de Planalto.



Prancha 5. Unidade V: Colúvios e Tálus da Formação Marília.



Prancha 6. Unidade VI: Aluviões e Terraços Fluviais.



Uso e ocupação da terra

As classes de uso e ocupação da terra mapeadas consistem naquelas de maior

abrangência no município de Quirinópolis, sendo consideradas: atividade agropecuária; cobertura vegetal e ocupação urbana (Figura 7).

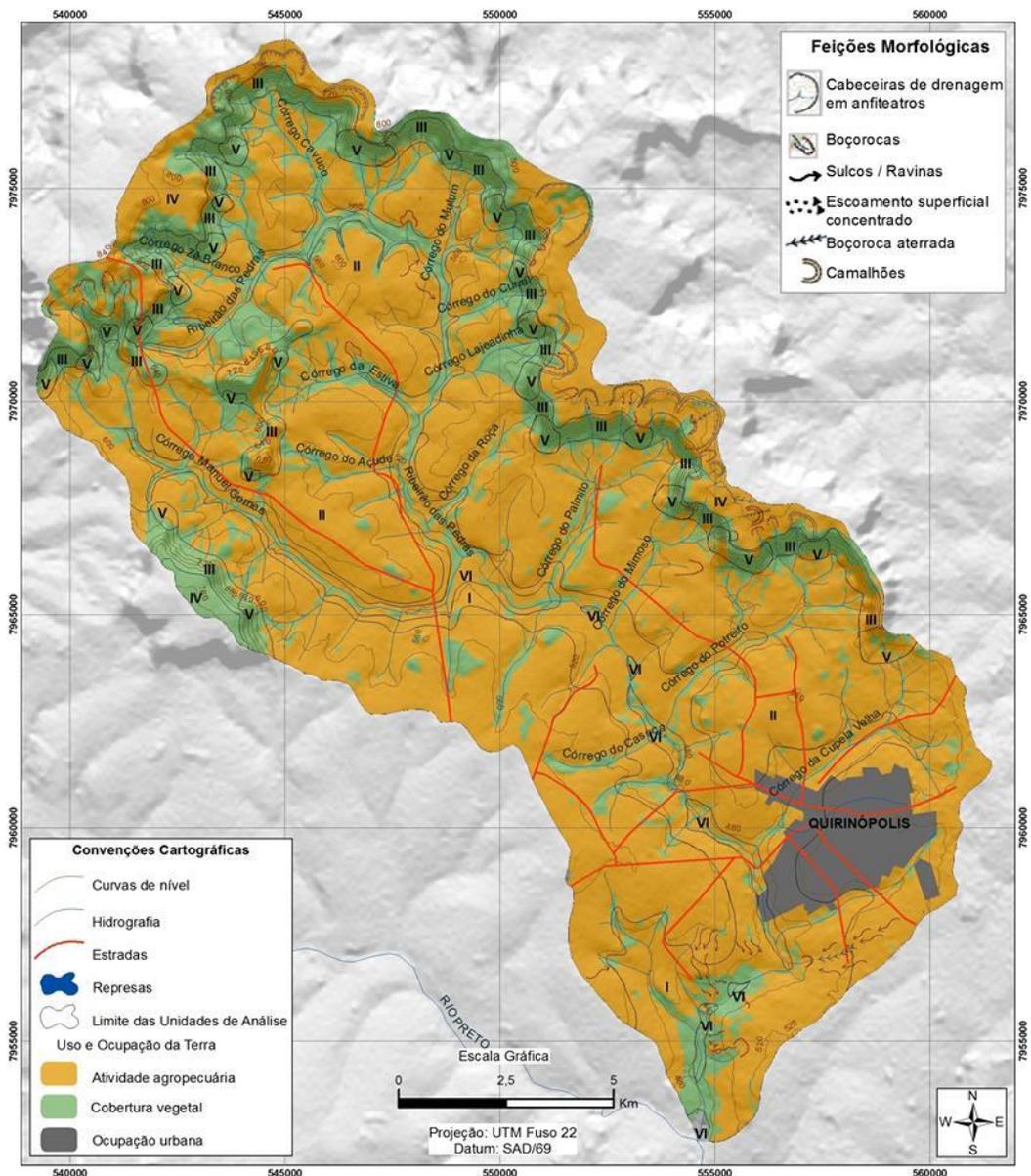


Figura 7. Mapa de Uso e Ocupação da Terra da Bacia do Ribeirão das Pedras

A cobertura vegetal original do município de Quirinópolis tem sido descaracterizada pela ação antrópica, desde a década de 1950, intensificando-se a partir 1970, com a implantação de culturas cíclicas e pastagem. Encontram-se remanescentes da vegetação original, considerada “Savana Arbórea Aberta” (MAGNAGO et. al. 1983; SANTOS, 2002), principalmente em setores de escarpas e depósitos de tálus, e restritas ao longo dos cursos d’água e nascentes, assim como junto à borda do platô (topos tabulares) e morros testemunhos. Ao norte da bacia, ocorrem os fragmentos florestais mais expressivos, conectados pelas matas ciliares preservadas ao longo dos seguintes cursos

d’água: ribeirão das Pedras, e córregos Zé Branco, Cavuco, do Mutum, do Curral, Lajeadinha, da Estiva e Manuel Gomes. Na porção centro-sul, em colinas e fundo de vales basálticos ocorrem remanescentes de cerrado e de maneira isolada.

