

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE GEOGRAFIA  
Programa de Pós Graduação em Geografia - PPGeo

GILIANDER ALLAN DA SILVA

MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO COMO INDICATIVO DE  
SUSCEPTIBILIDADE EROSIVA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO SÃO  
LOURENÇO – ITUIUTABA/MG

UBERLÂNDIA-MG

2014

Giliander Allan da Silva

MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO COMO INDICATIVO DE  
SUSCEPTIBILIDADE EROSIVA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO SÃO  
LOURENÇO – ITUIUTABA/MG

Dissertação de mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em Geografia, do  
Instituto de Geografia, da Universidade Federal  
de Uberlândia.

Linha de Pesquisa: Análise, Planejamento e  
Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Nishiyama.

UBERLÂNDIA-MG

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

S586m      Silva, Giliander Allan da, 1985-  
2014      Mapeamento e caracterização do meio físico como indicativo de  
susceptibilidade erosiva na Bacia Hidrográfica do Ribeirão São  
Lourenço - Ituiutaba/MG / Giliander Allan da Silva. - 2014.  
134 f. : il.

Orientador: Luiz Nishiyama.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Geografia.  
Inclui bibliografia.

1. Geografia - Teses. 2. Geografia física - Teses. 3. Gestão ambiental  
- Teses. 4. Bacias hidrográficas - Teses. I. Nishiyama, Luiz. II.  
Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em  
Geografia. III. Título.

---

CDU: 910.1



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Programa de Pós-Graduação em Geografia

**IG**

**GILIANDER ALLAN DA SILVA**

**MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO COMO  
INDICATIVO DE SUSCEPTIBILIDADE EROSIVA NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIBEIRO SÃO LOURENÇO – ITUIUTABA/MG**

Professor Dr. Luiz Nishiyama - UFU

Professor Dr. João Donizete Lima – UFGO

Professor Dr. Rildo Aparecido Costa – UFU

Data: 06 / 10 de 2014

Resultado: Aprovado



*À minha querida vó Benedita Honório Eleutério  
e ao grande amigo Prof. António de Sousa Pedrosa (in memoriam).*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço pela oportunidade da vida e saúde.

Aos meus “deuses”, pai e mãe João e Nair, irmãs Geisa e Gisele e sobrinhos Victor e Miguel, pelo exemplo, apoio e incentivo, e demais familiares que muito me ajudaram.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro para a realização da pesquisa.

Ao Instituto de Geografia, da Universidade Federal de Uberlândia pela oportunidade de realização do mestrado.

Ao meu orientador Professor Dr. Luiz Nishiyama, pelas valiosíssimas orientações.

Ao técnico do Museu de Minerais e Rochas Paulino e à secretária Maria Beatriz, pela companhia cotidiana, especialmente nas atividades de campo. Aos demais professores que integram o Museu de Minerais e Rochas, Adriano, Heitor e Marcos, pelas dicas no decorrer dos dois últimos anos.

Aos professores do IG (Instituto de Geografia - UFU), especialmente aqueles que ministraram disciplinas durante a pós-graduação, Silvio Carlos, Jorge Brito e António Pedrosa (*in memoriam*).

Aos professores que integraram as bancas de defesas prévias e deram dicas importantes para a pesquisa: Rildo Costa e Ângela Maria.

Aos técnicos dos laboratórios onde realizei minhas análises: Romes e Veloso (Laboratório de Geotecnia da Faculdade de Engenharia Civil - UFU) e Marco Aurélio (LAMAS – Laboratório de Manejo de Solos – Agronomia UFU).

Aos grandes amigos Henrique Machado “Gigante” e Renato Emanuel, pelas enormes ajudas durante os vários ensaios de laboratório.

Aos amigos que conquistei durante estes dois anos: Gabriel Veloso, Laís Naiara, Juliana Crossara e Mariana Mendes que me ajudaram muito ao longo do trabalho.

Aos demais parceiros que contribuíram nas atividades de campo: Iron Andrade, José Fernando, Diego Alves e Fernanda Martins.

Sinceros agradecimentos a todos que, de alguma maneira contribuíram para a realização desta pesquisa.

Muito obrigado!

## RESUMO

A pesquisa foi desenvolvida na Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, nos municípios de Ituiutaba e Prata, oeste do estado de Minas Gerais, abrangendo quase 295 km<sup>2</sup>. O ribeirão São Lourenço constitui o principal manancial de abastecimento de água da cidade de Ituiutaba (MG). A agropecuária tem se caracterizado como importante atividade econômica da área de estudo e também o principal fator de degradação ambiental, porém, nos últimos quatro anos, três loteamentos foram implantados na área da bacia, o que pode impactar ainda mais o regime hidrológico da bacia do São Lourenço. Desta forma, o presente estudo objetiva caracterizar os atributos do meio físico que possam estabelecer uma relação com susceptibilidade à evolução de feições erosivas. Trabalhos de campo, pesquisas em artigos acadêmicos, cartas topográficas, fotointerpretação de imagens de satélites e fotografias aéreas e operações em imagens de radar foram necessários para elaborar as bases cartográficas da área de estudo. Ensaio em campo com o permeâmetro *Guelph* e de laboratório (índices físicos, erodibilidade, estabilidade de agregados, granulometria) possibilitaram definir cinco classes de materiais inconsolidados. As operações de sobreposição controlada de temas foram realizadas pelo *software* ArcMap 9.3, gerando três mapas que apresentam condições ambientais da bacia hidrográfica relacionadas à ocorrência de feições erosivas: Mapa de Potencial ao Escoamento Superficial (3º nível), Mapa de Potencial à Erosão (4º nível) e Mapa de Susceptibilidade à Erosão (5º nível). Este último apresenta três níveis de susceptibilidade à erosão: alta, média e baixa. As porções de alta susceptibilidade ocupam 9,1% da bacia, decorrem de áreas com declividade acima de 10% e com presença de voçorocas. Os locais definidos com média susceptibilidade ocupam 36,9% da bacia hidrográfica, estão vinculados a áreas de médio potencial à erosão (mapa de 4º nível) e com ocorrência de feições erosivas tipo ravina. As porções com características de baixa susceptibilidade à erosão relacionam-se as áreas de relevo plano, onde não foram verificadas feições erosivas, estendendo-se por quase 54% da área da bacia. Juntas as áreas de alta e média susceptibilidade à erosão representam quase metade da área da bacia hidrográfica. Nestes locais, as feições erosivas (ravinas e/ou voçorocas) já estão presentes. Características levantadas na área da bacia do São Lourenço implicam na necessidade de práticas de manejo adequadas frente as suas fragilidades naturais. Desta forma, espera-se que as informações geradas neste estudo possam contribuir para que os órgãos públicos locais iniciem uma política de planejamento para a bacia e, conseqüentemente, do recurso hídrico. Além disso, espera-se que novas pesquisas possam se desenvolver a partir desta discussão pioneira na bacia hidrográfica que abastece Ituiutaba (MG).

**Palavras-chave:** bacia hidrográfica; atributos do meio físico; susceptibilidade à erosão.

## ABSTRACT

The research was conducted in the Ribeirão São Lourenço watershed of the Ituiutaba and Prata municipalities. This watershed, in the west of the State of Minas Gerais, covers 295 km<sup>2</sup>. The São Lourenço stream is the principal source of water for the city of Ituiutaba. The local agriculture has been characterized as an important economic activity in the study area but is also the main factor in environmental degradation. In the last four years three new areas have been urbanized in the basin. This activity also, could further impact the hydrological situation of the basin. Thus, the present study aims to characterize the attributes of the physical environment in order to identify susceptibility to the dangers of erosion. Fieldwork, academic research, topographic maps, photo-interpretation of satellite images, aerial photographs and radar operations were used to elaborate the cartographic bases of the study. Field trials with the Guelph permeameter and laboratory data (physical indices, erodibility, aggregate stability, particle size) made it possible to define five classes of unconsolidated materials. Operations with controlled overlapping themes were conducted using ArcMap 9.3 software. Three maps were generated to present the environmental conditions of the basin in relation to the occurrence of erosion: the Runoff Potential (3rd level), Potential Erosion (4th level) and Susceptibility to Erosion (5th level). The latter presents three levels of erosion susceptibility: high, medium and low. Results demonstrate that areas of high susceptibility occupy 9,1% of the basin, with areas of slopes above 10% and the presence of gullies. Locations characterized by average susceptibility occupy 36,9% of the watershed. These areas include medium potential for erosion (map of the 4th level) and the occurrence of ravine type erosion. The areas with low susceptibility to erosion were areas of flat terrain. These areas occupy 54% of the study area and do not present problems of erosion. Together, the areas of high and medium susceptibility to erosion, however, represent almost half of the watershed area. In these locations, erosional features (gullies and/or ravines) are already present. Study results from the area of the São Lourenço basin thus imply the need for appropriate management practices to protect their natural weaknesses. It is hoped that the information generated in this study will contribute to effort on the part of local public agencies in planning policy for the basin and subsequently for the water resources. Furthermore, it is hoped that additional research will develop from this pioneer discussion of the watershed that supplies Ituiutaba (MG).

**Keywords:** watershed; attributes of the physical environment; susceptibility to erosion.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Forma de encostas e processos operantes. ....	27
FIGURA 2 – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço e vias de acesso.....	34
FIGURA 3 – Formas do relevo e distribuição vegetacional.....	37
FIGURA 4 – Mapa de uso e ocupação do município de Ituiutaba (MG).....	38
FIGURA 5 – Unidades geomorfológicas do Triângulo Mineiro.....	40
FIGURA 6 – Área de relevo medianamente dissecado e relevos residuais (ao fundo) no município de Ituiutaba (MG). ....	41
FIGURA 7 - Bacia Bauru: localização e litoestratigrafia. ....	44
FIGURA 8 - Evolução da Bacia Bauru. ....	45
FIGURA 9 - Coluna cronoestratigráfica do Grupo Bauru no Triângulo Mineiro (MG). ....	46
FIGURA 10 – Trado tipo caneco e cabo. ....	52
FIGURA 11 – Anéis cilíndricos utilizados na coleta de amostras indeformadas. ....	53
FIGURA 12 - Esquema ilustrativo do permeâmetro <i>Guelph</i> .....	53
FIGURA 13 – Fluxograma dos níveis cartográficos para se chegar ao mapeamento de susceptibilidade à erosão.....	56
FIGURA 14 – Coleta de amostra deformada com uso do trado tipo caneco.....	60
FIGURA 15 – Coleta de amostra indeformada em cilindro volumétrico grande para determinação de índices físicos dos solo.....	61
FIGURA 16 – Coleta de amostra indeformada em cilindro volumétrico para ensaio de erodibilidade e perda de peso por imersão.....	61
FIGURA 17 – Equipamento utilizado no teste de absorção de água. ....	63
FIGURA 18 – Equipamento utilizado no teste de absorção de água. ....	64
FIGURA 19 – Execução do ensaio de estabilidade de agregados no aparelho <i>Yoder</i> . ....	66
FIGURA 20 – Execução do ensaio de permeabilidade <i>in situ</i> com o Permeâmetro <i>Guelph</i> .....	68
FIGURA 21 – Ilustração da sobreposição controlada de dois temas sob diferentes percentuais de influência.....	75
FIGURA 22 – Mapa de Documentação.....	79
FIGURA 23 – Afloramento do basalto no baixo curso do Ribeirão São Lourenço. ....	81
FIGURA 24 – Trecho encachoeirado no baixo curso do Ribeirão São Lourenço.....	82
FIGURA 25 – Litologia da Formação Adamantina em afluente do Ribeirão São Lourenço onde o GPS serve como fator de escala para comparação (14 cm). ....	83
FIGURA 26 – Litologia da Formação Marília (intemperizada) com o uso do GPS como fator de escala.....	85

FIGURA 27 – Bloco de calcário presente na estrada, em relevo residual, tendo o martelo geológico como referência de escala (32cm).....	85
FIGURA 28 – Mapa de Substrato Rochoso.....	86
FIGURA 29 – Mapa dos Materiais Inconsolidados.....	88
FIGURA 30 – Mapa de Rede de Drenagem.....	97
FIGURA 31 – Mapa de Espessuras dos Materiais Inconsolidados. ....	99
FIGURA 32 – Declive sob os basaltos próximo à calha do ribeirão São Lourenço. ....	101
FIGURA 33 – Mapa de Declividade. ....	102
FIGURA 34 – Exemplos de processos erosivos na BHRSL: a) princípio de escoamento superficial em caminho preferencial compactado devido ao pisoteio do gado; b) ravina. ....	104
FIGURA 35 – Voçorocas em vários estágios, na BHRSL: a) estabilizada; b) em fase de estabilização; c) estabilizada, porém com sinais de reativação; e d) ativada, em fase de aprofundamento. ....	105
FIGURA 36 – Mapa de Registros de Feições Erosivas.....	107
FIGURA 37 – Mapa de Uso e Ocupação. ....	109
FIGURA 38 – Áreas de vegetação nativa na BHRSL: a) mata preservada próxima ao interflúvio da margem direita da BHRSL; b) mata em sopé dos relevos residuais.....	110
FIGURA 39 – Área de pastagem localizada na margem direita do ribeirão São Lourenço. ....	111
FIGURA 40 – Cultivo de cana-de-açúcar em primeiro plano e em segundo plano preparo do solo para plantio de cana-de-açúcar na BHRSL. ....	112
FIGURA 41 – Exemplos de corpos d'água presentes na BHRSL: a) represa em área de vereda no médio curso; b) áreas alagadas em veredas no alto curso do ribeirão São Lourenço. ....	112
FIGURA 42 – Mapa de Potencial ao Escoamento Superficial.....	115
FIGURA 43 – Mapa de Potencial à Erosão.....	118
FIGURA 44 – Mapa de Susceptibilidade à Erosão.....	121

## **LISTA DE GRÁFICOS**

GRÁFICO 1 - Climograma do Triângulo Mineiro – MG. ....	36
--	----

## **LISTA DE TABELAS**

TABELA 1 - Uso da terra e cobertura vegetal, município de Ituiutaba (MG). ....	37
TABELA 2 - Áreas das classes de uso e ocupação na BHRSL. ....	108



## **LISTA DE QUADROS**

QUADRO 1 – Classificação da consistência dos agregados. ....	28
QUADRO 2 – Matriz conceitual para a classificação das formas erosivas (erosão laminar, ravinas e voçorocas). ....	72
QUADRO 3 – Classes dos atributos de cada mapa da sobreposição controlada. ....	75

## LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas  
BHRSL - Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço  
CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais  
DMG - Diâmetro Médio Geométrico  
DMP - Diâmetro Médio Ponderado  
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Agropecuária  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IEA - Índice de Estabilidade de Agregados  
LAMAS/UFU - Laboratório de Manejo de Solos  
MDE - Modelo Digital de Elevação  
NBR - Norma Brasileira Registrada  
PMI - Prefeitura Municipal de Ituiutaba  
RADAM - Radar da Amazônia (Projeto)  
SIG - Sistema de Informação Geográfica  
SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*  
TIN - *Triangulated Irregular Network*  
UFU - Universidade Federal de Uberlândia

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	15
2	JUSTIFICATIVAS PARA A ESCOLHA DA ÁREA.....	19
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
3.1	Infiltração de água no solo e a erosão .....	21
3.2	Estabilidade de agregados.....	27
3.3	Processos erosivos no Triângulo Mineiro.....	29
3.4	Utilização dos SIG's no mapeamento geotécnico .....	30
4	CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA ESTUDADA.....	33
4.1	Localização e vias de acesso.....	33
4.2	Características físicas .....	35
4.2.1	<i>Geomorfologia</i> .....	39
4.2.2	<i>Geologia regional</i> .....	41
4.2.2.1	Grupo São Bento – Formação Serra Geral .....	43
4.2.2.2	Bacia Bauru.....	44
	<i>Formação Uberaba</i> .....	46
	<i>Formação Adamantina</i> .....	47
	<i>Formação Marília</i> .....	47
	<i>Membro Ponte Alta</i> .....	48
	<i>Membro Serra da Galga</i> .....	48
	<i>Membro Echaporã</i> .....	49
	<i>Sedimentos cenozóicos</i> .....	49
4.2.2.3	Geologia na área da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço ....	49
5	METODOLOGIA .....	51
5.1	Materiais utilizados.....	51
5.2	Procedimentos Metodológicos e Técnicos .....	54
5.3	Levantamento e produção de informações .....	57
5.4	Elaboração dos mapas de primeiro nível .....	57
5.4.1	<i>Procedimentos para definição das unidades do Substrato Rochoso</i> .....	58
5.4.2	<i>Procedimentos para definição das unidades de Materiais Inconsolidados</i> .....	59
5.4.2.1	Amostragem, ensaios <i>in situ</i> e laboratório .....	59

5.4.2.2	Análise textural e índices físicos do solo.....	62
5.4.2.3	Erodibilidade .....	63
i.	Ensaio de absorção de água .....	63
ii.	Ensaio de perda de peso por imersão .....	64
iii.	Índice de erodibilidade (E) .....	65
5.4.2.4	Determinação da estabilidade dos agregados .....	65
5.4.2.5	Ensaio de infiltração de água <i>in situ</i> .....	67
5.4.3	<i>Procedimentos para definição do Mapa de Rede de Drenagem</i> .....	69
5.4.4	<i>Procedimentos para definição do Mapa de Espessuras dos Materiais Inconsolidados</i> .....	69
5.4.5	<i>Procedimentos para definição do Mapa de Declividade</i> .....	70
5.5	Elaboração dos mapas de segundo nível .....	71
5.5.1	<i>Procedimentos para definição do Mapa de Registros de Feições Erosivas</i> .....	71
5.5.2	<i>Procedimentos para definição do Mapa de Uso e Ocupação</i> .....	74
5.6	Elaboração do mapa de terceiro nível .....	74
5.7	Elaboração do mapa de quarto nível .....	76
5.8	Elaboração do mapa de quinto nível .....	77
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	78
6.1	Mapas de primeiro nível .....	78
6.1.1	<i>Mapa de Documentação</i> .....	78
6.1.2	<i>Mapa do Substrato Rochoso</i> .....	80
a.	Grupo São Bento - Formação Serra Geral (JKsg) .....	80
b.	Grupo Bauru - Formação Adamantina (Ka) .....	82
c.	Grupo Bauru - Formação Marília (Km) .....	83
6.1.3	<i>Mapa dos Materiais Inconsolidados</i> .....	87
6.1.3.1	Materiais inconsolidados residuais .....	89
A.	Residuais de pequena espessura da Formação Marília (RPEMar) .....	89
B.	Residuais da Formação Marília (RMar) .....	90
C.	Residuais de pequena espessura da Formação Adamantina (RPEAd) .....	90
D.	Residuais da Formação Serra Geral (RSG) .....	91
6.1.3.2	Materiais inconsolidados transportados .....	92
A.	Transportados da Formação Marília (TMar) .....	92

B. Transportados da Formação Marília e Adamantina (TMarAd).....	94
C. Hidromórficos (H).....	95
6.1.4 <i>Mapa da Rede de Drenagem</i> .....	96
6.1.5 <i>Mapa de Espessuras dos Materiais Inconsolidados</i> .....	98
6.1.6 <i>Mapa de Declividade</i> .....	100
6.2 Mapas de segundo nível .....	103
6.2.1 <i>Mapa de Registros de Feições Erosivas</i> .....	103
6.2.2 <i>Mapa de Uso e Ocupação</i> .....	108
6.3 Mapa de terceiro nível.....	113
6.4 Mapa de quarto nível.....	116
6.5 Mapa de quinto nível.....	119
7 CONCLUSÕES .....	122
REFERÊNCIAS.....	125
APÊNDICE A .....	133

## 1 INTRODUÇÃO

Acompanha-se mais intensamente no Brasil, desde a década de 1950, o êxodo da população rural para as cidades. Consequentemente, a população urbana brasileira tem crescido muito rapidamente, refletindo na expansão e multiplicação dos aglomerados urbanos (vilas, distritos, cidades).

No meio rural, embora tenha havido grande saída de contingente humano, o desenvolvimento das técnicas e a tecnologia tem proporcionado maior intensificação da produção na agropecuária, exploração mineral e de materiais para construção civil, dentre outros.

As técnicas e tecnologias aprimoradas pelo homem associado ao domínio da natureza têm levado às maiores transformações no meio físico. O homem enquanto agente transformador tem aumentado as áreas exploradas e gerando maior pressão sobre os recursos naturais, seja para alimentar os povos, ou então, para suprir as indústrias com o fornecimento de matéria-prima. Neste sentido, é verificado que o progresso de uma nação está intimamente relacionado ao controle da natureza para o homem se beneficiar de bens materiais.

O meio físico, que representa solo, rocha, relevo, água, ar e suas diferentes interrelações é a base para o estabelecimento e vida humana. A ocupação dele com atividades cada vez mais intensas e diversificadas, geralmente de forma desordenada, interfere negativamente, em outras palavras, as atividades antrópicas na natureza quebra seu estado de “equilíbrio dinâmico”, exigindo readaptações da natureza para um reequilíbrio.

Acredita-se que, para o desenvolvimento de uma região, cidade ou bairro satisfatório, só é possível quando se consegue ponderar e adequar a relação entre o homem e o meio físico. Para tanto, é necessário maior organização do sistema produtivo (o grande gerador de atividades antrópicas) e das necessidades socioeconômicas.

As modificações que o homem produz sobre o meio físico tendem a ser mais rápidas que os processos naturais. Desta maneira, a recomposição da natureza é mais lenta se comparada às intervenções humanas, o que gera situações de

catástrofes. Além disso, o homem se preocupa com situações de impacto ao ambiente, quando este o interfere diretamente.

As feições erosivas (sulcos, ravinas, voçorocas) ocorrem em vertentes e expressam na paisagem a simultaneidade de acontecimentos naturais e/ou humanos. Podem se desenvolver em condições naturais, mas, na maioria dos casos, resultam da interferência humana. Além disso, é um grave problema ambiental e pode colocar populações em risco e gerar perdas financeiras.

São necessários estudos que tenham como objetivos, conhecer os processos erosivos acelerados e as feições que deles derivam. Desta maneira, se pode realizar medidas corretivas e preventivas.

Aos processos acelerados de erosão provocados pela ação antrópica que, conseqüentemente, levam à sedimentação, exigem estudos da dinâmica nas vertentes, pois se entende que a dinâmica e evolução das paisagens ocorrem pelos processos denudacionais de vertentes.

Embora se saiba que as intervenções do homem provocam transformações na base das atividades humanas (meio físico), pouco se tem realizado no intuito de minimizar seus efeitos danosos. No Brasil, não há grande número de estudos voltados ao planejamento do uso e ocupação do meio físico, excetuando alguns trabalhos acadêmicos ou trabalhos técnicos particulares e específicos. Deriva disso, a quase inexistência de informações que embasem pesquisas correlatas, tornando necessária a produção destas informações.