A atividade agropecuária é a mais representativa em área e abrange a poção central da bacia, nos interflúvios formados por colinas amplas, e de noroeste a nordeste, nas áreas de topo dos relevos tabulares. As pastagens são a grande vocação do município, seguida pelas culturas cíclicas, sobressaindo-se o cultivo de cana-de-açúcar.

O processo de urbanização é um fator de grande relevância na deflagração dos processos

erosivos induzidos da Bacia do Córrego das Pedras. Sua abrangência é relativamente pequena, restringindo-se a sudeste da área de estudo. No meio urbano, a impermeabilização do solo é responsável pela alteração no escoamento das águas superficiais, com o aumento da vazão durante as chuvas, agravando a erosão fluvial nos canais receptores à jusante, ao sul de Quirinópolis. Esta classe é caracterizada pela ocupação com preparo do terreno (terraplanagem), e presença de infraestruturas e serviços de saneamento básico, assim como os núcleos de ocupação irregular já consolidados e novas áreas de expansão urbana. Nas áreas periféricas, marcadas pela carência de equipamentos urbanos como estradas

pavimentadas e sistemas de micro e macro drenagem, o escoamento concentrado das águas superficiais induzem a formação de sulcos erosivos e ravinas, como é o caso do Conjunto Habitacional Vitória.

Suscetibilidade à erosão na bacia do Ribeirão das Pedras

A avaliação da possibilidade de ocorrência dos processos erosivos das seis unidades fisiográficas mapeadas, a partir da aplicação do quadro de análise gráfica, resultou no mapa de suscetibilidade à erosão, apresentado na Figura 8 e descrito a seguir, segundo a suscetibilidade natural e induzida.