Há de se destacar a importância dos estudos do meio físico, uma vez que são para o planejamento e ocupação adequados. Neste sentido, levam-se em consideração as aptidões e limitações do meio físico.

A vida humana está condicionada pela disponibilidade de recursos naturais, sobretudo a quantidade de água. Em casos contrários, é necessário que se adote medidas para transformar o ambiente num lugar habitável, ou seja, superar as limitações ambientais. Estas medidas são onerosas e quase sempre podem gerar impactos negativos.

Uma vez que o ambiente modificado torna-se mais agradável, atrai mais gente para o local, o que aumenta a demanda por bens e serviços e que por sua vez acarreta em novas alterações no meio físico. Desta forma, é importante que o uso e

aplicação de ferramentas modernas utilizadas nas variadas formas de uso e ocupação sejam estudados com rigor, de forma a analisar sua adequação ao meio ambiente, gerando mais benefícios do que prejuízos às populações.

Neste cenário, a pesquisa se desenvolve com a utilização das geotecnologias, ensaios geotécnicos, agronômicos e hidrológicos, com o intuito de caracterizar os atributos do meio físico, buscando explicações para a numerosa ocorrência de feições erosivas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço (BHRSL), em Ituiutaba (MG), e seus prováveis impactos à qualidade e disponibilidade hídrica.

Trata-se de um estudo que utilizou materiais e técnicas com baixo custo, porém, sem perder de vista a qualidade das informações levantadas e/ou geradas. Isso se deu graças às parcerias com o Instituto de Ciências Agrárias da UFU e seu Laboratório de Manejo de Solos (LAMAS).

Mediante os resultados do presente estudo, espera-se contribuir à adoção de várias medidas no sentido de buscar o uso e ocupação adequados da área da bacia e, como consequência, a melhoria da qualidade ambiental e que poderá se refletir na qualidade e disponibilidade hídrica.

Em razão da ausência de estudos que retratam a problemática da erosão e escassez de informações relativas ao meio físico da BHRSL, associada à frente urbana que avança sobre a área, realizou-se a presente pesquisa voltada à avaliação da susceptibilidade erosiva a partir dos atributos do meio físico tendo como objetivos secundários:

- a. A produção de um conjunto de informações acerca dos atributos do meio físico a partir de observações e interpretações em campo, fotointerpretação e interpretação de imagens de satélite, interpretação de mapas, ensaios de laboratório e ensaios em campo (*in situ*);
- b. A geração uma série de documentos cartográficos com informações fundamentais para a caracterização da área de estudo, além de mapas interpretativos gerados por superposição controlada multicritérios, na escala 1:100.000;
- c. A partir dos mapas gerados, descrição as características da bacia hidrográfica em relação à sua susceptibilidade a erosões;



De acordo com a estruturação escrita do trabalho tem-se: no segundo capítulo, as justificativas para a escolha da BHRSL para estudo. No terceiro e quarto capítulo, realizou-se a revisão bibliográfica sobre os assuntos que permeiam toda a pesquisa, sobretudo, caracterizações físicas da região.

No quinto capítulo, são abordados os materiais utilizados no estudo, bem como, a descrição dos cálculos realizados em cada ensaio, seja em laboratório ou em campo. Além disso, o capítulo aborda os métodos para elaboração de todos os mapas, com descrição dos procedimentos e passo-a-passo para se gerar a sobreposição controlada nos mapas de 3º, 4º e 5º nível.

O capítulo seis apresenta os resultados da pesquisa e todos os mapas gerados, destacando os locais de ocorrência e as características de cada área mapeada, correlacionando com os ensaios supracitados. No último capítulo, foram abordadas as informações geradas pelo estudo, e proposições de práticas de uso e ocupação com base nas características dos atributos do meio físico.

## 2 JUSTIFICATIVAS PARA A ESCOLHA DA ÁREA

A existência e disponibilidade de informações detalhadas sobre o meio físico é de extrema importância para o desenvolvimento de estudos e pesquisas que tem como escopo orientar o uso e ocupação do meio físico de forma organizada. Raras exceções ocorrem em países que adotam medidas de prevenção, valorizando o planejamento com maior detalhamento nos seus estudos, ou então, em pesquisas que ocorrem na academia ou em órgãos governamentais e instituições privadas.

As ações humanas sobre o meio físico tende a desencadear e intensificar processos naturais. Em grande medida, as respostas do meio são negativas podendo ser observadas pelas erosões aceleradas, inundações, rompimento de estradas e pontes (rurais e urbanas), assoreamento de canais e reservatórios, contaminação e/ou poluição das águas superficiais e subsuperficiais. Estas ocorrências, na maioria das vezes exige reparação dos danos, gerando excessivo ônus que quase sempre é repassado para a população, além de reduzir a qualidade de vida das pessoas.

Considerando que a bacia hidrográfica é uma unidade de estudo e de planejamento, na qual os elementos do meio físico devem ser vistos de forma integrada, sugeriu-se como a área em estudo, a Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço (BHRS�).

Esta bacia possui grande importância para o abastecimento de água da cidade de Ituiutaba (MG), localizada na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. A captação realizada pela Superintendência de Água e Esgoto – SAE de Ituiutaba (MG) é oriunda, principalmente, do ribeirão São Lourenço. Além disso, a economia do município de Ituiutaba (MG) tem forte vínculo com a agropecuária, com presença marcante de frigoríficos e usinas sucroalcooleiras, sobretudo, na área da bacia, para os quais a água se constitui no recurso natural essencial para o seu desenvolvimento.

A área delimitada para estudo não apresenta grandes diferenças do panorama geral no nosso país. A carência de informações da área de estudo, pode colaborar

no alto custo do tratamento da água além de comprometer os usos futuros, sobretudo, se pensado na disponibilidade e qualidade da água.

Ademais, nos últimos anos, o processo de urbanização da cidade de Ituiutaba (MG) tem avançado em duas direções: sudoeste e leste/sudeste. Neste último caso, os loteamentos populares encontram-se na bacia hidrográfica em estudo, como o bairro Buritis - já construído e os bairros Nadime Derze Jorge I e II – em construção.

Percebe-se, porém um antagonismo em relação aos usos antrópicos da área de estudo. De um lado, a necessidade de um meio ambiente que possa manter a oferta e qualidade dos recursos hídricos e, do outro, o uso e a ocupação da área da bacia hidrográfica para fins econômicos relacionados às atividades agropecuárias, especialmente, a pecuária leiteira e de corte e monocultura da cana-de-açúcar, além de loteamentos residenciais.

Frente a este cenário observado na BHRSL, a pesquisa desenvolvida vai ao encontro das ideias de Portes, Bezerra e Silva (2009). Os autores destacam a importância de se conhecer as fragilidades e potencialidades em um sistema de bacia, pois auxiliam na compreensão da relação homem/natureza.

Desta forma, justifica-se estudar essa bacia hidrográfica pela necessidade em se compreender as características dos atributos do meio físico, sobretudo, relacionados ao recurso hídrico, fundamental para o abastecimento da população de Ituiutaba (MG) e o desenvolvimento das atividades agropecuárias.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O reconhecimento de feições erosivas aceleradas e a interpretação dos processos que resultam no seu desenvolvimento são de grande importância prática para a conservação dos solos. Os solos são a base para diversas atividades econômicas, como: a pecuária; o cultivo; o suprimento das indústrias com as matérias primas, além de suporte para a maioria das formas de uso e ocupação. Neste sentido, considera-se que as pesquisas relacionadas a feições erosivas e aos processos envolvidos colaboram para o planejamento nas práticas de manejo mais adequadas, com medidas preventivas e/ou corretivas.

Devido ao intenso uso e ocupação da cobertura inconsolidada grande número da ocorrência de erosões se dá em áreas agrícolas. Tendo em vista o desenvolvimento científico para o planejamento ambiental estas áreas podem ser utilizadas como laboratórios para identificação, caracterização e monitoramento de erosões.

Várias são as pesquisas que tem como base a análise de feições erosivas (PEREIRA, 2001; SILVEIRA, 2002; ALVES, 2007; GUIMARÃES, 2008; ARAGÃO et al., 2011). Em grande medida, estudos deste cunho focam no mapeamento e monitoramento das formas resultantes dos processos envolvidos. Seja em laboratório (ensaios e modelos) ou em campo, resultados qualitativos e quantitativos podem fornecer dados importantes para a tomada de decisões.

#### **3.1 Infiltração de água no solo e a erosão**

Em regiões de clima tropical, em que, os índices de chuvas são mais pronunciados, a forma de erosão hídrica é a mais comum. Nestes casos, a erosão é gerada, especialmente, pela ação das águas das chuvas.

Designa-se o termo infiltração à entrada de água no solo. Considerando uma paisagem natural, a partir da queda das gotas de água (chuva), vários são os

caminhos que ela pode percorrer. Parte da água cai diretamente sobre o solo, outra quantidade é interceptada pela cobertura vegetal, podendo evaporar e retornar à atmosfera, ou então pode chegar ao solo pelo fluxo no tronco (*stemflow*) (GUERRA, 2012).

O tipo de uso do solo influencia sobremaneira no processo de infiltração e de erosão. Adiciona-se outras características como as propriedades do solo, características das chuvas, microtopografia da superfície do terreno e características das encostas (GUERRA, 2012). A umidade antecedente do solo também é influente, pois vai determinar o período de saturação do solo.

Neste sentido, considerando apenas a relação infiltração-erosão, a tendência é que, solos com baixa competência para infiltração sejam mais erodíveis, por outro lado, solos com maior capacidade de infiltração, tem o volume de água para o escoamento reduzido e, portanto, são menos erodíveis. Assim, o processo de infiltração é importante para compreender a dinâmica das erosões.

A água que chega ao solo tende a infiltrar aumentando o seu teor de umidade. Com seus poros preenchidos por água (saturado), o solo perde a capacidade de infiltração. A partir desse momento, a água é retida na superfície do solo e armazenada nas suas irregularidades em forma de poças (*ponds*), que eventualmente vão dar início ao fluxo superficial (*runoff*) (GUERRA, 2012).

De Ploey (1983) afirma que é difícil diferenciar o período necessário para a formação das poças e o início do fluxo em lençol. Desse modo, o autor acredita que a partir da formação das poças, já se tem o início do fluxo superficial (*runoff*).

Guerra (2012) acredita que as irregularidades do terreno armazenam a água evitando o fluxo, porém, quando o volume de água nestes locais se torna mais elevados, tende a romper os terraços em nível, desencadeando a fluxo superficial com possibilidades de ocorrência de ravinas.

Segundo Guerra (2012), a porosidade e a densidade aparente das porções superiores do solo são fatores importantes para a formação de poças. Para coberturas inconsolidadas menos porosas e mais densas, menor é a tendência de absorção de água, o que leva a formação de poças mais rapidamente, alimentando o escoamento superficial.

Guerra (2012) entende que o acúmulo de água nas microtopografias alcançam uma situação limite, em que não é mais possível conter a descida de água na vertente, assim, a água começa a escoar sob a forma de um lençol (*sheetflow*).

Para Horton (1945 *apud* GUERRA, 2012) o escoamento laminar ou difuso é incapaz de transportar partículas devido à sua força de cisalhamento incipiente. Guerra (2012) considera que até o momento em que o fluxo em lençol não tenha causado pequenas incisões, o poder de carrear grãos individuais é mínimo.

A continuidade de um evento chuvoso pode alterar o tipo do fluxo de água superficial. Desta maneira, o maior volume de água pode criar caminhos preferenciais concentrando-os. A evolução do escoamento difuso é o escoamento concentrado, com ocorrência de pequena incisão no solo (GUERRA, 2012). Sob estas características, o fluxo tende a ganhar mais velocidade à medida que desce na encosta, carreando mais sedimentos e, conseqüentemente aumentando seu poder erosivo.

A partir do momento em que o fluxo moldou um canal preferencial (fluxo linear – *flowline*) inicia-se a formação das microrravinas (*micro-rills*). Este processo não eximiu o fluxo em lençol, ele também ocorre, porém, em menores proporções. Guerra (2012) ainda cita que é possível ocorrer bifurcações nas ravinas a partir dos *knickpoints*, ou seja, pontos de ruptura, que é um estágio mais avançado das ravinas.

As microrravinas com cabeceiras (*headcuts*) são feições ainda mais evoluídas do processo erosivo e resulta da erosão dentro da ravina. A evolução das microrravinas para ravinas de maiores dimensões ocorre com o recuo das cabeceiras em direção às partes mais elevadas da vertente/encosta, que torna o canal mais largo e profundo, e com maior capacidade de remoção e transporte de sedimentos (GUERRA, 2012).

Na visão de Mitchell e Bubbenzer (1980 *apud* PRANDI, 1993) as ravinas são formas de um estágio mais ou menos avançados do processo erosivo, em que as operações simples de manejo não mais podem eliminá-las.

Avaliando simulações em laboratório de Merritt (1984) e Bryan (1990), Guerra (2012, p. 36) destaca cinco estágios na evolução dos processos erosivos, até se tornarem as ravinas:

[...] escoamento em lençol (*sheetflow*), desenvolvimento de fluxo linear (*flowline*), formação de microrravinas (*micro-rills*), microrravinas com cabeceiras (*headcuts*), e desenvolvimento de bifurcações através dos pontos de ruptura (*knickpoints*).

Rauws (1987 *apud* GUERRA, 2012) demonstra com ensaios em laboratório que, em solos com baixa coesão, as ravinas iniciam sua formação a partir das cabeceiras com declive entre 2° e 3°, com velocidade do fluxo de 3,2 a 3,4 cm/s.

A persistência de uma ravina por longo período num local tende a evoluir vertente abaixo para uma voçoroca. Estas formas implicam em redução da fertilidade, gerada principalmente pela perda de solo, ocasionando maiores custos para recuperação.

Observa-se uma conexão estreita entre ravinas, voçorocas e redes de canais de drenagem. O agravamento do processo erosivo pode ser notado pelo aprofundamento do entalhe das ravinas no solo. Pode ocorrer simultaneamente a ação do fluxo superficial e subsuperficial em uma mesma forma, dando maiores dimensões à feição. Este estágio da feição erosiva caracteriza as voçorocas. (PRANDI, 1993, p.22).

Etimologicamente, o termo voçoroca deriva-se do tupi-guarani *Ibiçoroc*, cujo significado é terra rasgada. Na língua inglesa o termo mais comumente empregado é *gully erosion*, na África tem o nome de *donga* e em Portugal, o nome mais empregado é *barroca* (RODRIGUES, 1982).

Vieira (1978) considera que as voçorocas consistem em formas com a atuação de erosão em superfície e subterrânea, com certas possibilidades de alargamento e aprofundamento da feição até atingir um equilíbrio dinâmico.

Segundo Baccaro (2012) os fluxos subsuperficiais ocorrem nas formações superficiais (colúvio e elúvio), em diversas profundidades, condicionado pelo contato pedológico e/ou litológico.

Prandi (1993) e Baccaro (2012) afirmam que o fluxo em subsuperfície contribui para o desencadeamento e rápido avanço das frentes de erosão por voçorocamento.

Diversos autores como Rodrigues (1982), Bigarella e Mazuchowski (1985), Pereira (2001) e Nishiyama (1998) caracterizam os sulcos, ravinas e voçorocas como processos erosivos acelerados.

Fiori e Soares (1976 *apud* SILVEIRA, 2002) destacam que a ocorrência de processos erosivos acelerados está vinculada a um desajuste entre o volume do escoamento, a forma da vertente, o tipo de escoamento e a característica quanto à erodibilidade do material.

São apontadas por Piest et al. (1975 *apud* PRANDI, 1993) duas condições gerais para a ocorrência de voçorocas. A primeira delas é a ocorrência de solos frágeis e depositados, e a segunda condição é a existência de escoamento superficial com energia suficiente de transporte.

A estabilização de uma voçoroca associa-se ao momento em que o leito de um canal atinge um nível de base local. Este, por sua vez, é comandado pela rede de drenagem ou por material subterrâneo rígido (substrato rochoso) (VILAR e PRANDI, 1993).

Baccaro (2012) chama a atenção para as zonas de descontinuidades granulométricas e litológicas. Nestas camadas os fluxos subsuperficiais provoca erosão através de dutos (*tunneling erosion*) que aceleram o desmoronamento nas feições erosivas, especialmente nas voçorocas.

A saída de fluido (água e fração fina de solo) por liquefação através de dutos é um processo que intensifica o voçorocamento, com perda de material subterrâneo, formação de vazios (chaminés) e consequente queda dos tetos e paredes da feição erosiva. Rodrigues (1982) afirma que o material fino removido do interior do solo deposita-se no sopé do talude compondo um material movediço. Por outro lado Oliveira (2012) afirma que o material removido advém da superfície dos taludes ou do lençol freático.

Nishiyama (1998) cita quatro fatores que interferem na erosão: erodibilidade, erosividade, configuração do relevo e cobertura vegetal. De acordo com Pejon (1992) a erodibilidade dos materiais inconsolidados está associada a dois fatores: a destacabilidade e a transportabilidade dos grãos. A destacabilidade está vinculada aos materiais finos e às forças que ocorrem em superfície e a transportabilidade diz respeito ao tamanho e às formas das partículas.

A erodibilidade se refere a maior ou menor susceptibilidade à erosão do solo, e depende da interação de outros fatores como a permeabilidade, textura, grau de agregação, teor de matéria orgânica, entre outros (FREIRE et al., 1992).

Fatores como a umidade e as condições de infiltração de água também influenciam na erodibilidade. Maior capacidade de absorver água em menor tempo



implica em menor possibilidade de erosões e solos úmidos tendem a saturar com mais rapidez iniciando o escoamento superficial (PEJON, 1992).

Lal (1990) afirma que a susceptibilidade do solo à erosão tem influências das “propriedades físicas/hidrológicas, químicas/mineralógicas e biológicas/bioquímicas”. Quanto ao conceito de erosividade, Guerra (2012) o considera como a capacidade da chuva causar erosões.

De acordo com Lal (1990), a erosividade deve-se a dois elementos: o impacto direto da chuva e parte do escoamento superficial. Para o autor, a energia da chuva é obtida pela intensidade da mesma e o tamanho da das gotas.

Oduro-Afriyie (1996) considera que a quantificação da erosividade baseia-se na energia cinética da chuva, através do índice que computa a intensidade e duração da chuva, a massa das gotas, o diâmetro e velocidade delas.

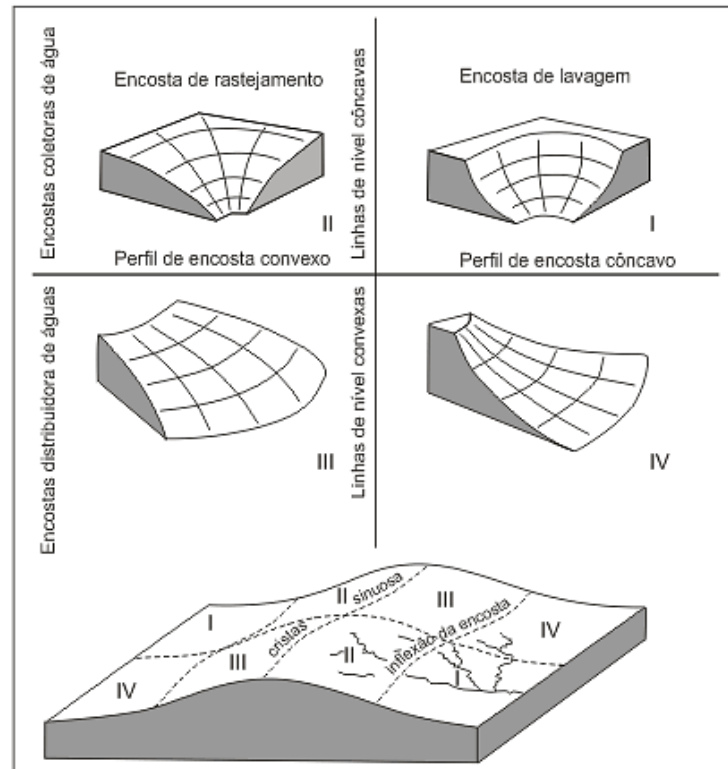
Oka-Fiori e Soares (1976) a partir de uma análise sobre as formas de relevo e as feições erosivas, consideraram que a maior incidência de voçorocas está relacionada a encostas convexas, sejam elas coletoras (convergência dos fluxos no perfil vertical) ou dispersoras (divergência dos fluxos no perfil vertical).

De acordo com o Oka-Fiori e Soares (1976), o perfil da encosta que determina a ocorrência de feições erosivas. Em outras palavras, independente se o fluxo é dispersor ou concentrador, a vertente convexa tende a dar maior dinâmica aos fluxos superficial e subsuperficial. A FIGURA 1 apresenta quatro possíveis formas de encostas.

Conforme o tipo e densidade de cobertura vegetal, maior ou menor proteção pode ser oferecida ao solo na função de minimizar a ação dos processos erosivos e desestabilizadores de encostas (NISHIYAMA, 1998).

Dentre as várias funções da vegetação enquanto protetora do solo Bertoni e Lombardi Neto (1999) afirmam que: protegem contra o impacto das gotas de chuva, dispersa água favorecendo a evaporação antes de atingir o solo, as raízes decompostas formam canais que favorecem a aeração e infiltração, acrescenta matéria orgânica no solo contribuindo para o melhoramento de sua estrutura e retenção de água que resultam na atenuação do escoamento superficial.

FIGURA 1 – Forma de encostas e processos operantes.



Fonte: Troeh (1965), modificado por Rodrigues (1982).

### 3.2 Estabilidade de agregados

Os agregados de um solo representam um conjunto de partículas relativamente coesas, com formas e tamanhos definidos (SILVA, 2012). As diferentes formas de manejo e o tempo de determinada prática sobre o solo tende a alterá-lo em vários aspectos, inclusive na estrutura, que está diretamente relacionada aos seus agregados (MATOS et al., 2008). Estes por sua vez, influem sobre as características físicas do solo, como: porosidade e aeração, densidade, capacidade de infiltração e retenção de água (BAYER e MIELNICZUK, 1999 apud MATOS et al., 2008).

Matos et al. (2008) realizaram estudos sobre a estabilidade de agregados em diferentes usos e práticas de manejo. Constataram que o uso do adubo mineral atuou na diminuição do tamanho dos grãos, se comparado às áreas com uso de adubo orgânico.

Para ensaios em via úmida, os solos sob mata apresentaram maior proporção de agregados (fração 4 mm a 2 mm). Em contrapartida, os menores valores de agregados estáveis estiveram presentes em áreas que receberam adubação mineral (MATOS et al., 2008).

Desta forma, a coesão entre as partículas, que influencia na estabilidade dos agregados, possui relação direta com a taxa de erosão que poderá agir sobre um material inconsolidado.