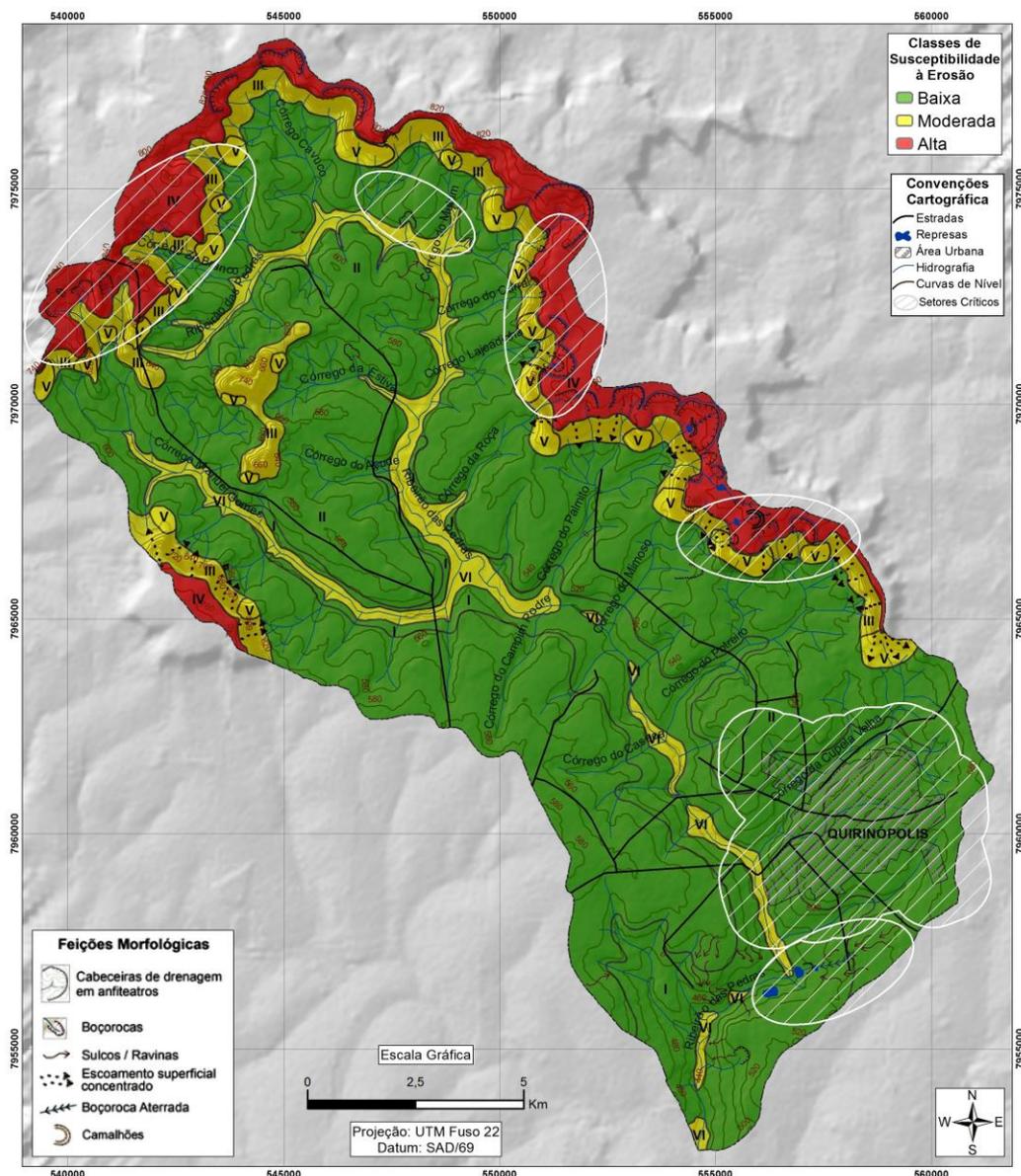


Figura 8. Mapa de suscetibilidade à erosão da bacia do Ribeirão das Pedras, Quirinópolis -GO

• **Unidade I:** composta por solos argilosos, coesos, derivados dos basaltos, com espessura variável, sendo solos mais rasos nas áreas de maior declive e mais espessos nos topos planos. As características geológico-geotécnicas naturais são consideradas favoráveis, devido à rara ocorrência de feições erosivas nas áreas rurais, apresentando terrenos com declividade intermediária em setores de encosta e fundo de vales, associados a áreas a montante, com moderada contribuição do escoamento pluvial. Tais condições resultaram na avaliação desta unidade na classe de baixa suscetibilidade à erosão natural, estando representada pela cor verde no Quadro 6 e na Figura 8.

Erosão induzida: na área de ocupação urbana, a ausência de infraestrutura básica é um fator altamente negativo ou de desequilíbrio, fazendo com que a área de crescimento da cidade, de baixa suscetibilidade à erosão natural, seja considerada uma área de alto potencial de ocorrência de processos erosivos induzidos/acelerados. Tais processos são predominantes nas proximidades dos canais de drenagem, com consequente escoamento concentrado e início de formação sulcos, ravinas e solapamento de taludes marginais. O registro de feições erosivas próximo à cidade indica esta pressão do crescimento urbano, condições consideradas muito desfavoráveis e assinaladas como setores críticos no Mapa de Suscetibilidade à Erosão (Figura 8), por apresentarem alta possibilidade de ocorrência de erosão induzida e/ou acelerada.

• **Unidade II:** composta por solos areno-argilosos pouco coesos, coluviais e residuais, capeando arenitos da Formação Adamantina, com declividades médias, com topos planos e vertentes suaves. A baixa densidade de drenagem (maior infiltração no solo) e os poucos indícios de erosão (apenas em alguns setores) levam a classificar a unidade como de baixa suscetibilidade à erosão natural.

Erosão induzida: dentro desta unidade, dois setores merecem destaque pelas especificidades, ou seja, representam áreas de alta possibilidade de ocorrência de erosão induzida. Estas áreas se localizam às margens de córregos próximos ao sopé de escarpa, ao norte da área estudada, e também na área de expansão urbana, levando a classificar estas áreas como setores críticos.

• **Unidade III:** composta por rochas sedimentares (arenitos, arenitos com nódulos carbonáticos, silxitos e conglomerados), sub-aflorantes a aflorantes em terrenos de altas declividades e alta densidade dos elementos de drenagem e relevo (alta rugosidade). Embora em setor de alta energia, os fluxos d'água em canais paralelos não evoluem para feições erosivas com maior desenvolvimento e incisão vertical devido à pouca profundidade do solo. A exceção ocorre nos cursos d'água principais, onde o entalhe em planos de fraturas pode explicar a formação de grandes anfiteatros de relevo no front da escarpa durante a evolução lenta e natural do relevo.

Desta forma, a unidade III foi classificada como moderada suscetibilidade à erosão natural, devido à alta resistência à erosão das rochas combinada com a alta energia da declividade do sistema, de certa forma dispersa por conta dos canais paralelos (não convergentes).

Erosão induzida: nesta unidade, a exceção registrada é para os setores ou faixas marginais aos locais com maior nível de intervenção antrópica. Onde o terreno apresenta-se verticalizado, existem fragmentos de Cerrado e onde ocorrem os patamares, pratica-se a pecuária. Nas áreas de supressão da vegetação, predomina o escoamento concentrado, formando-se ravinamentos e acentuada dissecação em quase toda sua extensão. A geração de sulcos e ravinas é esperada nas faixas laterais das duas vias de acesso, referidas anteriormente, ou seja, as estradas rurais funcionam como calhas para o escoamento pluvial, com aporte de sedimentos das áreas marginais e do próprio leito. Essas intervenções que concentram, de alguma forma, os fluxos d'água superficiais (enxurradas) levam a classificar esses trechos como setores críticos de alta possibilidade de ocorrência de processos erosivos induzidos e/ou acelerados.

• **Unidade IV:** composta por solo arenoso incoeso, espesso, convergente em anfiteatros de topo (cabeceiras), em terrenos de declividades intermediária a alta, com média densidade textural. Apresenta feições erosivas de grande porte, com destaque para boçorocas, com desenvolvimento vertical até o nível d'água subterrâneo.

Nos terrenos com alta declividade localizados na borda do platô, junto às escarpas da Formação Marília, concentra-se um grande número de cabeceiras de drenagens com maior fluxo de escoamento superficial e transporte do solo. Estas áreas apresentam-se mais susceptíveis aos processos de ravinamento e boçorocas, associados à peneplanação dos terrenos mais elevados, e pelo processo de festonamento da escarpa, resultante da erosão remontante dos cursos d'água.