Dentre outros fatores, a estabilidade dos agregados de um solo vai determinar a sua maior ou menor erodibilidade. No caso de ruptura das estruturas agregadas do solo, as partículas finas resultantes podem favorecer o selamento superficial e, conseqüentemente, o escoamento em superfície, além de fornecer material de transporte (desagregados). Por outro lado, um solo com alta estabilidade de seus agregados, terá maiores índices de infiltração, necessitando de maior volume de água para a sua saturação.

A consistência e a estabilidade das estruturas dos agregados são dois parâmetros para caracterizar um material inconsolidado. A consistência é analisada com o solo em três condições: seco, úmido e molhado, conforme apresentado no QUADRO 1.

QUADRO 1 – Classificação da consistência dos agregados.

<b>variações de umidade</b>	<b>seca</b>	<b>úmida</b>	<b>molhada</b>	
<b>caracterização</b>	dureza de um agregado ao esboroamento entre os dedos	friabilidade	plasticidade	pegajosidade
<b>classificações</b>	solta	solta	não plástica	não pegajosa
	macia	muito friável	ligeiramente plástica	ligeiramente pegajosa
	ligeiramente dura	friável	plástica	pegajosa
	dura	firme	muito plástica	muito pegajosa
	muito dura	muito firme		
	extremamente dura	extremamente firme		

Fonte: adaptado de Silva (2012).

A estabilidade estrutural mede a resistência dos agregados frente à ação da água. Quando imerso em água, os agregados estáveis apresentam maior resistência, enquanto os agregados instáveis se desfazem rapidamente, separando-se em pequenas partículas. Desta maneira, um agregado duro quando seco, pode não ser estável quando imerso em água.

Observações em campo permite inferir sobre a estabilidade de agregados em uma determinada área. Os principais indicativos são os processos erosivos e a formação de crostas na superfície do solo.

A estabilidade dos agregados geralmente está relacionada à presença de matéria orgânica, hidróxidos, cátions bi e trivalentes. Já os solos siltosos e muito ricos em água tendem a ter agregados instáveis (SILVA, 2012).

Em síntese, condições extremas como solos muito soltos, não plásticos ou então, muito finos e firmes são mais susceptíveis a erosão hídrica. A situação ideal é representada por condições intermediárias, pois possibilita a formação de boa porosidade e textura média (SILVA, 2012).

### **3.3 Processos erosivos no Triângulo Mineiro**

O Domínio Natural do Cerrado passou a ter exploração mais intensa no Governo Vargas a partir da tentativa de colonização do Mato Grosso do Sul e Goiás. Na década de 1970 foram criados programas para proporcionar ocupação racional e ordenada das áreas do Cerrado. O resultado foi avanço da tecnologia no campo e aumento da produtividade, mas também gerou diversos impactos negativos, como: o empobrecimento genético; compactação e erosão dos solos; contaminação química das águas e da biota; rebaixamento do lençol freático nos vales das “veredas”; alteração no equilíbrio hidrogeomorfológicos das vertentes; sedimentação nos fundos de vales e diminuição da vazão dos mananciais (BACCARO, 2012).

Como característica climática do Cerrado tem-se duas estações bem definidas: verões quentes e chuvosos; inverno frio e seco. O período de estiagem (cinco meses aproximadamente) deixa o solo exposto, ressecado e fendilhado.

Considerando que o clima, sobretudo à intensidade pluviométrica está intimamente relacionado aos processos erosivos, em seus estudos no Cerrado do Triângulo Mineiro Baccaro (1990) destaca que a maior saída de sedimentos ocorre no início do período chuvoso, conforme sua distribuição e comportamento. Ou seja, a baixa densidade da cobertura vegetal e alta intensidade das chuvas favorecem a remoção e transporte de material superficial (solos).

Em mapeamento de voçorocas realizados na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, Baccaro (2012) aponta três áreas distintas para a ocorrência delas: 1- áreas de relevo medianamente dissecado; 2- segmentos coluviais nos sopés dos relevos residuais; 3- unidades de relevo fortemente dissecados com topos em cristas e nas áreas mamelonares/mares de morro medianamente dissecadas.

Para Baccaro (2012) os fluxos superficiais no Cerrado estão relacionados à capacidade de infiltração, morfologia das vertentes, revestimento vegetal e uso do solo, declividade e descontinuidades nas formações superficiais.

Em estudo realizado em uma voçoroca no município de Uberlândia, Alves (2007) destaca que a ocorrência de tal feição se deu por influência das intervenções humanas (retirada de vegetação e cascalhos), que alteraram o equilíbrio dinâmico no local. Além disso, a existência de um contato litológico, ou seja, arenitos da Formação Marília sobrepostos aos basaltos da Formação Serra Geral contribuíram sobremaneira para remoção de sedimentos na voçoroca.

### **3.4 Utilização dos SIG's no mapeamento geotécnico**

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) são importantes ferramentas para auxiliar em análises do meio físico. Segundo Rosa (2009, p.252) o Sistema de Informação Geográfica é

[...] um conjunto de ferramentas computacionais composto de equipamentos e programas que, por meio de técnicas, integra dados, pessoas e instituições de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento, a análise e a disponibilização, a partir de dados georreferenciados, de informação produzida por meio

das aplicações disponíveis, visando maior facilidade, segurança e agilidade nas atividades humanas referentes ao monitoramento, planejamento e tomada de decisão relativas ao espaço geográfico.

Zuquette e Gandolfi (2004, p. 13) consideram o mapeamento geotécnico como

[...] um conjunto de ações voltadas à elaboração de mapas e cartas de conteúdo relativo à Geotecnia para fins decorrentes do conhecimento geotécnico. Pode ser entendido como um processo que tem por finalidade básica levantar, caracterizar, classificar, avaliar e analisar os tributos que compõem o meio físico, representando adequadamente a variabilidade dos mesmos, sejam geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos, ou outros.

A possibilidade de integração de atributos do meio físico pelos Sistemas de Informações Geográficas é de grande valia aos trabalhos de mapeamentos. Esta ferramenta auxilia no aproveitamento de informações pré-existentes e seu aprimoramento, além de gerar novos dados a partir da integração/sobreposição de informações.

Barbosa (1997) observa que os SIG's oferecem a possibilidade de representar as entidades do mundo real por meio de atributos espaciais, e assim, potencializar a análise dos elementos geográficos, que é base para estudos de cunho geotécnico.

Dentre os vários estudos geotécnicos com utilização de SIG, pode-se citar o de Silveira (2002) que elaborou uma carta de susceptibilidade à erosão no interior do estado de São Paulo, pela análise ponderada dos atributos do meio físico, utilizando o *software* IDRISI 3.2.

Batista et al. (2012) realizaram trabalho na cidade de Anápolis (GO), onde mapearam os cenários de áreas passíveis de inundação. O geoprocessamento foi ferramenta fundamental para este estudo, sobretudo o *software* Spring no qual se foi construído o banco de dados digital, e para procedimentos específicos usou-se o *software* ArcGIS 9.3.

Afirma Zuquette (1993) que a sobreposição de informações permite delimitar áreas com graus mínimos de heterogeneidade, as quais são indispensáveis para a elaboração de mapas e cartas de prognósticos.

Carnap (1962 apud ZUQUETTE; GANDOLFI, 2004) chama de atributo toda informação fundamental para se realizar um mapeamento. Segundo o autor, um ou vários atributos compõem a base para análise do ambiente.

Neste estudo, utilizaram-se procedimentos empregados em mapeamentos geotécnicos para a caracterização dos atributos do meio físico, especialmente os ensaios em campo e laboratório. Deste modo, o SIG se torna indispensável por facilitar o mapeamento de áreas e, com isto apresentar porções do terreno com possibilidade de ocorrência de processos erosivos acelerados, o que é um prognóstico de áreas de grande importância para direcionar a tomada de medidas.

## 4 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA ESTUDADA

Por considerar a bacia hidrográfica como uma importante unidade de pesquisa, neste capítulo aborda-se as principais características da BHRSL. Destacam-se as principais vias de acesso para a área em estudo, e, sobretudo, as características físicas: climáticas, geomorfológicas e geológicas, que, de forma interligada, interferem na ocorrência de processos erosivos e, consequentemente, no regime hidrológico.

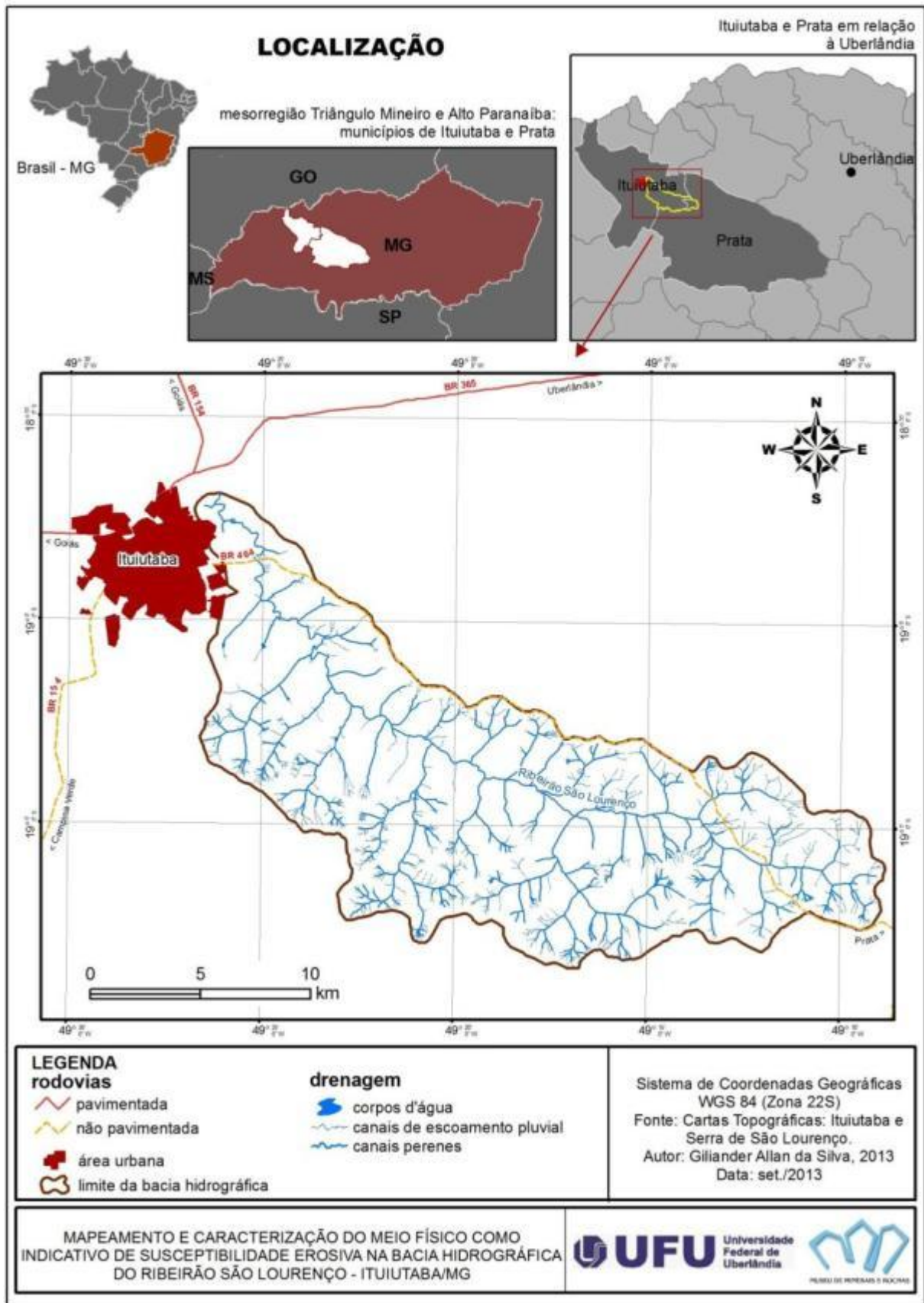
### 4.1 Localização e vias de acesso

A BHRSL encontra-se a oeste do estado de Minas Gerais, na região do Pontal do Triângulo Mineiro, a sudeste da cidade de Ituiutaba (MG), delimita pelas coordenadas geográficas 49°27' de longitude oeste e 18°56' de latitude sul e 49°08' de longitude oeste e 19°07' de latitude sul. A bacia hidrográfica tem extensão aproximada de 295 km<sup>2</sup> (ALLAN-SILVA, 2011).

Tem como principal rodovia de acesso a BR-365, que cruza o estado de Minas Gerais no sentido Leste - Oeste, interligando os estados do centro-oeste com os do nordeste do Brasil. A rodovia MG-154 faz a ligação de Ituiutaba (MG) com o estado de Goiás, enquanto a rodovia BR-464, não pavimentada na área de abrangência da pesquisa, liga Ituiutaba (MG) à cidade de Prata (MG), seccionando a bacia hidrográfica no baixo e alto curso. Ituiutaba (MG) é a cidade de maior expressão populacional e comercial no Pontal do Triângulo Mineiro e dista 137 quilômetros de Uberlândia (MG) (FIGURA 2).



FIGURA 2 – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço e vias de acesso.



## 4.2 Características físicas

As características climáticas da área estudada derivam da dinâmica das massas de ar que influenciam toda a região sudeste do Brasil. Dois períodos climáticos bem distintos: inverno seco e ameno e verão quente e úmido foram classificados por Köppen como clima Aw (megatérmico: tropical com verão chuvoso e inverno seco) (PRADO; SOUZA, 2010).

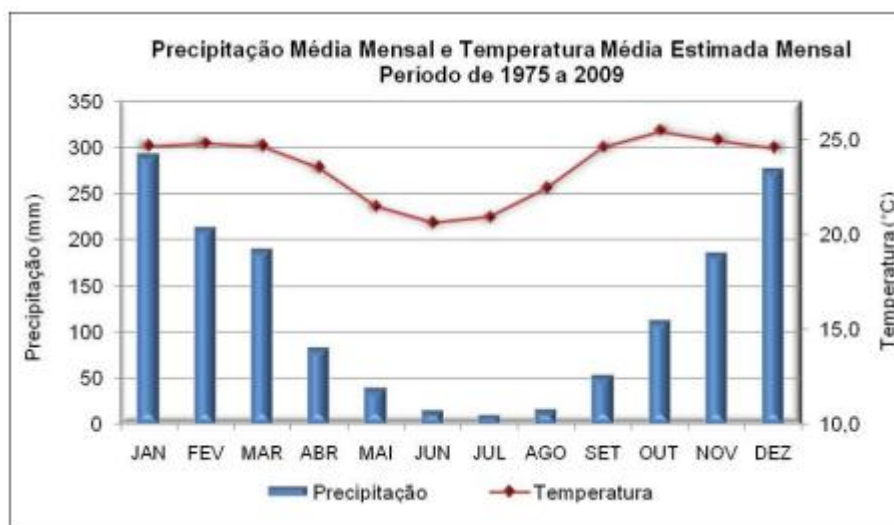
O período seco quando se verificam as menores temperaturas deve-se, essencialmente a duas massas de ar: tropical e polar atlântica que tendem a chegar à região com baixa umidade devido às barreiras orográficas na Serra do Mar e do encontro das duas frentes no litoral, precipitando naquela região. Ao avançar sobre o continente sua umidade se encontra bastante reduzida.

A época úmida ainda tem influência da Massa Tropical Atlântica com acréscimo da Massa Tropical Continental. Os altos índices de radiação solar aumenta a taxa de evaporação especialmente na região amazônica, condicionando vários eventos chuvosos não só nesta região, mas também em zonas onde ocorre o contato entre as duas massas.

Dados de chuvas de diversas estações climatológicas distribuídas em 14 municípios do Triângulo Mineiro foram analisados por Silva (2010). Nos últimos 34 anos, a média pluviométrica anual foi de 1.489 mm, com alternância de períodos secos e chuvosos bem demarcados durante o ano. O período das chuvas concentra-se nos meses de outubro a março (aproximadamente 1.300 mm), enquanto que, nos meses de abril a setembro ocorrem os menores índices pluviométricos, com média de 218 mm, que representa apenas 15% da chuva para o ano. A autora ainda afirma que a temperatura média estimada no Triângulo Mineiro é de 23,7°C, com amplitude térmica próxima de 5°C oscilando conforme a estação do ano, como pode ser verificada no GRÁFICO 1.

Dentre os mapeamentos pedológicos existentes para a região do Triângulo Mineiro, pode-se destacar o da EMBRAPA (1982) na escala 1:500.000 e EMBRAPA (2005), escala 1:1.250.000, do RADAM (1983), em escala 1:1.000.000 e da UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA et al. (2010), cuja escala é 1:650.000.

GRÁFICO 1 - Climograma do Triângulo Mineiro – MG.



Fonte: Silva, 2010.

De acordo com a EMBRAPA (2005), encontram-se na bacia hidrográfica em estudo cinco tipos de solos: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (PVAd); LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LVd); LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico (LVdf); NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Distrófico (RQd) e NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico (NVe).

Os solos LVd ocupam maior área de ocorrência e encontram-se distribuídos por toda extensão da bacia. Os solos PVAd estão localizados, principalmente, no interflúvio sul da bacia hidrográfica, e em pequena mancha longitudinal na margem direita do canal principal. Uma pequena área na foz do Ribeirão São Lourenço corresponde aos solos NVe. Solos do tipo LVdf ocupa as porções de baixo e médio curso na calha do ribeirão. Por fim, uma pequena mancha no extremo sul da área da bacia (relevos residuais da Formação Marília), encontram-se os solos do tipo RQd (EMBRAPA, 2005).

A maior parte da vegetação nativa que compunha a região de estudo foi substituída por pastagem, agricultura, edificações e outros usos em menor escala. Estudo realizado por Scolforo et al., (2006) intitulado “Mapeamento e Inventário da Flora Nativa e dos Reflorestamentos de Minas Gerais” caracteriza na área estudada três classes de vegetação remanescente, sendo elas: Floresta Estacional Semidecidual, Cerradão e Veredas.

Em fundos de vales, nas áreas hidricamente saturadas, encontram-se as veredas, as quais são representadas pelas gramíneas e buritis (*Mauritia vinífera*). As porções de Cerradão acham-se nos relevos medianamente dissecados em manchas

esparsas. Nos sopés dos relevos residuais encontram-se a Floresta Estacional Semidecidual (FIGURA 3).

FIGURA 3 – Formas do relevo e distribuição vegetacional.



Fonte: Allan-Silva (2014).

Na composição das formas de relevo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço verifica-se uma predominância de vertentes com suaves declividades e vales pouco profundos. Sobressaem na paisagem os relevos residuais com vertentes escarpadas, sustentadas por cimentação carbonática.

Rezende e Rosendo (2009) destacam que a expansão da área urbana de Ituiutaba (MG), entre os anos de 1987 a 2007 foi de quase 500 ha. Martins e Rosendo (2013) apresentam um panorama geral do uso e ocupação no município elencando sete classes de uso e ocupação (TABELA 1). É notável o predomínio de áreas destinadas à pastagem em relação àquelas utilizadas para o plantio ou então vegetação natural (FIGURA 4).

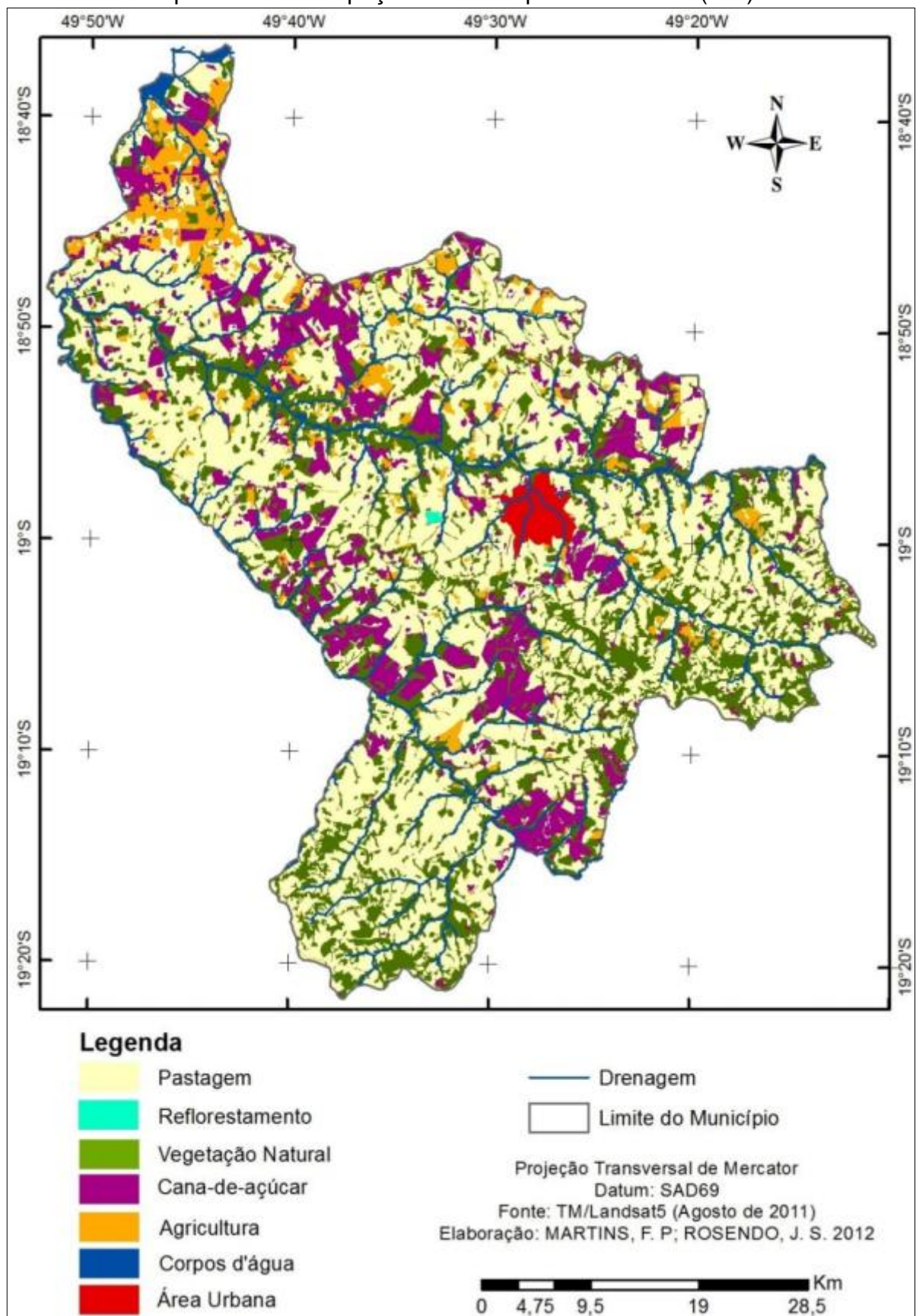
TABELA 1 - Uso da terra e cobertura vegetal, município de Ituiutaba (MG).

categorias	área (ha)	%
corpos d'água	2.688.846	1,04
vegetação natural	70.708.613	27,32
reflorestamento	172.099	0,07
agricultura	14.427.927	5,57
cana-de-açúcar	34.012.395	13,14
pastagem	134.075.059	51,8
área urbana	2.766.831	1,07
TOTAL	258.851.770	100

Fonte: Martins e Rosendo, 2013.