A presença do lençol freático, interceptado por voçoroca, induz ao aparecimento de surgências d'água e ao fenômeno conhecido como *piping*, ou seja, a formação de vazios no interior do solo, cujo desenvolvimento origina colapsos do terreno, com desabamentos e alargamento das boçorocas.

Estas características resultaram na avaliação da unidade IV como de alta suscetibilidade à erosão natural.

Erosão induzida: o comportamento geológico-geotécnico do substrato rochoso aliado às características de uso da terra (tais como: a má preservação da vegetação nativa, restrita aos cursos d'água e nascentes; a utilização de quase todo o trecho para agropecuária e a ausência ou insuficiência de medidas de controle erosivo) define setores de alta possibilidade de ocorrência de erosão induzida, sendo 3 deles destacados como setores críticos no Mapa de Suscetibilidade à Erosão (Figura 8).

Unidade V: esta unidade é composta por materiais arenosos, com blocos e fina camada de solo coluvionar sobre os depósitos desordenados de tálus, apresentando alta declividade e densidade textural média. Em geral, predominam processos gravitacionais, como quedas de blocos, deslizamentos, rolamentos, rastejos e feições erosivas de

pequeno porte em toda a unidade. As feições erosivas são paralelas e, embora dentro de ambiente de alta energia, não há desenvolvimento vertical dos processos. Assim, segundo os critérios de avaliação deste estudo, a unidade V apresenta moderada suscetibilidade à erosão natural.

Erosão induzida: nas áreas ocupadas pela agropecuária, com predomínio de pastagens cultivadas, em detrimento das matas ciliares, é favorecido o desenvolvimento de processo erosivo, resultando em ravinamentos e outras feições erosivas. Estas áreas representam setores críticos de alta possibilidade de erosão induzida e/ou acelerada.

• **Unidade VI:** esta unidade é composta por material arenoso incoeso, oriundo em grande parte da Formação Adamantina, apresentando baixa densidade textural e baixa declividade, com fluxos concentrados no canal. Os processos mais presentes nesta unidade são de erosão das margens, assoreamento e inundação. A associação desses atributos e fatores resultou na avaliação da unidade VI como de moderada suscetibilidade à erosão natural.

Erosão induzida: a utilização do solo para cultura e pastagem, com deficiência no manejo, e a presença de matas ciliares reduzidas, influenciam diretamente na quantidade e na velocidade com que os sedimentos e as águas pluviais são carreados para os canais de drenagem, principalmente nas áreas próximas das cabeceiras e sopé da escarpa. Tais condições induzem o desenvolvimento de processos erosivos, com destaque à porção norte da área estudada, onde córrego do Mutum deságua no ribeirão das Pedras, sendo considerado um setor crítico, de alta possibilidade de desenvolvimento de erosão induzida e/ou acelerada.

CONCLUSÕES

Na presente pesquisa, o conhecimento geológico, geomorfológico e pedológico foi abordado de forma integrada, para a definição de unidade espacial de trabalho, combinando tais informações na identificação, tanto dos processos do meio físico e sua sinergia diante da ação antrópica, como forma de avaliação dos níveis de suscetibilidade à erosão dos terrenos.

Esse conhecimento resultou de um processo de mapeamento que possibilitou a avaliação do comportamento dos seus componentes em termos geológico-geotécnicos e suas características e propriedades de interesse à implementação das formas de ocupação.

Os processos geológicos de erosão linear acelerada, na forma de sulcos, ravinas e

boçorocas, de solapamento nas margens dos canais de drenagem, além de processos de rastejo e escorregamento de solo, acarretaram aumento da produção de sedimentos para os canais de drenagem, com assoreamento do leito natural. Assim, são indicados estudos hidrológicos específicos, complementares, para avaliação da qualidade e do volume da água captada de seu principal manancial de abastecimento público pelo respectivo órgão municipal de Quirinópolis.