FIGURA 4 – Mapa de uso e ocupação do município de Ituiutaba (MG).



Fonte: Martins e Rosendo (2013)

#### 4.2.1 Geomorfologia

O mapeamento realizado pelo projeto RADAMBRASIL (1983) insere grande porção do Triângulo Mineiro na Folha 22-SE – Goiânia (volume 31). A unidade geomorfológica que compreende o Triângulo Mineiro é denominada de “Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná”, na sub-unidade “Planalto Setentrional da Bacia do Paraná”. Dos seus quatro compartimentos topomorfológicos, três estão presentes na região do Triângulo Mineiro, sendo eles: unidade das áreas elevadas; das áreas rebaixadas e dos relevos residuais.

O primeiro dos compartimentos caracteriza-se por ser mais elevado, com as cotas altimétricas variando entre 900 a 1.050 metros, possui formas tabulares com topos longos e aplanados em forma de chapada, outrora denominada de “chapada Uberlândia-Araguari”, drenada pelos rios Uberabinha e Tijuco (NISHIYAMA, 1998). Na passagem para outro compartimento, nota-se o desenvolvimento de ressaltos topográficos delimitados por escarpas com desníveis de até 150 metros (RADAMBRASIL, 1983).

O segundo compartimento representa os terrenos rebaixados que se estendem na direção do Pontal do Triângulo Mineiro, sobretudo em Monte Alegre de Minas (MG), com níveis altimétricos entre 350 e 650 metros. Conforme RADAMBRASIL (1983) são formas tabulares com vertentes amplas acrescidos de formas convexas em associação com o terceiro compartimento.

O terceiro compartimento foi caracterizado por RADAMBRASIL (1983) como relevos testemunhos com superfícies erosivas tabulares de topo aplanado, limitados por escarpas erosivas na ordem de menos de 150 metros de desnível, desenvolvidas em arenitos do Grupo Bauru (NISHIYAMA, 1998).

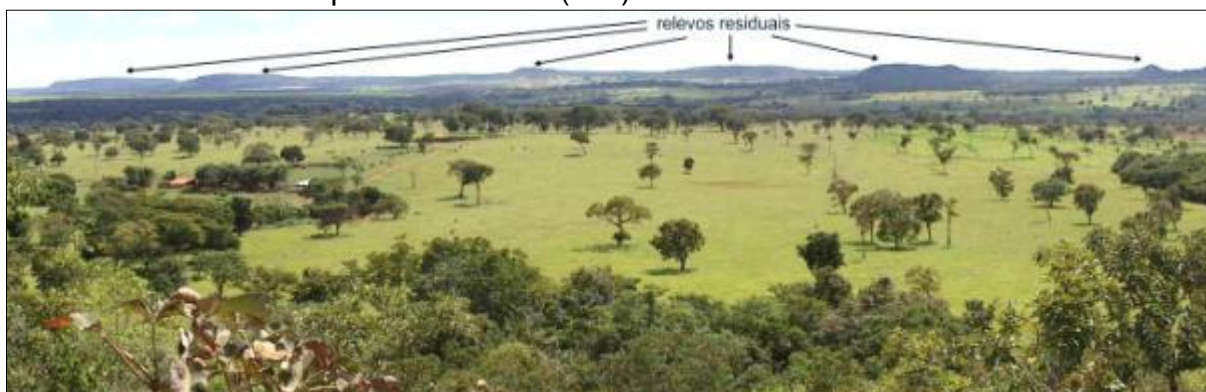
Com base na geologia, morfologia e dinâmica fluvial Baccaro (1990) descreveu quatro compartimentos no Triângulo Mineiro, sendo: área de relevo intensamente dissecado, medianamente dissecado, relevo residual e áreas elevadas de cimeira, conforme destacados na FIGURA 5.





expressivos anfiteatros. A litologia vinculada a este compartimento é da Formação Marília, cuja sustentação das escarpas se dá pela intensa cimentação dada pelo  $\text{CaCO}_3$  e/ou pela sílica (BACCARO, 1990).

FIGURA 6 – Área de relevo medianamente dissecado e relevos residuais (ao fundo) no município de Ituiutaba (MG).



Fonte: Allan-Silva (2014).

O compartimento das áreas elevadas de cimeira encontram-se nas cotas altimétricas de 950 a 1.050 metros. Compreendem as áreas de topos planos e amplos, e com baixo gradiente de declividade, entre  $3^\circ$  e  $5^\circ$ . Este compartimento apresenta baixa densidade de drenagem. Ocorre sobre a Formação Marília e materiais de cobertura cenozóicos (BACCARO, 1990).

#### 4.2.2 Geologia regional

Para Sena (1921 apud BATEZELLI, 2003) os estudos geológicos pioneiros na região do Triângulo Mineiro tiveram início no século XVIII, com Saint'Hilaire, que notou os depósitos superficiais de sais alcalinos e águas minerais em Araxá.

Barbosa (1970 apud NISHIYAMA, 1998) destaca o trabalho de reconhecimento litológico e descrição geomorfológica realizado por Derby (1886), na bacia do rio Grande. Também avulta o estudo de Hussak (1894), no município de Catalão-Goiás, sobre as intrusões alcalinas.



Mais adiante, no século XX, diversos estudos foram realizados, especialmente geológicos econômicos, os quais priorizaram as reservas minerais dos complexos alcalinos e/ou a ocorrência de rochas quimberlíticas (NISHIYAMA, 1998; BATEZELLI, 2003).

Estudos geológicos abrangendo a região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba com foco em ocorrências minerais (apatita, pirocloro, diamantes e outras) foi apresentado por Barbosa em 1965, o que motivou pesquisas mais aprofundadas pelo DNPM, sobretudo nas “chaminés alcalinas” (BATEZELLI, 2003).

Além dos estudos de Barbosa et al. (1970) voltados para a caracterização do arcabouço geológico da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, Nishiyama (1998) destaca outros trabalhos menos abrangentes, porém muito importantes: Hasui (1968 e 1969); Almeida et al. (1980); Barcelos e Suguio (1980); Barcelos et al. (1981); Barcelos (1984) e Barcelos et al. (1987).

No Triângulo Mineiro as rochas sedimentares e os magmatitos básicos da Bacia Sedimentar do Paraná sobrepõem-se às unidades mais antigas compostas pelas rochas metassedimentares do Grupo Araxá e Canastra. Estas, por sua vez, tiveram como embasamento deposicional as rochas arqueanas do Complexo Basal Goiano (RADAM, 1983).

As rochas que compõem o embasamento regional foram descritas por Barbosa e outros (1970), as quais integram o “Complexo Granito-Gnaíssico”. São representadas por gnaisses, granodioritos e tonalitos com intercalações de anfibolito. Esta unidade também recebeu outras denominações como “Pré-Cambriano Indiferenciado” (DNPM, 1975) e “Complexo Basal Goiano” (RADAM, 1983).

O afloramento das rochas arqueanas ocorre essencialmente em áreas de profunda dissecação realizadas pelos cursos d’água, a exemplo da situação verificada no vale do rio Paranaíba, próximo a Itumbiara, e do rio Araguari, nas proximidades de Uberlândia (MG) (NISHIYAMA, 1998).

Representado por metamorfitos de fácies epidoto-anfibolito composto de micaxistos e quartzitos, intercalados por anfibolitos, o Grupo Araxá foi nomeado por Barbosa (1955) em estudos realizados na cidade homônima (BARBOSA et al., 1970). Conforme Nishiyama (1998), no Triângulo Mineiro, a unidade encontra-se

recoberta pelos magmatitos básicos e litologias sedimentares da Bacia do Paraná, também notada em áreas de entalhe fluvial dos rios Paranaíba e Araguari.

O Grupo Canastra foi descrito por Barbosa (1955), cuja litologia é essencialmente composta por quartzitos e filitos com presença pontual de granadas. É comum a sobreposição de xistos aos quartzitos (BARBOSA et al., 1970). Esta unidade não ocorre no Triângulo Mineiro (NISHIYAMA, 1998).

O Grupo São Bento está presente na literatura geológica brasileira desde 1908. Compreende as rochas oriundas do derrame de lavas básicas (Formação Serra Geral) e arenitos eólicos da Formação Botucatu.

A formação Botucatu marca o início das deposições na região do Triângulo. Caracterizada por arenitos eólicos cuja espessura em áreas de afloramentos não ultrapassa 80 metros. Assenta-se sobre as rochas metassedimentares do grupo Araxá e Canastra, e sotopostos aos basaltos da Formação Serra Geral. No sentido leste-oeste, tende ao aumento de sua espessura. No município de Araguari a espessura máxima verificada não ultrapassa os 20 metros, e se encontra recoberta pelas formações Serra Geral, Adamantina e Marília (NISHIYAMA, 1998).

#### 4.2.2.1 Grupo São Bento – Formação Serra Geral

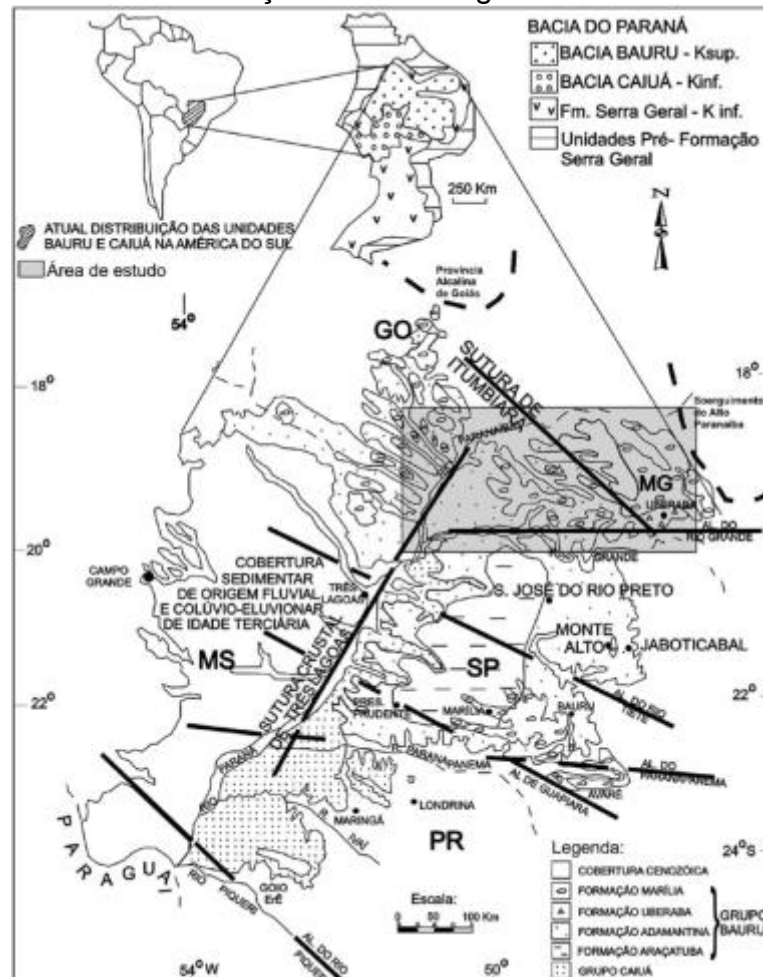
A Formação Serra Geral é uma unidade de caráter predominantemente vulcânico, representada por sucessão de derrames de lavas básicas que atingiram praticamente toda a Bacia do Paraná entre o Neojurássico e Eocretáceo. Este magmatismo rompeu o ciclo deposicional terrígeno, e cobriu grande extensão da Bacia do Paraná, chegando a 1.700 metros de espessura (OLIVEIRA, 2013).

Dada a sua posição estratigráfica subjacente às litologias do Grupo Bauru (formações Uberaba, Adamantina e Marília) e/ou sedimentos Cenozóicos, os basaltos desta unidade expõem-se nos vales dos principais rios que drenam a região, a exemplo dos rios Grande, Paranaíba e Araguari (NISHIYAMA, 1998).

#### 4.2.2.2 Bacia Bauru

Na porção centro-norte da Bacia do Paraná, após sucessivos processos tectônicos de abatimento, quando na separação entre Brasil e África, desenvolveu-se a Bacia Bauru (BATEZELLI, 2003). Acumulou-se uma sequência sedimentar suprabasáltica, essencialmente arenosa em área de 370.000 km<sup>2</sup>. Estes depósitos são representados pelos Grupos Bauru e Caiuá (FIGURA 7), sendo que, este último não se acha presente na região do Triângulo Mineiro, depositado essencialmente no noroeste do Paraná e Estado de São Paulo (FERNANDES; COIMBRA, 2000).

FIGURA 7 - Bacia Bauru: localização e litoestratigrafia.



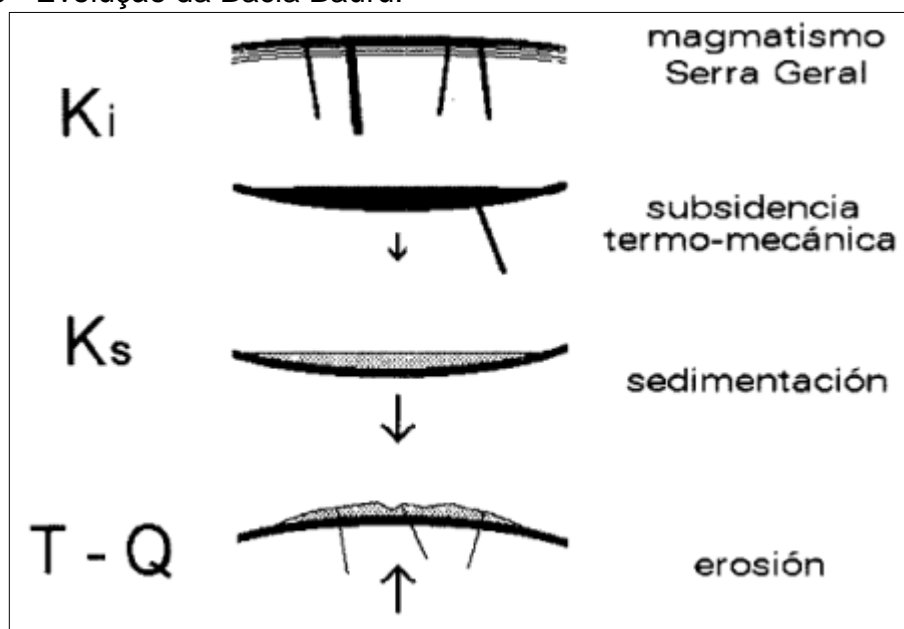
Fonte: Fernandes e Coimbra (2000), modificado por Batezelli et al. (2003).

Soares et al. (1980) cita autores que trabalharam na busca sistematização e caracterização do Grupo Bauru no Triângulo Mineiro. Aos que deram *status* de Formação (MILWARD, 1935; HASUI, 1969; BARBOSA et al., 1970; SUGUIO, 1973;

COIMBRA, 1976; SOARES; LANDIM 1976). Caracterizando como Grupo (HASUI, 1976; BARCELOS et al., 1981; RADAM BRASIL, 1983; SOUZA JÚNIOR, 1984), e como Série (FREYBERG, 1931).

Estruturalmente, a deposição do Grupo Bauru ocorreu em razão da subsidência regional gerada pelos espessos derrames vulcânicos (cerca de 2.000 metros de espessura (FERNANDES; COIMBRA, 2000)) da Formação Serra Geral e sequencialmente, reativação dos planos de falha no Cretáceo, que gerou zonas deprecionais regionais, propícias à deposição de sedimentos, observado na FIGURA 8 (OLIVEIRA, 2013).

FIGURA 8 - Evolução da Bacia Bauru.

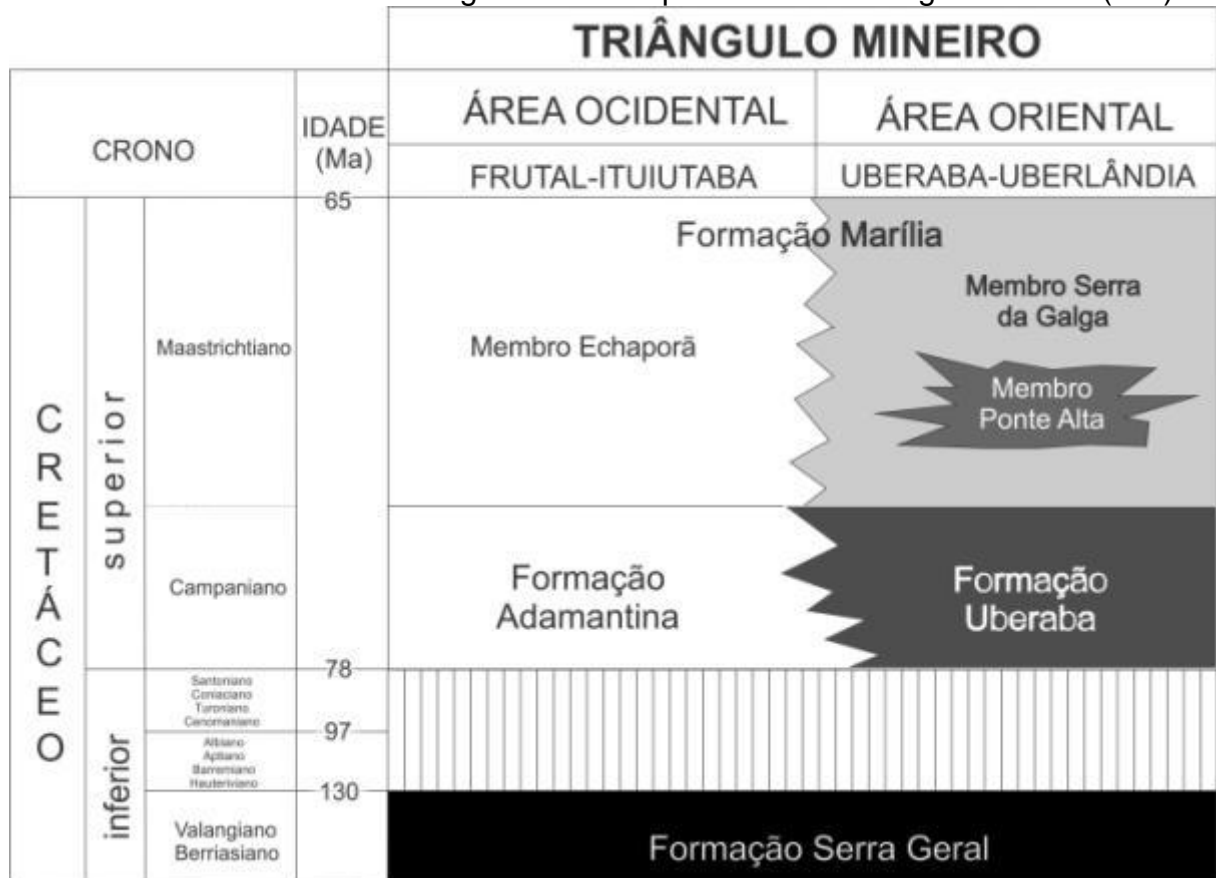


Fonte: Fernandes e Coimbra (1996).

O Grupo Bauru, presente no Triângulo Mineiro, é composto pelas Formações Adamantina, Uberaba e Marília, representado na FIGURA 9. Sua deposição ocorreu sob condições climáticas semi-áridas a áridas (BARCELOS, 1984). Nesta área, em sua maioria, as rochas deste Grupo encontram-se recobertas pelos sedimentos do Cenozóico (NISHIYAMA, 1989).

Sob o aspecto paleoclimático, a Formação Adamantina e Uberaba teve sua deposição sob clima quente e úmido e de origem flúvio-lacustre (SUGUIO; BARCELOS, 1983), ao passo que a Formação Marília depositou-se em forma de leques aluviais, sob clima semi-árido.

FIGURA 9 - Coluna cronoestratigráfica do Grupo Bauru no Triângulo Mineiro (MG).



Fonte: Modificado de Batezelli (2003).

Sabe-se que na bibliografia geológica brasileira a Formação Adamantina foi redefinida por Fernandes (1998), em quase toda sua extensão, para Formação Vale do Rio do Peixe.

### Formação Uberaba

Para Barbosa et al. (1970) a fácies Uberaba caracteriza-se pelos arenitos essencialmente tufáceos associados a conglomerados. Próximo à cidade de Romaria, Suguio et al. (1979) identificaram conglomerados basais com matriz argilosa e areno-argilosa, de cor avermelhada com presença de diamantes. Conglomerados estéreis de diamantes apresentam-se sobrepostos aos conglomerados basais. Sobrejacentes a estes conglomerados, acham-se presentes arenitos esverdeados cineríticos que demonstram a contribuição vulcanoclástica.

A Formação Uberaba apresenta-se dispersa no Triângulo Mineiro. Situa-se em contato com os basaltos da Formação Serra Geral, nas proximidades de Uberaba, e assenta-se sobre os arenitos da Formação Botucatu. Próximo à cidade de Coromandel encontra-se em contato direto com os xistos do Grupo Araxá (NISHIYAMA, 1998).

### Formação Adamantina

O mapeamento produzido pelo Projeto RADAM BRASIL (1983) apresenta uma expressiva área de abrangência da Formação no Triângulo Mineiro, especialmente a oeste do Rio Araguari. Está localmente capeada pelas litologias da Formação Marília e nos entalhes dos vales a Formação Adamantina aflora quando não dá lugar aos basaltos sotopostos.

Soares et al. (1980) foi o responsável por definir a Formação Adamantina, cujas principais características litológicas são

[...] a presença de bancos de arenitos de granulação de fina a muito fina, cor de róseo a castanho, portando estratificação cruzada, com espessuras variando entre 2 a 20 m, alternados com bancos de lamitos, siltitos e arenitos lamíticos, de cor castanho-avermelhado a cinza-castanho, maciços ou com acamamento plano-paralelo grosseiro [...]” (SOARES et al., 1980, p.180).

### Formação Marília

Deve-se a Barcelos et al. (1981) a proposta da Formação Marília, como litologia sobrejacente à Formação Uberaba, no Triângulo Mineiro.

A Formação Marília teve sua deposição sob clima semi-árido a árido. A presença e acumulação dos calcários e consequente formação dos calcretes se deu sob condição de grande evaporação, Comum em solos de regiões de clima árido (BATEZELLI et al., 2005).

Porções significativas da Formação Marília são observadas entre Uberaba e Uberlândia, ou então, no Pontal do Triângulo Mineiro, especialmente no divisor de águas das bacias do rio Grande e Paranaíba, onde ocorre sob a forma de corpos residuais.

Barcelos (1984) propõe a subdivisão da Formação em fácies Ponte Alta e fácies Serra da Galga. A primeira refere-se aos bancos de calcário característicos dos calcretes, arenitos e conglomerados. A segunda inclui os arenitos imaturos e conglomerados superpostos ao Membro Ponte Alta.

Deve-se a Fernandes e Coimbra (2000) a designação da Formação Marília em três Membros: Ponte Alta, Serra da Galga e Echaporã.

#### *Membro Ponte Alta*

Segundo Barbosa et al. (1970) esta nomenclatura deveu-se à melhor exposição da seção tipo deste Membro se dar na pedreira Ponte Alta. Expõem-se descontinuamente numa faixa de direção norte-oeste, a nordeste da cidade de Uberaba cruzando a BR-050. O Membro é formado por calcários impuros, com três litologias básicas: calcário arenoso de aspecto maciço, calcário conglomerático de matriz arenosa (casco de burro) e, calcário fino fragmentado, tendo como característica marcante a cimentação por carbonato de cálcio (FERNANDES; COIMBRA, 2000).

#### *Membro Serra da Galga*

Para Fernandes e Coimbra (2000) o Membro Serra da Galga se faz presente na porção nordeste do Triângulo Mineiro. Ocorre em sua formação estratos lenticulares de arenitos e arenitos conglomeráticos. Apresenta estratificação cruzada tabular a acanalada, de pequena a médio porte. Ainda podem ocorrer intercalações de menor

expressão de lentes de conglomerados e lamitos. O contato com o Membro Ponte Alta ocorre interdigitado, complexo e irregular.

### *Membro Echaporã*

Segundo Batezelli (2003, p.41) os afloramentos de arenitos finos a grossos intercalados por conglomerados, ora de ciclos granodecrescentes, ora granocrescentes, no Triângulo Mineiro referem-se ao Membro Echaporã.

Fernandes e Coimbra (2000) destacam uma sessão representativa deste membro na cidade de Campina Verde (MG). São constituídos, nas zonas marginais por arenitos finos a médios, imaturos e com frações grossas e grânulos. Ocorrem estratos maciços com nódulos, de cor bege a rosa (pálido), raramente apresentando estratificação cruzada de médio porte.

### *Sedimentos cenozóicos*

Esta cobertura apresenta-se bastante delgada no Triângulo Mineiro, embora amplamente distribuída. De acordo com Nishiyama (1998) caracteriza-se por depósitos aluviais e coluviais, cascalheiras, sedimentos de lagoas de chapadões, cangas limoníticas.

#### 4.2.2.3 Geologia na área da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço

Na BHRSL está presente, da base para o topo, os basaltos da Formação Serra Geral (Grupo São Bento), os arenitos da Formação Adamantina e os arenitos e



conglomerados com cimentação carbonática da Formação Marília, ambas pertencentes ao Grupo Bauru. Os basaltos afloram nas porções mais entalhadas do ribeirão em cotas altimétricas inferiores a 550 metros.

Assentados diretamente sobre as rochas basálticas, a Formação Adamantina, caracteriza-se por apresentar arenitos finos a grossos e coloração variando em matizes de marrom, marrom-avermelhada, marrom-arroxeadada e avermelhada, matriz siltico-argilosa e ostentando estratificação incipiente (NISHIYAMA, 1989).

Nas porções topograficamente mais elevadas da bacia hidrográfica, acham-se presentes os arenitos grossos, conglomeráticos e conglomerados cimentados por calcita, pertencentes à Formação Marília. Estas litologias compõem o pacote superior do Grupo Bauru.

Nos relevos residuais, interflúvio da bacia hidrográfica, observaram-se rochas calcárias da Formação Marília. Com base na sua ocorrência foi possível caracterizar o membro presente na área de estudo como Ponte Alta, conforme a descrição da seção tipo da unidade realizada por BARCELOS (1984) e BARCELOS et al. (1981) na região homônima.

As feições geomórficas presentes na área de estudo com topos planos e escarpas abruptas são típicas em litologias carbonáticas da Formação Marília, condicionadas pela cimentação carbonática mais intensa dos arenitos e conglomerados, além da presença de lentes de calcário.

## 5 METODOLOGIA

Para a execução da pesquisa, utilizou-se de várias fontes de informações, além de atividades em campo com coletas e análises em laboratório, para obtenção de dados. Além disso, ferramentas computacionais foram úteis para a elaboração dos mapas, principalmente, para realizar a sobreposição controlada, gerando novas informações. Neste capítulo são abordados todos os materiais utilizados e o sequencial adotado na realização do estudo.

### 5.1 Materiais utilizados

Compreendendo não somente a bacia hidrográfica, mas também a região onde ela se insere, utilizou-se trabalhos acadêmicos, fotografias aéreas, cartas topográficas, mapas, imagens de satélite e de radar.

Como principal fonte para a composição da base cartográfica utilizaram-se as cartas topográficas. São duas as que abrangem a área de estudo: Serra de São Lourenço (1970) e Ituiutaba (1973), ambas na escala 1:100.000, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Também são em número de duas as imagens de radar que abrangem a bacia hidrográfica, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), cujas referências são: 18S495 e 19S495. Trata-se de imagens originárias do projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) (MIRANDA, 2005) para obtenção de Modelo Digital de Elevação (MDE), cuja resolução inicial é de 90 metros. Após correção de falhas e refinamento executados no projeto Topodata/INPE, as imagens passaram a apresentar resolução de 30 metros.

Associadas às cartas topográficas, estas imagens foram utilizadas para a elaboração do mapa de declividade e hipsométrico, os quais auxiliaram para a interpretação e execução do mapa de substrato rochoso e materiais inconsolidados dentre outras análises. Nas imagens SRTM cada pixel possui um valor de Z (altura). O processamento destas imagens em SIG possibilita gerar curvas de nível

e criar um TIN (*Triangulated Irregular Network*) que é um modelo digital de triangulação em que os vértices dos triângulos são os pontos cotados. Este modelo é essencial para análises do relevo.

As imagens orbitais e as fotografias aéreas foram os principais instrumentos para aquisição de informações sobre o meio físico durante todo o trabalho. Pela técnica de fotointerpretação em tela digital, utilizou-se um mosaico de vinte fotografias aéreas, na escala 1:8.000 (Prefeitura Municipal de Ituiutaba), e outra composição com quatro imagens orbitais do Satélite RapidEye (2011), com resolução de 5 metros.

Na coleta de amostras deformadas de materiais inconsolidados utilizou-se trado tipo caneco com duas polegadas de diâmetro e haste de 1,5m (FIGURA 10), enxada de jardim e sacos plásticos para acondicionamento.

FIGURA 10 – Trado tipo caneco e cabo.



Fonte: Solotest (2013).

As amostras indeformadas foram obtidas com o uso de anéis cilíndricos com uma das extremidades biselada, de dois tamanhos: o menor, confeccionado em PVC rígido com as dimensões 43mm x 20mm, e o maior, de aço com dimensões 75mm x 48mm (FIGURA 11). Também foram utilizadas facas para moldagem das amostras e filme em PVC para sua preservação.

Nos ensaios de infiltração *in situ* empregou-se o equipamento permeâmetro *Guelph* (FIGURA 12). Este dispositivo foi desenvolvido por Reynolds, Elrick e Topp (1983) e mede a condutividade hidráulica em campo a carga constante (MACHADO; CARVALHO; MATTA, 2004; AGUIAR, 2001).

FIGURA 11 – Anéis cilíndricos utilizados na coleta de amostras indeformadas.

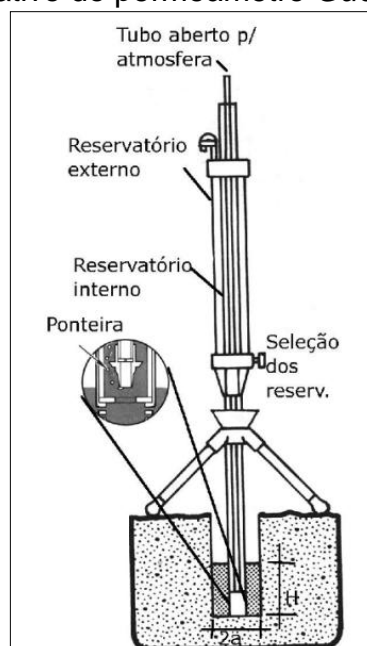


Fonte: Allan-Silva (2013).

O permeâmetro é composto de uma garrafa de Mariotte que:

[...] é responsável por manter a pressão ao nível da ponteira sempre igual à pressão atmosférica, regulando o valor de  $H$ . A taxa de infiltração de água no solo,  $Q$ , é obtida a partir da taxa de variação do nível de água no reservatório interno (utilizado para o caso de solos finos) ou no reservatório externo (solos grossos). O valor do diâmetro do furo, assim como a regularidade da geometria, são condicionados pelas ferramentas de escavação. A duração dos ensaios varia normalmente entre  $\frac{1}{2}$  e 2 horas (MACHADO; CARVALHO; MATTA, 2004, p. 2).

FIGURA 12 - Esquema ilustrativo do permeâmetro *Guelph*.



Fonte: Machado, Carvalho e Matta (2004).

## 5.2 Procedimentos Metodológicos e Técnicos

Adotou-se o seguinte sequencial de atividades com o intuito de caracterizar a área de estudo, com base em ensaios relacionando-os com as condições de infiltração e ocorrência de erosões na área de estudo:

- a. Levantamento bibliográfico sobre os temas envolvidos na pesquisa;
- b. elaboração da base cartográfica compreendendo a rede de drenagem e a área limite da bacia hidrográfica, com base nas cartas topográficas, fotografias aéreas e imagens orbitais;
- c. delimitação prévia das unidades do substrato rochoso e dos materiais inconsolidados, pela técnica de fotointerpretação em tela a partir das imagens de satélite de alta resolução, fotografias aéreas;
- d. trabalhos de campo;
- e. elaboração dos demais mapas de 1º nível, que são mapa de registros de feições erosivas e espessuras dos materiais inconsolidados, por fotointerpretação (imagens de satélite e fotografias aéreas) e trabalhos de campo; mapa de uso e ocupação do solo, por meio de consulta bibliográfica (ALLAN-SILVA, 2011; NASCIMENTO; ALLAN-SILVA, 2012), fotointerpretação e vetorização manual de imagens de satélite; e mapa de declividade com o uso de imagens de radar. Para representar os valores de declividade, foram adotadas as seguintes classes: 0 a 2%; 2 a 5%; 5 a 10%; 10 a 20% e maior que 20%, propostas por Zuquette (1984);
- f. definição dos pontos e coleta das amostras deformadas e indeformadas, mediante a análise do Mapa dos Materiais Inconsolidados;
- g. realização dos ensaios em laboratório com amostras deformadas: granulometria conjunta e estabilidade de agregados;
- h. ensaios das amostras indeformadas para determinação dos índices físicos do solo (teor de umidade, massa específica natural, massa específica seca, índice de vazios e porosidade) e erodibilidade;

Os ensaios em laboratório como o de massa específica dos sólidos estão normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1984) NBR 6508/84.

A análise granulométrica (dispersão total) foi efetuada com base no Manual de Métodos de Análise de Solo (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1997). Este ensaio baseia-se na velocidade de queda das partículas do solo. Um volume em suspensão é pipetado e em seguida, vai para a estufa, onde é determinada a argila seca. As frações grossas (areia fina e grossa) são separadas por tamisação e o silte corresponde ao complemento aos 100% do corpo de prova.

Baseou-se em Zuquette (1987) e Nogueira (2005) o ensaio dos índices físicos do solo: teor de umidade, massa específica natural, massa específica seca, índice de vazios e porosidade.

Pejon (1992) e Nishiyama (1998) constituem o referencial adotado para o ensaio de erodibilidade. Este ensaio baseia-se em duas etapas: absorção de água pelo corpo de prova e perda de massa por imersão.

O ensaio de estabilidade de agregados, em sua execução, foi realizado com base em Camargo e outros (1986), e Demarchi, Perusi e Piroli (2011) foi consultado como base para os cálculos.

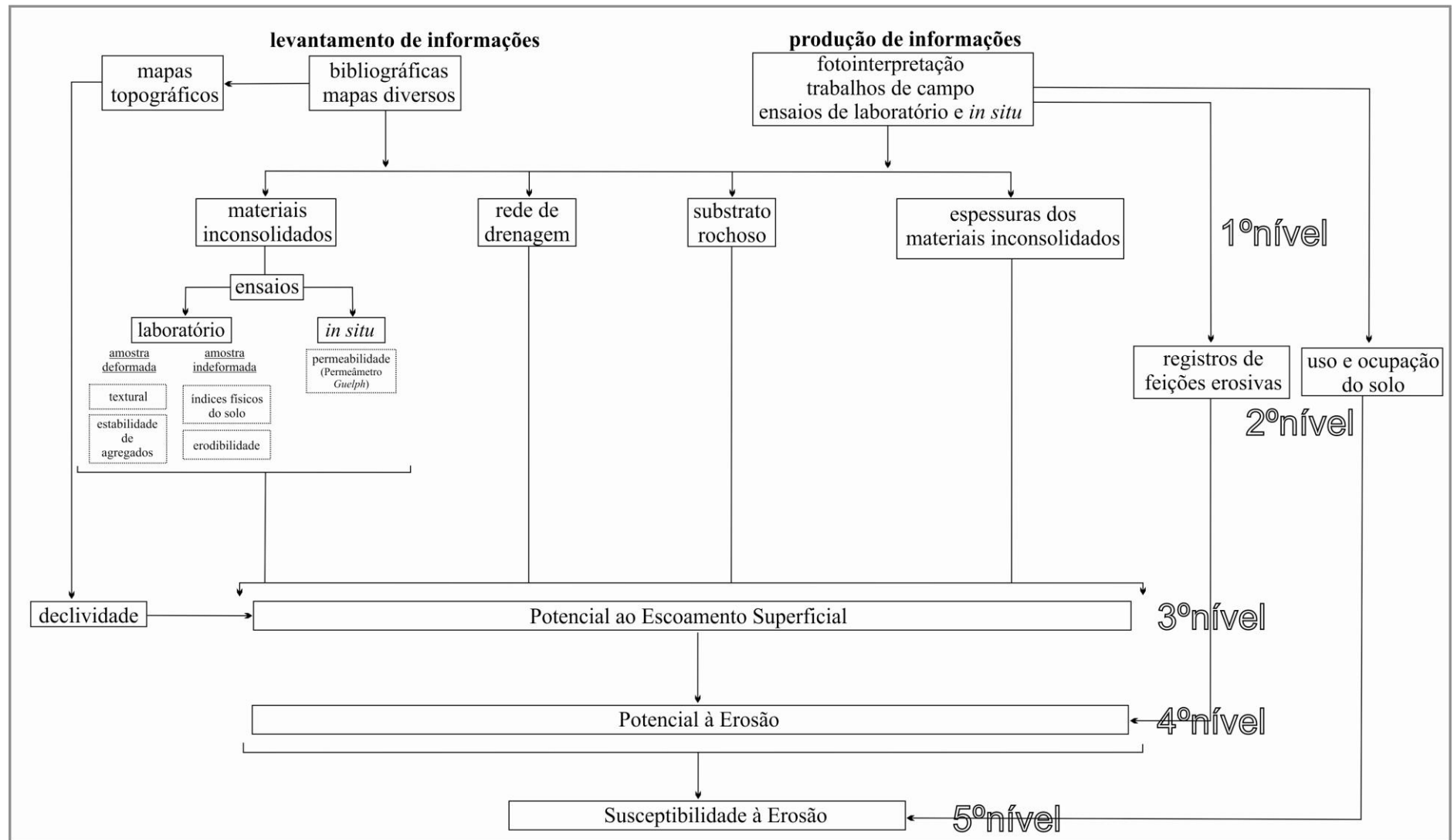
- i. nova fase de trabalhos de campo para realização do teste de permeabilidade *in situ* com o Permeâmetro *Guelph*);
- j. primeira fase de sobreposição dos mapas no SIG (Sistema de Informação Geográfica) ArcMap 9.3<sup>1</sup>, com o uso da ferramenta (*Weighted Overlay*). Procedimento realizado de dois a dois temas. Metodologia adotada para análise e interpretação dos resultados e geração de mapas derivados;
- k. segunda fase de sobreposição: geração mapas de 2º nível através da síntese do mapa resultante do processo anterior (fase i), com o mapa de processos geodinâmicos atuais (cartas analíticas básicas), e os mapas retificados após as análises de laboratório e campo;
- l. sobreposição final: geração dos mapas de 3º nível, oriundos do resultado (fase j) e mapa de uso e ocupação do solo.

A pesquisa realizada na BHRS L segue a metodologia de Zuquette (1987), cuja organização das atividades encontra-se esquematizada pelo fluxograma na FIGURA 13.

<sup>1</sup> Software licenciado ao Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia.

<sup>2</sup> Fotografias na escala 1:8.000, de novembro de 2005, cedidas pela Prefeitura Municipal de Ituiutaba (MG).

FIGURA 13 – Fluxograma dos níveis cartográficos para se chegar ao mapeamento de susceptibilidade à erosão.



### **5.3 Levantamento e produção de informações**

Num primeiro momento buscou-se levantar todas as informações já produzidas na área de estudo e na região onde ela se insere, especialmente sobre as características do meio físico.

Sequencialmente, realizou-se o primeiro mapeamento com base na interpretação de fotografias aéreas, imagens de satélite e trabalhos de campo para a obtenção de atributos indispensáveis para a consecução do mapeamento. Dentre os atributos destacam-se: substrato rochoso (afloramentos); materiais inconsolidados (tipo, natureza) e processos erosivos evidentes.

### **5.4 Elaboração dos mapas de primeiro nível**

Adotou-se uma nomenclatura para sistematizar a sequência de elaboração dos mapas deste estudo. Desta maneira, o nível dos mapas se eleva concomitante ao número de informações que são inseridas e, conseqüentemente, à complexidade de cada mapa.

Considerados por Zuquette (1987) como “mapas fundamentais básicos”, estes documentos cartográficos representam toponímias e demais atributos do meio físico. Podem ser úteis para diversos tipos de estudos, ou então, com fins a especializar determinadas informações geográficas. São os mapas-base para a produção daqueles seguintes, ou seja, de segundo, terceiro, quarto e quinto nível.

Estes mapas foram obtidos a partir de levantamentos de informações anteriormente produzidas (essencialmente trabalhos acadêmicos), concomitante a processos de fotointerpretação de imagens de satélite, fotografias aéreas e cartas topográficas, trabalhos de campo, procedimentos operacionais em ambiente SIG, e interpretação das informações obtidas a partir dos ensaios (laboratório e *in situ*).

Neste grupo de mapas inserem-se: Mapa dos Materiais Inconsolidados, Mapa da Rede de Drenagem, Mapa do Substrato Rochoso, Mapa da Espessura dos Materiais Inconsolidados e Mapa de Declividade.



Nesta mesma etapa foi elaborado o Mapa de Documentação que apresenta os pontos de visita, onde foram realizadas observações, amostragens e ensaios de infiltração *in situ*.

#### *5.4.1 Procedimentos para definição das unidades do Substrato Rochoso*

Os mapas geológicos produzidos no Brasil são na sua grande maioria, em escalas não compatíveis com estudos de detalhe e semi-detalhe, exceto mapeamentos pontuais em grandes cidades, regiões produtoras minerais, ou então, trabalhos no meio acadêmico. Geralmente os mapas trazem informações generalizadas, dificultando obtenção de dados para análises do meio físico em estudos ambientais, sobretudo em bacias hidrográficas.

Nishiyama (1998) cita trabalhos de mapeamento geológico existentes na região do Triângulo Mineiro, cuja escala variaram de 1:250.000 (BARBOSA et al., 1970) a 1:1.000.000 (DNPM, 1975; RADAM, 1983).

Para caracterização do meio físico da bacia hidrográfica em estudo, foram produzidos dois tipos de mapas geológicos: um relativo aos materiais do substrato rochoso e outro aos materiais inconsolidados, nomeados de Mapa do Substrato Rochoso e Mapa dos Materiais Inconsolidados, respectivamente.

A diferenciação entre os litotipos do substrato rochoso e o material inconsolidado, derivado da alteração dos materiais rochosos, baseou-se na metodologia empregada por Nishiyama (1998). Como o autor, utilizaram-se testes de resistência mecânica ao impacto do martelo geológico e análises tácteis visuais (coloração e outros aspectos observáveis), correlacionando com descrições em estudos regionais anteriores. Critérios como: a posição estratigráfica, a configuração do relevo e a distribuição litológica foram importantes no mapeamento do substrato rochoso e materiais inconsolidados.

#### 5.4.2 Procedimentos para definição das unidades de Materiais Inconsolidados

A delimitação dos materiais inconsolidados se torna difícil por não apresentar, na maioria das vezes, feições visíveis no campo. Na bacia hidrográfica estudada, foi possível estabelecer a natureza do material inconsolidado, seja ele residual ou transportado, nos pontos onde ocorre exposição em taludes de corte e de voçorocas.

Dentre as feições que permite diferenciar materiais residuais de transportados pode-se citar: linhas de seixos (presença ou ausência) na camada inconsolidada; mudança textural, de cor e forma das partículas; perfis de alteração; relações texturais com o substrato rochoso, materiais inconsolidados e composição mineralógica.

Devido às dificuldades em diferenciar os materiais inconsolidados, empregou-se a técnica já utilizada por Nishiyama (1998), a qual baseia-se na identificação de formas e sua evolução, relacionando-a com os materiais constituintes.

##### 5.4.2.1 Amostragem, ensaios *in situ* e laboratório

As amostragens e os ensaios (de laboratório e *in situ*) foram desenvolvidos conforme as unidades de materiais inconsolidados previamente identificadas e mapeadas. Isto se deve ao fato de buscar propriedades comuns aos tipos de materiais inconsolidados da área de estudo.

Fez-se uso das ideias de Zuquette (1987) a etapa de visitas e amostragem em campo. Segundo o autor, para áreas mapeadas na escala de 1:100.000, deve-se analisar pelo menos um ponto a cada 10 km<sup>2</sup>. Em casos que ocorra uma definição e divisão preliminar dos materiais inconsolidados este número pode ser reduzido. Neste sentido, adotaram trinta pontos de amostragem, de acordo com as características e singularidades dos materiais inconsolidados.

As amostras foram coletadas de duas maneiras: deformadas e indeformadas.

As amostras deformadas foram obtidas em taludes naturais promovidos por erosões, em cortes de estradas, ou então, com perfurações pouco profundas (0,5 metros) utilizando um trado do tipo caneco ou enxadão (FIGURA 14). Para este tipo de amostragem, o material coletado foi utilizado para os ensaios de granulometria conjunta e estabilidade de agregados.

FIGURA 14 – Coleta de amostra deformada com uso do trado tipo caneco.



Fonte: Allan-Silva (2013).