Os resultados deste trabalho demonstraram que a erosão e o assoreamento são problemas geoambientais relevantes em Quirinópolis, de modo que a caracterização desses processos e sua distribuição espacial são de fundamental importância ao planejamento e à proposição de diretrizes para medidas preventivas e corretivas.

Na busca por soluções mitigadoras dos impactos decorrentes do processo de uso e ocupação do solo, é necessário o conhecimento básico do meio físico, e desta forma, o desenvolvimento deste trabalho se mostrou adequado, uma vez que os objetivos da pesquisa foram atingidos. A utilização do método de análise integrada contribuiu, significativamente, para a pesquisa em termos

de redução de custo, tempo e aplicabilidade, em vez de se realizar o cruzamento de uma multiplicidade de produtos ou de associações sistemáticas, com atribuições e pesos, até que se chegasse a um mapa final.

A integração das informações levantadas sobre o meio físico definiu um procedimento simples de execução dos estudos, comparado aos métodos tradicionais de elaboração de cartas geotécnicas, sendo imprescindível o conhecimento específico do executor nas etapas de fotointerpretação, caracterização geológico-geotécnica e avaliação dos processos erosivos. Esta sistemática de mapeamento permite a replicação do método de análise em áreas de contexto similar e também em terrenos bastante diversos.

Os estudos do meio físico, aplicados ao planejamento das atividades socioeconômicas na Bacia do Ribeirão das Pedras, indicam a viabilidade técnica e econômica de desenvolvimento de instrumentos de gestão eficazes direcionados ao controle da qualidade ambiental dos mananciais de abastecimento público e gestão territorial de municípios de pequeno porte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, F. F. M. Alguns problemas das relações geológicas entre o Cráton Amazônico e as faixas de dobramentos marginais a leste. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 2., Goiânia, 1986. **Atas...** Goiânia: SBG. p. 3-14, 1985.
2. AMORIM, D. G. A.; ZAINE, J. E.; CERRI, L. E. S.; BOCARDE, D. Método e critérios para identificação e controle de situações de risco geológico em dutovias. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS, 1, Rio Claro, **Trabalhos Publicados** Rio Claro, 2012 (CD-ROM).
3. BITTAR, O.Y. (coord.). **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente**. ABGE/IPT-DIGEO, São Paulo, 1995. (Série Meio Ambiente).
4. CENDRERO, A. Mapping and evaluation of coastal areas for planning. **Ocean & Shoreline Management**. v. 12, p. 427-462. 1989.
5. CERRI, L. E. S.; ZAINE, J. E.; PAULA, J. P. L. de. **Curso: Geologia aplicada ao patrulhamento de rede da COMGÁS**. Material didático. São Paulo, out/2006.
6. DINIZ, N.C. Automação da cartografia geotécnica: uma ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental. Tese de Doutorado. Departamento de Transportes. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2v. 1998.
7. DINIZ, N.C. Cartografia Geotécnica por Classificação de Unidades de Terreno e Avaliação de Suscetibilidade e Aptidão. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**. v.2. n. 2. p. 29 – 78. 2012.
8. GRANT, K. The PUCE Programme for terrain calculation for engineering purposes. Part 2. procedure for terrain classification. Victoria: CSIRO – Division of Applied Geomechanics, **Technical Paper**, n. 19, 1974.
9. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo 2010. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?codmun=521850>> Acesso em: 11 abr 2013.
10. LACERDA FILHO, J. V. de; REZENDE, A.; SILVA, A. da (Org.). **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e do Distrito Federal**: escala 1:500.000. 2. ed. Goiânia: CPRM/METAGO/UnB, 2000.
11. LOLLO, J.A. Mapeamento Geotécnico da Folha de Leme - SP: utilização da geomorfologia para a caracterização preliminar de unidades geotécnicas. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.
12. LOLLO, J. A. O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula Campinas. 2 v. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.
13. MAGNAGO, H.; SILVA, M.T.; FONZAR, B.C. Vegetação. In: **Projeto Radambrasil**. Folha SE 22, Goiânia. Rio de Janeiro, 1983. (Levantamento de Recursos Naturais, v. 31).
14. MAMEDE, L.; NASCIMENTO, M. A. L. S. do.; ROSS, J. L. S.; SANTOS, L. M. dos. **Mapa Geomorfológico**.