As amostras indeformadas foram coletadas com auxílio de cilindros de dois tamanhos, pequeno de PVC e grande de aço. As amostras do cilindro menor foram utilizadas no ensaio de erodibilidade (absorção de água e perda de peso por imersão). Já as amostras coletadas no cilindro maior foram utilizadas para a determinação dos índices físicos (massa específica dos sólidos, massa específica seca de campo e índice de vazios natural).

No ato da coleta, com ajuda de facas, cuidadosamente moldaram-se as amostras aos cilindros, de forma a preenchê-los por completo e atentando para não ocorrer nenhuma alteração/deformação na estrutura natural do material coletado (FIGURAS 15 e 16).

Após a amostra de material inconsolidado estar posicionada no interior do cilindro, corta-se a base do corpo de prova e, posteriormente, nivela-se a base e o topo ao cilindro. Para o transporte do corpo de prova faz-se o acondicionamento em caixa com serragem para que não haja nenhum tipo de impacto.

FIGURA 15 – Coleta de amostra indeformada em cilindro volumétrico grande para determinação de índices físicos dos solo.



Fonte: Allan-Silva (2013).

FIGURA 16 – Coleta de amostra indeformada em cilindro volumétrico para ensaio de erodibilidade e perda de peso por imersão



Fonte: Allan-Silva (2013).

Deve-se destacar que alguns fatores podem influenciar negativamente na qualidade da amostragem, especialmente em taludes de corte e erosões tipo voçoroca. Pode ocorrer movimentação de materiais soltos da parte superior para as cotas inferiores. A superfície exposta está sujeita a alterações químicas e texturais por ação dos raios solares, das chuvas, dos animais, dentre outros. Pode ocorrer influência das raízes, especialmente nas porções superiores, desta maneira, é importante fazer uma escolha cuidadosa do local de amostragem, onde as interferências externas sejam as mínimas possíveis.

Os ensaios de infiltração em campo (*in situ*) procuraram determinar o coeficiente de permeabilidade ou condutividade hidráulica nas diferentes unidades de materiais inconsolidados, possível com o uso do permeâmetro *Guelph*.

#### 5.4.2.2 Análise textural e índices físicos do solo

A caracterização dos materiais inconsolidados quanto à sua textura foi realizada com base no Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1997), pelo método da pipeta.

Complementam a caracterização das unidades de materiais inconsolidados, os índices físicos, denominados por Zuquette (1987) como método do anel: teor de umidade, massa específica natural ( $\gamma_n$ ), massa específica seca de campo ( $\gamma_{d\text{campo}}$ ), índice de vazios (**e**) e porosidade (**n**). Os cálculos basearam-se nas seguintes fórmulas:

$$e = \left( \frac{\gamma_n}{\gamma_{d\text{campo}}} - 1 \right) \quad n = e / 1 + e$$

onde:

$\gamma_n$  = massa específica seca de campo (g/cm<sup>3</sup>)

$\gamma_{d\text{campo}}$  = massa específica dos sólidos (g/cm<sup>3</sup>)

$V_v$  = volume da amostra (cm<sup>3</sup>)

**e** = índice de vazios do solo

**n** = porosidade (%)

= massa seca (g)

A fim de agrupar os resultados dos ensaios realizados nas diferentes unidades de materiais inconsolidados, apresentam-se um quadro (ANEXO 1), o qual contém informações dos índices físicos, granulometria, erodibilidade, além dos dados de infiltração *in situ*.

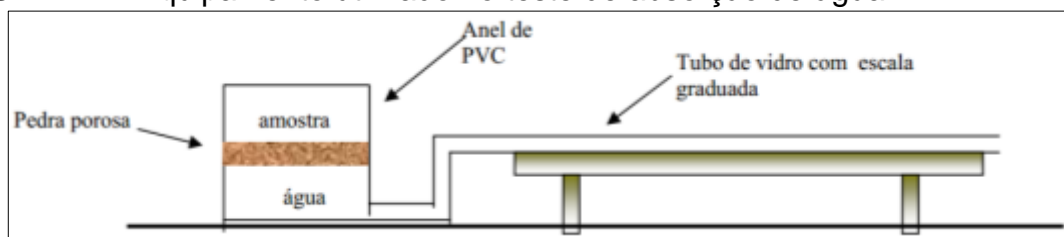
#### 5.4.2.3 Erodibilidade

O ensaio de erodibilidade também foi de grande valor para a caracterização das unidades de materiais inconsolidados. Este teste em laboratório baseou-se em Pejon (1992) e Nishiyama (1998). Incide em utilizar amostras indeformadas coletadas no cilindro volumétrico de PVC pequeno (48 x 20 mm), as quais são submetidas a dois testes: absorção de água e perda de peso por imersão. Valores resultantes destes ensaios são utilizados para se chegar ao índice de erodibilidade.

##### i. Ensaio de absorção de água

Para a realização deste ensaio é utilizado equipamentos simples. O aparato tem um cilindro do mesmo diâmetro do anel volumétrico conectado a um tubo de vidro graduado com cinco milímetros de diâmetro interno, disposto horizontalmente. Sobre o cilindro de PVC acomoda-se uma pedra porosa de forma que esta fique nivelada ao topo do cilindro (FIGURA 17).

FIGURA 17 – Equipamento utilizado no teste de absorção de água.



Fonte: Pejon, 1992.



É iniciado o ensaio colocando o corpo de prova sobre a pedra porosa, simultaneamente ao início da cronometragem. Em intervalos de tempo predeterminados, faz-se a leitura do deslocamento de água no tubo de vidro (FIGURA 18). O ensaio acaba no momento em que o corpo de prova fica saturado e o deslocamento de água no cilindro de vidro cessa ou então não apresenta deslocamento significativo.

FIGURA 18 – Equipamento utilizado no teste de absorção de água.



Fonte: Allan-Silva (2013).

A partir dos valores obtidos, constrói-se um gráfico que expressa a relação de  $q$  (relação do volume de água absorvido pela área da base do corpo de prova) no eixo da ordenada, com a raiz quadrada do tempo ( $\sqrt{T}$ ) no eixo da abcissa. Os pontos lançados no gráfico geram uma reta, na qual se obtém o índice de absorção ( $S$ ), obtido do coeficiente angular da reta ( $S=q/\sqrt{T}$ ).

## ii. Ensaio de perda de peso por imersão

Imediatamente após o ensaio de absorção de água, coloca-se na base do corpo de prova uma pedra porosa fixada por uma membrana plástica. O conjunto é colocado em um recipiente menor para a coleta do material desprendido que, em seguida, é submerso em um recipiente com água na posição vertical. Decorridas 24

horas, determina-se a perda de peso por imersão ( $P_i$ ), em porcentagem do peso seco inicial ( $P$ ).

iii. Índice de erodibilidade ( $E$ )

De acordo com Pejon (1992) a erodibilidade de materiais inconsolidados relaciona-se a dois fatores importantes: a destacabilidade e a transportabilidade dos materiais. Desta forma, com base em Nogami e Villibor (1979), o autor apresenta o ensaio de erodibilidade cujo índice é obtido pela expressão abaixo, em que  $S$  é o índice de absorção de água e  $P$  é a porcentagem de perda por imersão.

$$E = 40 S/P$$

O índice obtido neste calculo considera que, para  $E < 1$  o material inconsolidado é erodível; para valores de  $E > 1$ , não erodível (PEJON, 1992).

#### 5.4.2.4 Determinação da estabilidade dos agregados

As amostras utilizadas no ensaio para determinação do grau de estabilidade de agregados por via úmida foram coletadas nas diferentes unidades de materiais inconsolidados. Em pontos com taludes mais espessos, realizou-se a coleta em dois níveis de profundidade: superficial e 40 centímetros.

O ensaio é realizado com duas porções de 25 gramas de grânulos entre quatro e dois milímetros. No aparelho *Yoder*, por um minuto, as amostras são umedecidas, e, sequencialmente, por quatro minutos submetidas à oscilações mecânicas com frequência de 32 ciclos/minuto. O aparelho é dotado de uma sequência de peneiras com malhas de 2; 1; 0,5; 0,25 e 0,105 mm, conforme a FIGURA 19.



FIGURA 19 – Execução do ensaio de estabilidade de agregados no aparelho Yoder.



Fonte: Allan-Silva (2013).

Após o peneiramento em água obtém-se a massa de agregados em cada peneira. Com as massas relativas a cada peneira, procederam-se ao cálculo do Diâmetro Médio Ponderado (DMP), o Diâmetro Médio Geométrico (DMG) e o Índice de Estabilidade de Agregados (IEA), utilizando as respectivas equações:

Em que  $x_i$  é o diâmetro médio das classes (mm) e  $w_i$  é a proporção de cada classe em relação ao total, conforme YOUNKER e MCGUINNESS (1956).

Em que  $\ln[x_i]$  é o logaritmo natural do diâmetro médio das classes e  $p_i$  é o peso, em gramas, retido em cada peneira, segundo CASTRO FILHO (2002).

Onde  $PA$  é o peso da amostra e  $w_{p<0,25}$  corresponde ao peso dos agregados da classe  $<0,25$  mm (g), de acordo com CASTRO FILHO (2002)

#### 5.4.2.5 Ensaio de infiltração de água *in situ*

Em relação aos vários fatores que influenciam a erosão do solo podem-se citar: cobertura vegetal, textura e estrutura dos materiais inconsolidados, capacidade de infiltração, forma e comprimento da vertente, tipos de uso e ocupação do solo, erodibilidade e declividade.

Dentre estes, a mensuração da quantidade de água que pode infiltrar no solo em um episódio de chuva pode fornecer importantes informações a respeito do princípio do escoamento superficial e desencadeamento de erosões. Elevada capacidade de infiltração significa propensão a baixas taxas de escoamento superficial, em outros termos, o escoamento superficial está condicionado à intensidade da precipitação e capacidade de infiltração.

Devido à dificuldade em se realizar ensaios de quantificação da infiltração em condições naturais, há diversos métodos que simulam as condições de campo (chuvas artificiais, por exemplo) além de aparelhos que se podem utilizar *in situ*, como os anéis concêntricos e o permeâmetro *Guelph*.

Pela facilidade de manuseio em campo, empregou-se o permeâmetro *Guelph* (FIGURA 20) que possibilita determinar a condutividade hidráulica ( $k$ ). O equipamento possui um reservatório que possibilita medir a vazão do fluxo da água por frações de tempo, necessário para se obter o valor de  $k$ .

De acordo com Costa (2009), os valores de infiltração baseiam-se na equação de Richards (1931):

$$Q = R \times A$$

Onde  $Q$  é a vazão do regime permanente,  $R$  é a razão constante obtida nos ensaios, e  $A$  é a área do reservatório do permeâmetro utilizado (36,19 cm<sup>2</sup>).

FIGURA 20 – Execução do ensaio de permeabilidade *in situ* com o Permeâmetro *Guelph*.



Fonte: Allan-Silva (2012).

Para obter o valor de  $k$  (condutividade hidráulica de campo) utiliza-se a equação de Elrick et al (1989):

---

Onde  $H$  é a carga hidráulica constante;  $C$  é o parâmetro fator de forma, extraído da relação  $H/a$  e do tipo de solo, sendo que  $a$  é o raio do orifício aberto pelo trado. Desta maneira, o  $H$  foi de 3 cm, para  $C$ , obteve-se 0,58, o valor de  $\alpha$  foi 0,12, e  $a$  teve valor de 3,1.

#### *5.4.3 Procedimentos para definição do Mapa de Rede de Drenagem*

O mapa da Rede de Drenagem teve como base as cartas topográficas que abrangem a bacia hidrográfica, sendo elas: Ituiutaba e Serra de São Lourenço. A vetorização dos canais de menores ordens se deu pela interpretação de fotografias aéreas<sup>2</sup> da Prefeitura Municipal de Ituiutaba e trabalhos de campo.

A partir do trabalho de fotointerpretação das fotografias aéreas foi possível definir dois tipos distintos de canais na bacia hidrográfica: os canais de fluxo permanente ou perenes e os canais de escoamento pluvial.

Para a definição dos canais permanentes, além de observações em campo, analisou-se nas fotografias aéreas, a presença de vegetação ciliar, em outras palavras, este tipo de canal foi representado pelos cursos d'água com presença constante de água. Por outro lado, os canais de escoamento pluvial são aqueles em que o fluxo de água não é permanente, ocorrendo principalmente durante ou imediatamente após os episódios chuvosos.

#### *5.4.4 Procedimentos para definição do Mapa de Espessuras dos Materiais Inconsolidados*

O reduzido número de áreas com exposição de perfis das coberturas inconsolidadas dificultou sua classificação. As erosões profundas foram os locais mais utilizados para tal análise. Neste sentido, a definição dos intervalos das espessuras do material de cobertura foi compatível com a escala de trabalho, composta por três classes: menor que 2 metros, de 2 a 5 metros e maior que 5 metros.

Especialmente nas áreas com menor densidade de informações, procurou-se determinar a espessura por meio de estimativa baseada nas correlações de proximidade com áreas de situações conhecidas de espessuras dos inconsolidados,

---

<sup>2</sup> Fotografias na escala 1:8.000, de novembro de 2005, cedidas pela Prefeitura Municipal de Ituiutaba (MG).

nas formas do relevo e profundidade do substrato rochoso. Locais com exposição de rocha (aflorante) possibilita estimar sua presença em outras áreas de mesma cota altimétrica. No entanto, em todas as situações, os procedimentos de fotointerpretação foram indispensáveis.

#### *5.4.5 Procedimentos para definição do Mapa de Declividade*

Não só no Brasil, mas também em outros países, ao se realizar estudos de mapeamento planialtimétrico, o pesquisador se depara com algumas dificuldades, principalmente pelas bases cartográficas que, na maioria das vezes, são incompatíveis com estudos de maior detalhe. Nesta pesquisa não foi diferente. As bases de informações existentes para a área em questão são as cartas topográficas do IBGE<sup>3</sup>, na escala de 1:100.000, as imagens de radar SRTM (resolução de 30 metros após retificação) e as fotografias aéreas.

Baseando-se nas ideias de Zuquette (1997 *apud* NISHIYAMA, 1998), para estudos na escala de 1:100.000 a equidistância mínima entre as curvas de nível desejável para o mapeamento é de 20 metros. Neste caso, as fotografias aéreas poderiam ser as principais fontes de informações planialtimétricas se houvessem aos pares, para gerar estereoscopia<sup>4</sup>.

Diante do exposto, utilizaram-se as imagens de radar SRTM com resolução de trinta metros, obtendo por técnica automatizada em SIG curvas de nível de equidistância de 20 metros.

---

<sup>3</sup> As cartas topográficas que abrangem a área da BHRSL são: Ituiutaba (1973) - Folha SE-22-Z-B-IV, e Serra de São Lourenço (1970) - Folha SE-22-Z-D-I.

<sup>4</sup> Estereoscopia uma técnica usada para se obter informações do espaço tridimensional, através da análise de duas imagens obtidas em pontos diferentes.

## 5.5 Elaboração dos mapas de segundo nível

Os mapas de segundo nível, também denominadas “cartas interpretativas/derivadas” por Nishiyama (1998) foram dois: Mapa de Registros de Feições Erosivas e Mapa de Uso e Ocupação.

Originam-se de uma análise direta por interpretação de imagens de satélite e fotografias aéreas, trabalhos de campo e procedimentos em SIG. Os dois mapas são indispensáveis para a execução dos mapas seguintes, sobretudo os de quarto e quinto nível.

### *5.5.1 Procedimentos para definição do Mapa de Registros de Feições Erosivas*

O Mapa de Registros de Feições Erosivas teve como escopo mapear as principais formas de erosão existentes na área de estudo, uma vez que a Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço apresenta feições erosivas aceleradas em diferentes estágios.

Nishiyama (1998) conceitua estes processos como acelerados por apresentarem formas que evoluem em curto espaço de tempo, horizontal e verticalmente, produzindo feições profundas do tipo ravinas e voçorocas, a partir de contribuições humanas.

O QUADRO 2 representa a base para a conceituação e diferenciação das feições erosivas (laminar, ravinas e voçorocas), sobretudo para a distinção das duas últimas formas, pois elas podem apresentar estágios muito parecidos e nem todos os processos envolvidos na sua evolução podem ser identificados por avaliação de imagens.

As formas erosivas foram mapeadas e inventariadas mediante a saídas de campo e fotointerpretação de fotografias aéreas coloridas, na escala 1:8.000. Considerou toda a bacia como potencial ao escoamento laminar, mapeando individualmente as demais feições no relevo (ravinas e voçorocas).

QUADRO 2 – Matriz conceitual para a classificação das formas erosivas (erosão laminar, ravinas e voçorocas).

Características dos diferentes tipos de processos de erosão.		
<i>Erosão laminar e em sulcos</i>	<i>Ravina</i>	<i>Voçoroca</i>
<b>CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS</b>		
Ocorre nas encostas lisas acima da linha de drenagem.	Ocorre ao longo das linhas de drenagem pouco profundas à montante de canais incisos	Geralmente ocorrem em linhas de drenagem bem definidas.
Geralmente são menores que os canais de fluxo concentrado	São geralmente maiores do que sulcos e menor do que ravinas permanentes.	São maiores do que os canais de fluxo de concentrados e sulcos
Caracterizam-se por pequenos canais de fluxo paralelos que chegam aos canais de fluxo concentrado, terraços fluviais ou áreas de deposição.	Geralmente forma um padrão dendrítico ao longo dos cursos de água que começa onde ocorre fluxo de terra, na convergência de pequenos canais. Os padrões de fluxo originam-se pelo preparo do solo, trilhas, terraços, e outras ações antrópicas.	Padrão dendrítico ao longo de cursos de água naturais. Pode ocorrer em padrões não-dendríticos em valas estrada, terraço ou desvio canais, etc
São estreitas e pouco profundas	São mais largas do que profundas. As paredes laterais não são bem definidas. Cabeceiras de drenagem pouco proeminentes por conta do manejo	É mais profunda do que larga. Os taludes apresentam ângulos de inclinação definidos conforme o ângulo de atrito interno dos materiais dos solo. Quando a incisão atinge camadas mais resistentes o talude pode assumir a configuração vertical. Cabeceira da erosão é proeminente e a inclinação tende a verticalidade ou pode apresentar solapamento da base por queda de água no seu interior.
<b>AÇÕES PARA ESTABILIZAÇÃO</b>		
As praticas de plantio são suficientes para estabilização da feição	Característica temporária, geralmente estabilizada pelo manejo; podendo haver reincidência.	Não pode ser estabilizada por trabalhos de manejo do solo
<b>PROCESSOS ATUANTES</b>		
A remoção de material se dá em finas camadas ou canais rasos. Reduz a espessura do solo por toda vertente	O solo é removido ao longo de canais relativamente estreitos; se não arado, as camadas mais profundas resistem mais a este tipo de erosão enquanto a aragem reduz esta resistência.	A incisão erosiva atinge todo o perfil do solo e, inclusive o saprolito;
<i>Erosão laminar e em sulcos</i>	<i>Ravina</i>	<i>Voçoroca</i>
Não são muito visíveis	Área pode ou não ser visivelmente erodindo.	Erosão facilmente visível
Destacamento de partículas do solo e transporte por efeito <i>splash</i> e fluxo de água	Destacamento e transporte apenas por água corrente (chuvas ou lençol freático)	Destacamento por água corrente (pluviais ou do lençol subterrâneo)

PROCESSOS ATUANTES		
<i>Erosão laminar e em sulcos</i>	<i>Ravina</i>	<i>Voçoroca</i>
		Queda de materiais por ruptura de parte do talude da erosão
		Avanço da erosão no sentido da cabeceira por incidência do fluxo concentrado das águas pluviais
		Transporte de sedimentos no fundo da erosão por ação da água corrente (pluvial ou do lençol subterrâneo).
		Quando a incisão erosiva atinge o lençol freático, pode ocorrer a erosão interna do solo ao longo de caminhos preferenciais da água (tubos) e deslocamento vertical do solo que pode se estender até a superfície do terreno ( <i>piping</i> ).
		Porcentagens maiores de areia e/ou de silte no solo saturado pela água freática e exposto pela incisão pode resultar na perda de sua resistência mecânica. O solo entra em estado de liquefação.
		A perda de resistência mecânica por liquefação do solo na base do talude da erosão pode instabilizar a porção superior deste por ruptura.
		O deslocamento de porção do talude por ruptura resulta no represamento temporário do fluxo de água (pluvial e/ou do lençol freático). A ruptura da obstrução pela força da água ou seu galgamento gera um fluxo de grande volume de água capaz de transportar grande quantidade de sedimento, além de ampliar a erosão ao longo do canal.
		Ramificações da incisão principal podem se desenvolver por incidência de fluxo pluvial concentrado em pontos da incisão principal.

Fonte: adaptado de Vandaele et al. (1996).

Além de se amparar no quadro supracitado, outros critérios foram necessários para distinguir ravinas de voçorocas em alguns pontos. Nas áreas onde não foi possível observação em campo, a decisão pelo tipo de erosão se deu pela observação dos seguintes critérios: sinais ou não de fluxo de água no interior da feição linear; presença ou não de vegetação no interior da forma e existência de sedimentos à jusante da feição erosiva.



### 5.5.2 Procedimentos para definição do Mapa de Uso e Ocupação

Utilizaram-se no estudo dois softwares, o Spring 5.1.6 e ArcMap 9.3. No primeiro, as tarefas ativeram-se no Processamento Digital de Imagem (PDI), ou seja, mosaico e recorte da área de interesse, posteriormente, realizou-se a segmentação da imagem e classificação visual através de fotointerpretação. No segundo, realizou-se o cálculo de área e elaboração do layout do mapa.

Segundo Rosa (2007, p. 133)

Fotointerpretação é a utilização de métodos, sistemas ou técnicas na análise de imagens e permite a obtenção de informações significativas e confiáveis nos diferentes ramos da Ciência da Terra, ou ainda, é a ciência do exame de imagem de um objeto com a finalidade de identifica-lo e de deduzir seu significado. É um processo que envolve três etapas: a fotoleitura, a foto-análise e a fotointerpretação propriamente dita.

As imagens orbitais foram geradas pelo satélite Rapideye, em junho de 2010, cuja resolução espacial é de 5 metros. A composição colorida BGR para as bandas (R (630 a 690  $\mu\text{m}$ ), G (520 á 590  $\mu\text{m}$ ); Near IR (0,76 - 1,2  $\mu\text{m}$ ). Cinco imagens compuseram toda a área: 2230321, 2230322, 2230222, 2230223 e 2230323. Estas foram cedidas pelo Instituto Estadual de Florestas (IEF).

## 5.6 Elaboração do mapa de terceiro nível

Denominado como mapa de Potencial ao Escoamento Superficial, o documento cartográfico de terceiro nível destaca quatro níveis com maior ou menor possibilidade de ocorrência de escoamento pluvial.