- In: Projeto RADAMBRASIL. Folha SE. 22 Goiânia. Rio de Janeiro, 1983. (Levantamento de Recursos Naturais, v. 31).
15. MARTINS, P. T. A. ; RIEDEL, P. S. ; MILANELLI, J. C. C. ; STURARO, J. R. . Carta de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo em rodovias: aplicação piloto na estrada dos Tamoios (SP-099), estado de São Paulo. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia** (Online), v. 66, p. 59-74, 2014.
16. OLIVEIRA, W. J. Estudo dos aspectos geológicos da região sudeste do estado de Rondônia através do emprego de uma nova abordagem metodológica usando dados de satélite. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1989.
17. RIDENTE JÚNIOR, J.L. Análise da Utilização de Cartas Geotécnicas em Diferentes Escalas para Gestão Ambiental de Rodovia em Operação. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências e Meio Ambiental. Universidade Estadual Paulista Rio Claro, SP, 2008.
18. RIEDEL, P. S. Estudo das coberturas de alteração de parte do centro leste paulista através de dados de sensoriamento remoto. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1988.
19. RODRIGUES, R.; LOPES, J. A. U., Rodovias. In: **Geologia de Engenharia**. OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A.. Cap. 25, p. 419 – 430. São Paulo – ABGE, 1998.
20. ROSS, J.L.S. Análise e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, IG, USP, São Paulo, v. 9, n.1, p.65-75, 1995.
21. SANTOS, F. S. M. Fatores Geomorfológicos e Antrópicos na Avaliação da Fragilidade a processos erosivos no Município de Quirinópolis. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2002.
22. SANTOS, F. S. M. Avaliação de processos erosivos a partir da análise integrada do meio físico na bacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras, Quirinópolis (GO). 2013. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, SP, 2013.
23. SOARES, P.C.; FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geomorfológica**, v. 16, n. 32, p. 71–104, 1976.
24. SOUZA JÚNIOR, J. J. et al. **Geologia**. In: Projeto RADAMBRASIL, Folha SE 22, Goiânia. Rio de Janeiro, 1983. (Levantamento de Recursos Naturais, 31).
25. TRICART, J. **Principes et méthodes de la geomorphologie**. Paris: Masson, 1965.
26. VEDOVELLO, R. Zoneamento geotécnicos por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico - aplicação em expansão urbana.. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1993.
27. USAF - United States Air Force. **Levantamento aéreo**, 1965.
28. VEDOVELLO R. E MATTOS, J. T. de, A utilização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) como base para a definição de Unidades Geotécnicas. Uma abordagem a partir do Sensoriamento Remoto. ABGE/UFSC/SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 1998 (CD-ROM).
29. VENEZIANI, P.; ANJOS, C. E. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia**. São José dos Campos: INPE, 1982.
30. ZAINÉ, J. E. Método de fotogeologia aplicado a estudos geológico-geotécnicos: ensaio em Poços de Caldas, MG. Tese (Livre-docência) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.
31. ZAINÉ, J. E. Mapeamento Geológico-Geotécnico por meio do Método do Detalhamento Progressivo: Ensino de Aplicação na Área Urbana do Município de Rio Claro (SP). 149 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.
32. ZUQUETE, L. V., GANDOLFI, N. Metodologia de mapeamento para áreas municipais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, 1987, São Paulo. **Anais...** v.2 p.313-321. São Paulo: ABGE, 1987.
33. ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. **Cartografia Geotécnica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

*Manuscrito recebido em: 29 de Julho de 2013
Revisado e Aceito em: 27 de Junho de 2014*