Este mapa deriva daqueles elaborados no primeiro nível, cuja execução ocorre a partir de uma sobreposição controlada. Com base no QUADRO 3, o qual apresenta os pesos atribuídos (de 1 a 5) a cada classe dos elementos dos mapas, utilizaram-

se a ferramenta *Weighted Overlay*<sup>5</sup>, que consiste num importante instrumento para atuar em análises multicritérios. A ferramenta possibilita inserir vários temas com diferentes pesos nas classes, além de distintos percentuais de influência a cada tema.

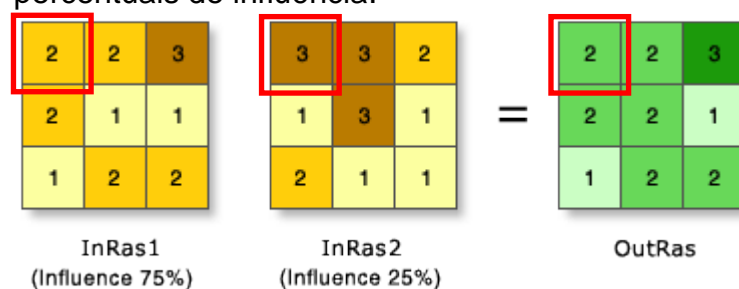
QUADRO 3 – Classes dos atributos de cada mapa da sobreposição controlada.

Material Inconsolidado		Substrato Rochoso		Espessura do Material Inconsolidado		Declividade		Feições Erosivas		Uso e Ocupação	
tipo	peso	tipo	peso	tipo	peso	tipo	peso	tipo	peso	tipo	peso
RPEMar	5	JKsg	5	menor que 2 m.	5	0 - 2%	1	escoamento laminar	1	corpos d'água	0
RMar	4					2 - 5%	2			área urbana	5
RPEAd	2					5 - 10%	3			pastagem	3
RSG	2	Ka	3	de 2 a 5 m.	3	10 - 20%	4	ravinas	3	agricultura	3
TMar	4										
TMarAd	3	Km	3	maior que 5 m.	1	maior que 20%	5	voçorocas	5	vegetação nativa	3
H	4										

Fonte: Allan-Silva (2012).

A FIGURA 21 ilustra a sobreposição de temas pela ferramenta *Weighted Overlay* em que, o primeiro atributo tem 75% de influência e o segundo tem 25%. O arquivo *raster* de coloração verde representa o resultado da sobreposição, tomando como exemplo os cálculos matemáticos dos quadrantes superiores esquerdos destacados:  $(2 * 0,75) = 1,5$  e  $(3 * 0,25) = 0,75$ . A soma de 1,5 e 0,75 é 2,25, arredondado para 2.

FIGURA 21 – Ilustração da sobreposição controlada de dois temas sob diferentes percentuais de influência.



Fonte: ArcGIS Resource Center (2014).

<sup>5</sup> Ferramenta acessível no software ArcMap 9.3 em: *ArcToolbox- Spatial Analyst Tools- Overlay- Weighted Overlay*.

Antes de se realizar a sobreposição controlada devem-se fazer alguns procedimentos. O primeiro consiste em converter todos os mapas de vetores para *raster*. O sequencial adotado para o uso da ferramenta é: *ArcToolbox- Conversion Tools- To Raster- Polygon to Raster*. O segundo procedimento é atribuir o peso para cada classe, para isso, adotaram-se a seguinte sequência: *ArcToolbox- Spatial Analyst Tools- Reclass- Reclassify*.

É imprescindível destacar que os pesos adotados para cada mapa e classe, levaram em consideração a importância ou interferência do elemento nos processos erosivos. Para se chegar a estes valores, foram considerados os resultados dos ensaios (laboratório e *in situ*), as observações em campo e foteointerpretação de imagens orbitais e fotografias aéreas.

## 5.7 Elaboração do mapa de quarto nível

Este documento cartográfico recebeu o nome de Mapa de Potencial à Erosão. Ele deriva da superposição do Mapa de Potencial ao Escoamento Superficial, produzido na etapa anterior, com o acréscimo do Mapa de Registros de Feições Erosivas, oriundo dos mapas de segundo nível.

A elaboração do Mapa de Registros de Feições Erosivas exigiu procedimentos em SIG, como forma de adequá-los à matriz de sobreposição. Como já foi mencionado no item 5.5.1, o mapa apresenta as áreas com ocorrência de três tipos de formas erosivas: erosão laminar e sulcos, ravinas e voçorocas. O *shapefile*<sup>6</sup> que especializa a ocorrência de ravinas é do tipo “linha”, enquanto os demais são do tipo “polígono”, essencial para se usar na sobreposição controlada.

Dentre os processamentos executados, realizou-se um *buffer*<sup>7</sup> de 150 metros no *shapefile* de ravinas, o que gerou formas poligonais representando áreas de concentração/predominância desta feição. Em seguida, uniram-se os *shapefiles* dos três tipos de feições erosivas e o converteu para o formato *raster* (mencionado no

---

<sup>6</sup> É um formato de arquivo que contém dados geoespaciais em formato de vetor.

<sup>7</sup> Ferramenta acessível no software ArcMap 9.3 em: *ArcToolbox- Analysis Tools- Proximity- Buffer*.

item anterior). O procedimento final, ateve-se em fazer a sobreposição dos dois temas utilizando a ferramenta *Weighted Overlay*, supra descrita no item 5.6.

Além de se tratar de um documento cartográfico indispensável para a elaboração do mapa do quinto nível, ele diferencia as áreas onde os processos erosivos são mais ou menos iminentes.

### **5.8 Elaboração do mapa de quinto nível**

O Mapa de Susceptibilidade à Erosão é o documento cartográfico que envolve o maior numero de informações: seis atributos no meio físico foram considerados na sobreposição. Ele deriva da sobreposição do Mapa de Potencial à Erosão, obtido no quarto nível, com o acréscimo da informação de uso e ocupação da bacia hidrográfica.

Este mapa teve por fundamento apresentar, a partir da síntese de informações, os problemas e limitações da bacia hidrográfica estudada, ou seja, apresentar, em termos probabilísticos, a susceptibilidade de ocorrências de erosões.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

São apresentados neste capítulo, os mapas de primeiro a quinto nível, que totalizam 11 documentos cartográficos. Além disso, faz-se uma análise sobre cada um deles. Baseando-se nos resultados dos diversos ensaios, seja em campo ou laboratório, nos trabalhos de campo e fotointerpretação de fotografias aéreas e imagens de satélite, documentaram-se cartograficamente os diferentes atributos da área em estudo. Por intermédio da sobreposição controlada, os mapas de terceiro, quarto e quinto nível foram gerados, os quais apresentam inéditas informações, conforme as relações estabelecidas entre os atributos considerados na matriz de sobreposição.

### 6.1 Mapas de primeiro nível

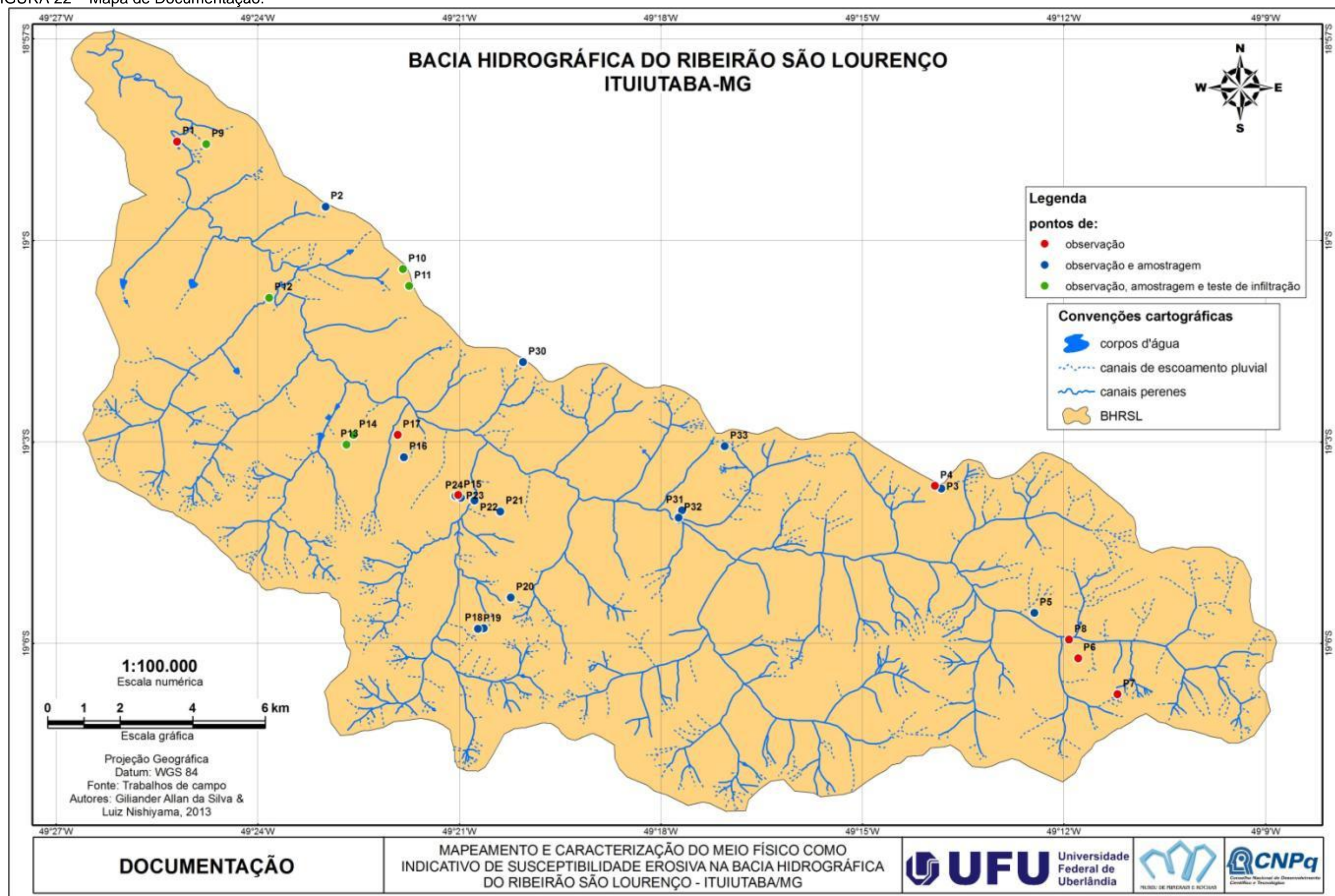
#### 6.1.1 *Mapa de Documentação*

Com o escopo de espacializar e caracterizar os locais visitados em campo elaborou-se o Mapa de Documentação (FIGURA 22). Um número de sete idas a campo possibilitaram realizar, dentre outras tarefas, observações, anotações e fotografias, coleta de amostras e ensaios de infiltração.

A existência de grande número de estradas foi fator positivo para a caracterização da área. No entanto, em alguns momentos a impossibilidade de passagem, seja pela manutenção precária das estradas e das pontes rurais, dificultou o acesso a algumas áreas.

Totalizaram 28 pontos de estudo. Dentre estes, sete foram utilizados para observação, em 15 pontos realizaram-se coleta de amostras (material inconsolidado e/ou rochas) e observações, e em seis pontos foram realizadas observações, coleta de amostras (material inconsolidado e/ou rochas) e testes de infiltração *in situ*.

FIGURA 22 – Mapa de Documentação.





### 6.1.2 *Mapa do Substrato Rochoso*

Como podem ser observadas no Mapa de Substrato Rochoso, as rochas sedimentares predominam em extensão de área, sendo 61% arenitos da Formação Adamantina e mais de 33% da Formação Marília. As rochas basálticas distribuem-se por 5,5% da área da bacia hidrográfica, com 295 quilômetros quadrados.

O contato litológico entre os derrames basálticos e os arenitos da Formação Adamantina, que aparecem na porção de fundo de vale, também foram observados nas fotografias aéreas, destacados pelas quebras de relevo, corredeiras e pequenas cachoeiras.

Diferentes resistências mecânicas dos tipos litológicos presentes na área da bacia influenciam, dentre outros fatores na forma do relevo. Com o escopo de definir o limite entre os materiais inconsolidados e líticos no perfil vertical utilizou-se a técnica de análise das formas do terreno. Desta maneira, a partir de fotointerpretação e em campo, definem-se as unidades do substrato rochoso, unidades de materiais inconsolidados (residuais e transportados) e os níveis de cimentação que geram escarpas. Esta metodologia, como destaca Nishiyama (1998), também já foi utilizada por Lollo (1995) e Diniz (1992).

Na bacia hidrográfica em estudo, as litologias presentes são: os basaltos da Formação Serra Geral, os arenitos róseo-alaranjados da Formação Adamantina e arenitos calcíferos e conglomerados da Formação Marília.

#### **a. Grupo São Bento - Formação Serra Geral (JKsg)**

Constituída predominantemente de basaltos e, secundariamente de arenitos intercalados aos níveis de derrames (intertrapes), a formação Serra Geral exhibe, na porção onde se insere a área estudada, um conjunto litológico com

aproximadamente 250 metros de espessura resultante da sobreposição de derrames de natureza básica.

Com exceção da área de exposição na bacia do ribeirão São Lourenço, a formação Serra Geral encontra-se recoberta por rochas sedimentares do Grupo Bauru: as Formações Adamantina e Marília.

Conforme constatado em campo, a exposição dos basaltos se faz presente no baixo curso do Ribeirão São Lourenço e afluentes, em cota altimétrica inferior a 560 metros, corroborando com observações de Costa e Martins (2011) e Allan-Silva e Nishiyama (2013).

Nas áreas de afloramentos das rochas magmáticas efusivas (FIGURA 23 e 24), a alta resistência mecânica resulta em menores índices de entalhamento, promovendo um alargamento do vale, configurando-o em forma de “U”. Além disso, os trechos encachoeirados mostram diferentes episódios de derrames magmáticos.

FIGURA 23 – Afloramento do basalto no baixo curso do Ribeirão São Lourenço.



Fonte: Allan-Silva (2013).



FIGURA 24 – Trecho encachoeirado no baixo curso do Ribeirão São Lourenço.



Fonte: Allan-Silva (2010).

#### **b. Grupo Bauru - Formação Adamantina (Ka)**

As rochas pertencentes a esta formação apresentam níveis mais e menos resistentes na bacia hidrográfica em estudo. Camadas mais resistentes devem-se à maior cimentação (sílica e/ou carbonato de cálcio) e matriz granulométrica mais fina (ALLAN-SILVA; NISHIYAMA, 2013).

As rochas da Formação Adamantina e Marília, também apresentam entre si, distintos comportamentos de resistência mecânica, na área da bacia hidrográfica. As rochas mais resistentes tem origem nos arenitos e conglomerados da Formação Marília com forte cimentação carbonática, ao passo que as camadas de baixa resistência mecânica apresentam menores proporções de agente cimentante, situação comum nas rochas da Formação Adamantina.

De uma maneira geral os litotipos da formação Adamantina afloram em cotas altimétricas entre 560 e 650 metros. Localmente encontra-se recobertas pelas litologias da Formação Marília. À jusante do Ribeirão São Lourenço, em razão do intenso entalhe fluvial nos litotipos arenosos da unidade Adamantina, estes cedem lugar aos basaltos da Formação Serra Geral.

Arenitos dessa unidade geológica são constituídos predominantemente de areia fina e média, com abundante matriz siltico-argilosa e coloração rosada,

avermelhada a marrom arroxeadada. Estruturas sedimentares mais frequentes são as estratificações do tipo plano- paralela e cruzada de pequeno porte.

Diferenças de cotas altimétricas dos contatos geológicos da Formação Adamantina (FIGURA 25) com os basaltos da Formação Serra Geral (subjacentes) e litotipos da Formação Marília (sobrejacentes) permitem estimar a espessura da ordem de 90 metros para esta unidade geológica na área estudada.

FIGURA 25 – Litologia da Formação Adamantina em aflente do Ribeirão São Lourenço onde o GPS serve como fator de escala para comparação (14 cm).



Fonte: Allan-Silva (2013).

### **c. Grupo Bauru - Formação Marília (Km)**

Arenitos, conglomerados e calcários da formação Marília ocorrem, de maneira descontínua, a oeste da linha balizada pelas cidades de Frutal e Prata, constituindo corpos remanescentes que acompanham os divisores de águas dos rios Tijuco, da Prata, Verde e São Domingos.

Atualmente, restam apenas corpos residuais de arenitos e calcários dessa unidade. De maneira geral, porções remanescentes das rochas da Formação Marília caracterizam-se pela pequena expressão horizontal e constitui um conjunto de elevações localizado nos divisores das bacias hidrográficas, com topos relativamente planos e bordas abruptas.

A unidade Marília na área estudada caracteriza-se pela predominância de tipos arenosos, seleção pobre em decorrência do elevado teor em finos (matriz) e presença de tipos conglomeráticos em camadas decimétricas a bancos métricos. O contato entre as formações Adamantina e Marília situa-se em torno da cota altimétrica de 650 metros.

A visualização de afloramentos contínuos desta litologia está condicionada, principalmente, às escarpas de rupturas abruptas. O intenso intemperismo e a colúviação, na maioria dos casos recobre a rocha matriz.

Levantamentos de campo realizados na área de estudo mostrou a seguinte sequência de camadas, da base para o topo:

- arenito fino, matriz abundante predominantemente síltica, coloração bege a rosado, estratificação plano paralelo;
- lentes de calcário do tipo calcrete, com abundância de seixos sustentados por carbonato de cálcio e sílica;
- arenito fino a médio, intercalados a camadas de arenito conglomerático, coloração rosada, avermelhada e variegada;

Observou-se que, nas áreas de topos, as rupturas (escarpas) nos relevos residuais são sustentadas pela cimentação carbonática (FIGURA 26 e 27).

Parte da dinâmica hidrológica na bacia hidrográfica está condicionada às características da litologia da Formação Marília. A cimentação carbonática condiciona alta resistência mecânica e permeabilidade reduzida, já que o carbonato de cálcio ocupa espaços intergranulares. Resultam deste processo, zonas saturadas sobrejacentes à camada cimentada com exfiltração de água e desenvolvimento de faixas úmidas nas vertentes.

FIGURA 26 – Litologia da Formação Marília (intemperizada) com o uso do GPS como fator de escala.



Fonte: Allan-Silva (2013).

FIGURA 27 – Bloco de calcário presente na estrada, em relevo residual, tendo o martelo geológico como referência de escala (32cm).

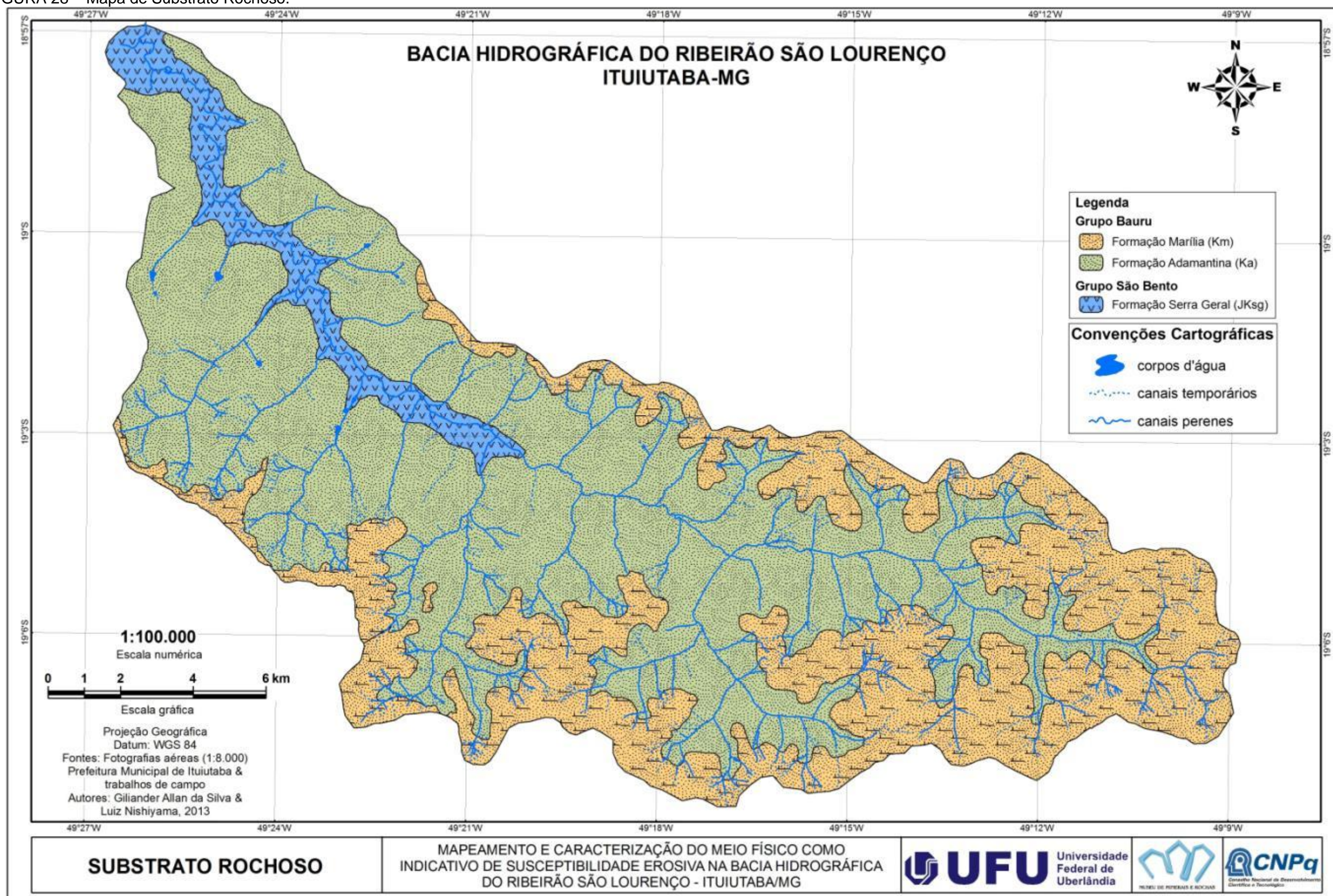


Fonte: Allan-Silva (2013).

A FIGURA 28 apresenta os substratos geológicos presentes na área de estudo.



FIGURA 28 – Mapa de Substrato Rochoso.





### 6.1.3 Mapa dos Materiais Inconsolidados

Fizeram parte da caracterização das unidades de materiais inconsolidados os ensaios de laboratório e *in situ*, as observações e interpretações em campo e procedimentos de fotointerpretação com base nas formas do relevo e demais indicativos. Totalizaram na área de estudo sete unidades de materiais inconsolidados mapeadas, cujos resultados dos ensaios realizados para cada unidade constam no APÊNDICE A.

Pela comparação entre o Mapa de Substrato Rochoso e o Mapa de Materiais Inconsolidados, é possível estabelecer uma relação direta entre eles. Os materiais de origem conferem às coberturas superficiais características peculiares, conforme sua composição. A preservação destas características, como cor e textura, são mais evidentes nos materiais residuais. Por outro lado, nos materiais transportados, sobrepuja um material misto e variegado, oriundo da litologia local e de áreas adjacentes.

Dos sete tipos de materiais inconsolidados observados, quatro unidades são dos materiais inconsolidados residuais e três pertencem à unidade dos materiais inconsolidados transportados. A localização e distribuição dos materiais inconsolidados estão apresentados na FIGURA 29.

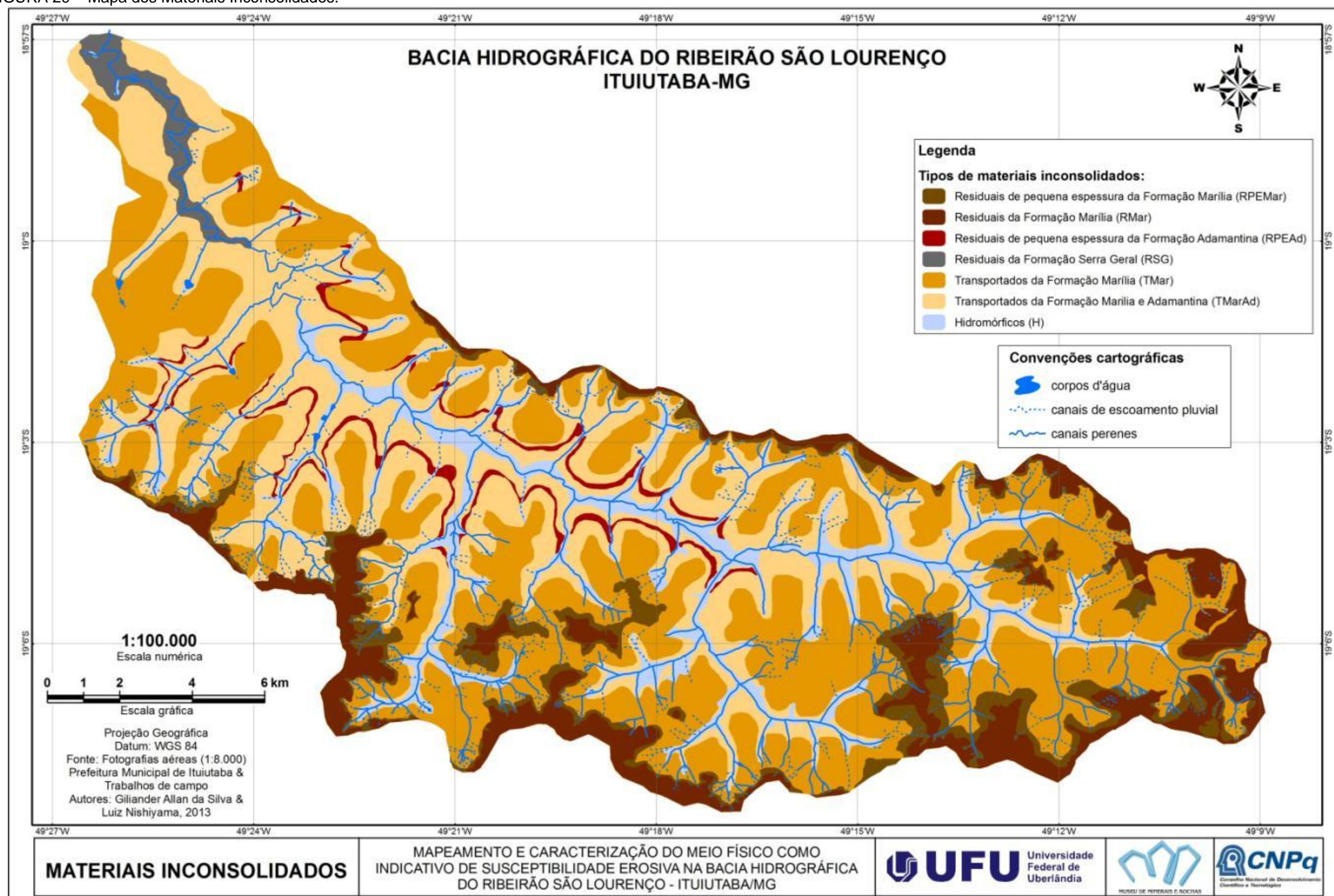
#### **Materiais inconsolidados residuais**

- Residuais de pequena espessura da Formação Marília (RPEMar)
- Residuais da Formação Marília (RMar)
- Residuais de pequena espessura da Formação Adamantina (RPEAd)
- Residuais da Formação Serra Geral (RSG)

#### **Materiais inconsolidados transportados**

- Transportados da Formação Marília (TMar)
- Transportados da Formação Marília e Adamantina (TMarAd)
- Hidromórficos (H)

FIGURA 29 – Mapa dos Materiais Inconsolidados.



### **6.1.3.1 Materiais inconsolidados residuais**

#### **A. Residuais de pequena espessura da Formação Marília (RPEMar)**

Este tipo de material inconsolidado encontra-se distribuído ao longo das áreas de maior declividade dos relevos residuais. Estão representadas, principalmente pelas escarpas, onde os intensos processos erosivos de vertente não possibilitam a formação de uma camada inconsolidada mais espessa no local.

Esta cobertura de pequena espessura não ultrapassa os 2 metros e sua composição origina-se de alteração de litotipos arenosos e conglomeráticos da Formação Marília.

Análises físicas realizadas neste tipo de cobertura inconsolidada evidenciaram predominância da fração areia, com percentuais de areia fina a grossa acima de 72% e presença de silte e argila relativamente baixa.

Nos ensaios de erodibilidade realizados em três amostras coletadas a 20 cm de profundidade obtiveram-se índices superiores a 1, o que indica que os materiais inconsolidados denominados residuais de pequena espessura da Formação Marília classificam-se como “não erodíveis”. Destaca-se que para as amostras coletada a 40 cm de profundidade os valores do índice de erodibilidade se aproximaram do erodível.

Quanto aos valores obtidos no ensaio de estabilidade de agregados, foi possível notar que o material inconsolidado da porção superficial (20 cm) possui maior estabilidade em seus grumos em comparação à amostra da camada inferior (40 cm). A presença de matéria orgânica nas camadas superiores favorece a agregação das partículas, dificultando sua quebra quando submetidas a episódios de chuva.



## **B. Residuais da Formação Marília (RMar)**

Situa-se nas porções de topo dos relevos residuais que são os interflúvios da bacia hidrográfica do ribeirão São Lourenço. Origina-se do intemperismo das rochas Formação Marília (arenitos e conglomerados).

A cobertura inconsolidada residual é pouco espessa, assenta-se sobre litologias pouco permeáveis, representadas pelos arenitos muitas vezes cimentados por carbonato de cálcio e conglomerados que condiciona uma rápida saturação. Tais comportamentos favorecem um escoamento pronunciado, também intensificado pelo elevado declive nas escarpas, condições que favorecem a existência de delgada cobertura inconsolidada.

Quanto à granulometria, este material apresentou 20,3% de frações de argila, 3,3% de silte e mais de 76% de areias (37,4% de areia fina e 38,8 % de areia grossa). Justificam-se os altos teores de areia pela decomposição da rocha local.

O ensaio de estabilidade de agregados obteve valor de 64,73%. Comparando-se com resultados de demais tipos de materiais inconsolidados, é um percentual baixo, representando comportamento de desagregação dos grumos na presença de água, em outras palavras, em episódios chuvosos, há grande possibilidade de desagregação e transporte do material.

## **C. Residuais de pequena espessura da Formação Adamantina (RPEAd)**

Este material distribui-se em forma de uma delgada camada representando 2% da área da bacia. Apresenta-se no relevo na cota entre 590 e 600 metros de altitude, sendo notada pelas rupturas de declive nas vertentes dos vales fluviais.

Os ensaios granulométricos mostram que o material residual apresenta teores de argila entre 36,6% e 37,4%, a fração silte entre 4% e 9% e fração areia entre 53,5% e 59,2%, com predominância marcante de areia fina. Considera-se que o material de origem (arenito da Formação Adamantina) seja o principal responsável por características granulométricas com maior teor de argila.

Índices elevados obtidos no ensaio de estabilidade de agregados, com IEA de 78,4 e 88,5% sinalizam para a existência de um agente na agregação dos grãos, possivelmente a sílica ou matéria orgânica. A presença de elementos cimentantes garante a estabilidade ao material sob ação da água.

Trata-se de uma camada pouco espessa e de grande importância para a dinâmica hidrológica na bacia por comportar como um assoalho para o material sobreposto e sotoposto. Sua baixa permeabilidade influencia para menores taxas de infiltração dando mais energia ao fluxo superficial, e, conseqüentemente, reduzindo a capacidade de desenvolvimento de cobertura inconsolidada. Esta camada também dá dinâmica à água subsuperficial pelo seu deslocamento horizontal sendo possível notar representativas áreas onde estas águas exfiltram.

#### **D. Residuais da Formação Serra Geral (RSG)**

Conforme apresentado no Mapa de Substrato Rochoso a litologia basáltica da Formação Serra Geral encontra-se disposta na bacia, especialmente no baixo curso, onde aflora pela ação do entalhe do canal principal do ribeirão São Lourenço.

Este material inconsolidado distribui-se de forma parecida aos basaltos, pois, origina-se do intemperismo desta rocha. Também podem estar presentes em áreas reduzidas, não mapeáveis para a escala utilizada, nos entalhes dos canais tributários próximo ao vale do canal principal. Com coloração

avermelhada e escura, possui granulometria muito fina, com mais de 45% de argila e 7,5% de silte. A somatória das areias ultrapassam 46%.

O teste de infiltração em campo mostra que este material superficial é o menos permeável, embora apresente valores medianos de índice de vazios (0,84 e 1,45), se comparado aos demais tipos de inconsolidados.

Com o permeâmetro *Guelph* obteve-se um coeficiente de permeabilidade de  $3,87 \times 10^{-6}$  cm/s, um dos mais baixos entre todos os pontos ensaiados. Além disso, apresenta-se como um solo não-erodível, com alto Índice de Estabilidade de Agregados (78,15%) e Diâmetro Médio Ponderado dos grãos de 7,78, um dos maiores dentre as amostras na bacia hidrográfica.

Frente aos dados obtidos pelos ensaios (em laboratório e *in situ*) e observações em campo, as áreas onde ocorre este tipo de material inconsolidado apresenta capacidade de infiltração lenta, o que favorece o escoamento superficial. Por outro lado, a coesão entre as partículas dificulta o seu desprendimento pela ação do fluxo de água em episódios de chuvas, oferecendo resistência aos processos erosivos.

#### 6.1.3.2 Materiais inconsolidados transportados

Os materiais inconsolidados transportados são constituídos pelo resultado da decomposição das rochas presentes na área da bacia, seguido do transporte e deposição. Desta forma, esta classe consiste em materiais alóctones, e, geralmente variegados.

#### **A. Transportados da Formação Marília (TMar)**

Caracteriza-se como o material superficial com maior distribuição espacial na bacia hidrográfica (42,2%). Localizam-se na vertente, topograficamente

abaixo das escarpas dos relevos residuais rumo aos fundos de vale, onde dá lugar a materiais inconsolidados com outras características.

A distribuição granulométrica apresenta um predomínio de areias (fina e grossa) ultrapassando 69% em todas as amostras analisadas, com valor máximo próximo a 84%, com maiores proporções de areia fina na maioria dos casos. A presença de argilas entre as amostras variou de 16,5 % mín. a 28,2% máx. demonstrando baixo a médio teor, em comparação aos demais tipos de materiais inconsolidados. A presença de silte ocorre em valores percentuais muito baixos, não ultrapassando 3%. Estas características texturais mostram um material variegado, oriundo de transporte de vertente.

Nos ensaios de erodibilidade, embora este material não tenha apresentado índices inferiores a 1, ou seja, erodível, 3 pontos apresentaram números próximos a um. Na execução do experimento, notou-se que a perda de massa por imersão foi o fator determinante para estes resultados. Algumas amostras perderam quase 14% de massa quando imersas na água. Desta forma, sugere-se que a baixa coesão entre as partículas influencia na destacabilidade das partículas, que é fator muito importante para a ocorrência erosões nestas áreas.

Corroboram com as características de erodibilidade os resultados dos ensaios de estabilidade de agregados. As amostras desta área apresentaram valores relativamente baixos no IEA (máx. 78,7% e mín. 60,8%). Neste sentido, em episódios de chuva, os agregados tendem a se desprender facilmente, oferecendo material para o transporte, em outras palavras, este material possui alta transportabilidade (PEJON, 1992).

Ensaio de infiltração obtiveram valores que variaram de  $1,84 \times 10^{-4}$  cm/s mín. a  $1,61 \times 10^{-3}$  cm/s máx. Acredita-se que a granulometria predominantemente composta pela fração areia maior seja fator responsável pelo rápido movimento de água, pois, os parâmetros índice de vazios e porosidade apresentaram valores bastante elevados.

Neste âmbito, presume-se que a rápida infiltração de água é uma característica positiva para amenizar as ocorrências de erosões. Por outro lado, a destacabilidade e transportabilidade, já caracterizadas pelos dados dos

ensaios, são elevadas. Em conjunto com estas condições, um fator natural colabora para o desenvolvimento de feições erosivas: sotoposta à camada do material inconsolidado encontra-se o RPEAd, que se caracteriza pela baixa permeabilidade, agindo como um assoalho. Embora a infiltração seja elevada, os ensaios ocorreram em superfície e subsuperfície (0,4 metros de profundidade), desconsiderando a camada impermeável que situa em nível mais baixo. A elevação do nível de água favorece a saturação do material em menor tempo, disponibilizando água para o escoamento e consequentes processos erosivos desencadeantes.

Tipos arbóreos exuberantes foram notados nestas áreas durante os trabalhos de campo. Especula-se a ideia de contribuição do carbonato de cálcio dissolvido através do transporte de vertente e no perfil vertical, promovendo um contrabalanceamento do pH do solo nestas áreas. Desta forma, o solo comumente ácido em condições de Cerrado, tende a se neutralizar oferecendo melhores condições para o desenvolvimento da vegetação.

## **B. Transportados da Formação Marília e Adamantina (TMarAd)**

Os materiais inconsolidados Transportados da Formação Marília e Adamantina representam 28,4% de toda a área da bacia hidrográfica. Apresenta uma secção na altitude aproximada de 600 metros, realizada pela RPEAd. Este tipo de material origina-se dos inconsolidados da Formação Adamantina e Formação Marília, sendo o primeiro gerado *in situ* e o segundo oriundo de transporte de vertente.

Conforme a distribuição granulométrica obtida, este material inconsolidado apresenta elevados índices de areias, com o predomínio de areias finas (de 42% a 60% de areia fina e de 16,3% a 24,9% de areia grossa). A presença de silte é pouco marcante, com valores entre 0,13% a 3,2%, e as argilas variam de 16% a 31%. Estes números demonstram a contribuição de finos da litologia arenítica da Formação Adamantina.

Os ensaios com o permeâmetro *Guelph* demonstraram que este material inconsolidado é o que apresentou menores coeficientes médios de infiltração, com valores de  $7,42 \times 10^{-4}$  cm/s máx. a  $6,18 \times 10^{-5}$  cm/s mín. Embora o solo tenha consideráveis índices de vazios e porosidade, o coeficiente de permeabilidade é baixo, mostrando que alta porosidade não representa alta permeabilidade.

Todas as amostras analisadas apresentaram resultados como materiais não erodíveis, apresentando valores elevados neste tipo de ensaio. Assemelha-se às informações obtidas nos ensaios de estabilidade de agregados, os quais obtiveram altos valores (acima de 64%).

### **C. Hidromórficos (H)**

Encontram-se distribuídos por toda extensão da bacia, nos vales dos canais de drenagem. A presença de níveis de cimentação e granulometria diferentes ao longo do pacote vertical faz com que este tipo de material inconsolidado também apareça em pequenas áreas pontuais, onde ocorrem o deslocamento lateral de água e consequente exfiltração na vertente. Estas áreas podem não ter sido mapeadas em razão da escala utilizada no trabalho.

Em relação à granulometria, o teor de argila é um dos mais elevados dentre as classes de materiais inconsolidados, com 34,9%, e 2,15% de silte. Nas proporções de areias, pouco além de 34% e 28% representam areia fina e grossa, respectivamente.

A grande quantidade de finos está vinculada, dentre outras questões, à maior presença de água. Comparativamente, este material inconsolidado apresentou menor valor de DMG (0,6) e baixo índice de estabilidade nos seus agregados (64,4) o que mostra sua susceptibilidade à desagregação devido à presença quase que constante de água.

#### 6.1.4 Mapa da Rede de Drenagem

Importantes informações foram obtidas através da sobreposição do atributo drenagem (perenes e temporários) com outros mapas base. Dentre elas: a densidade dos canais de drenagem e os principais locais de ocorrência dos canais de escoamento pluvial e perenes.

Notou-se que as formas do relevo da bacia hidrográfica são condicionantes das características da rede de drenagem. A maior densidade de canais temporários acha-se vinculada aos relevos residuais, sobretudo nas frentes de escarpas, ou seja, sob altos valores de declividade. Nestas áreas, observa-se grande número de ravinas, as quais são responsáveis por dar vazão às águas pluviais (FIGURA 30).

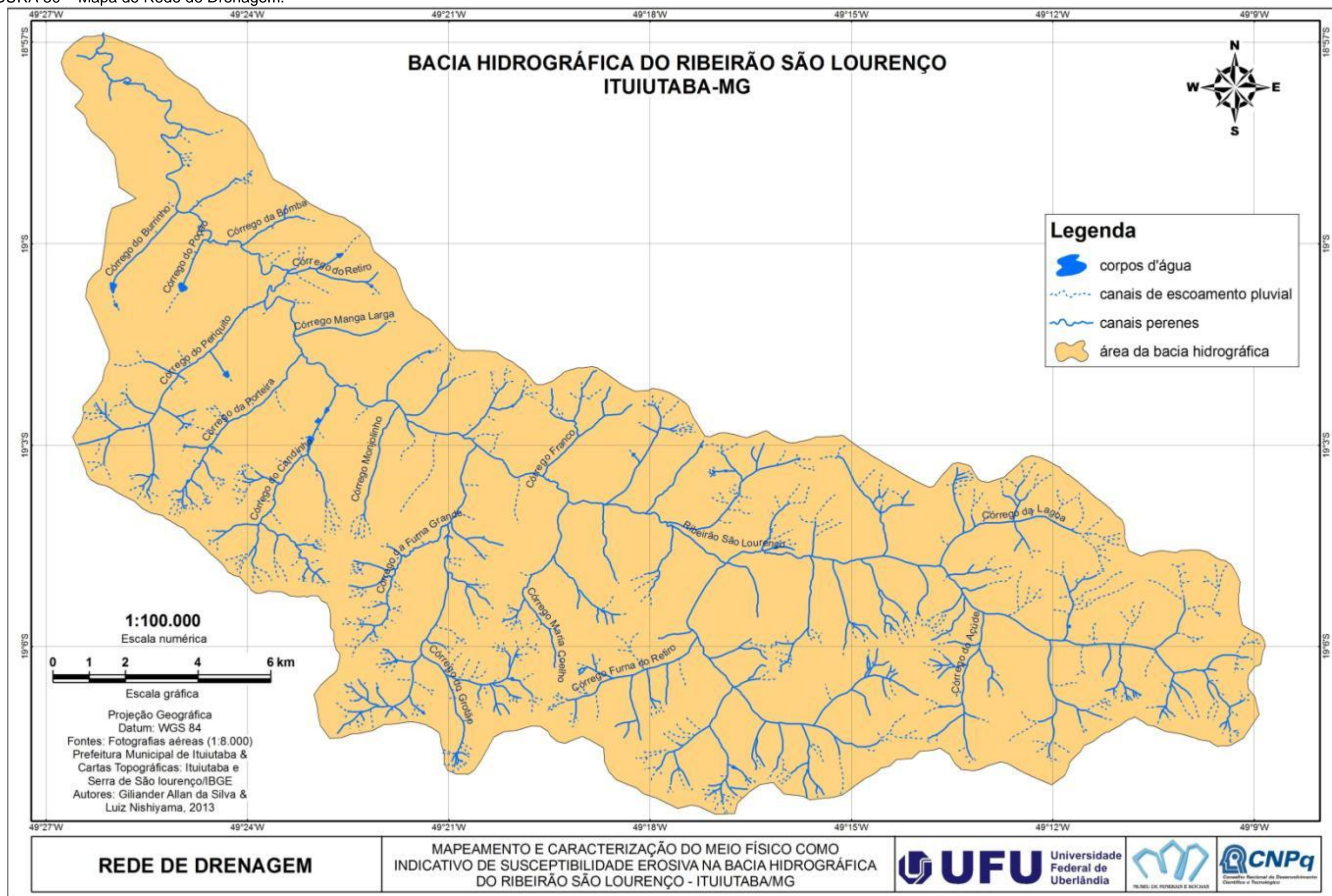
A redução dos canais de escoamento pluvial está condicionada, dentre outros fatores, pelos menores declives visualizados a partir do sopé das feições escarpadas. Nestas áreas, a capacidade de infiltração é maior pelo material inconsolidado mais espesso e permeável. Os canais de fluxo perene tendem a se localizar exatamente nestas áreas.

Passa de uma dezena o número de cursos d'água perene mapeados na bacia hidrográfica em estudo. Observou-se que, na maioria dos casos, o represamento de água é feito para utilização nas lavouras ou para a dessedentação de animais.

O represamento de águas nos canais tributários tem a capacidade de alterar o regime de vazão do canal principal. Desta forma, este tipo de intervenção na bacia hidrográfica necessita de maior fiscalização, ou seja, avaliação das outorgas concedidas. Estas ações podem preservar o regime hidrológico da bacia, assegurando a disponibilidade de água para a população de Ituiutaba.



FIGURA 30 – Mapa de Rede de Drenagem.





### 6.1.5 Mapa de Espessuras dos Materiais Inconsolidados

O Mapa de Espessura dos Materiais Inconsolidados foi elaborado com intervalos de espessuras pré-definidos e com base nas observações em campo, correlações de proximidade e procedimentos de fotointerpretação.

Ao observar a distribuição das classes de espessuras dos materiais inconsolidados (FIGURA 31), nota-se que as coberturas menos espessas situam-se primordialmente baixo curso do ribeirão São Lourenço. As áreas com predominância da classe menor que 2 metros, também são verificados em outras duas superfícies: nas escarpas dos relevos residuais, localizadas nas extremidades da bacia hidrográfica; e nas rupturas em média vertente, acompanhando a cota próxima de 590 metros.

Ambas as ocorrências estão vinculadas a particularidades do substrato rochoso. A primeira por uma camada menos permeável originada pela cimentação carbonática (Formação Marília), e a outra, pela presença de um nível mais rígido, com maior cimentação do arenito da Formação Adamantina.

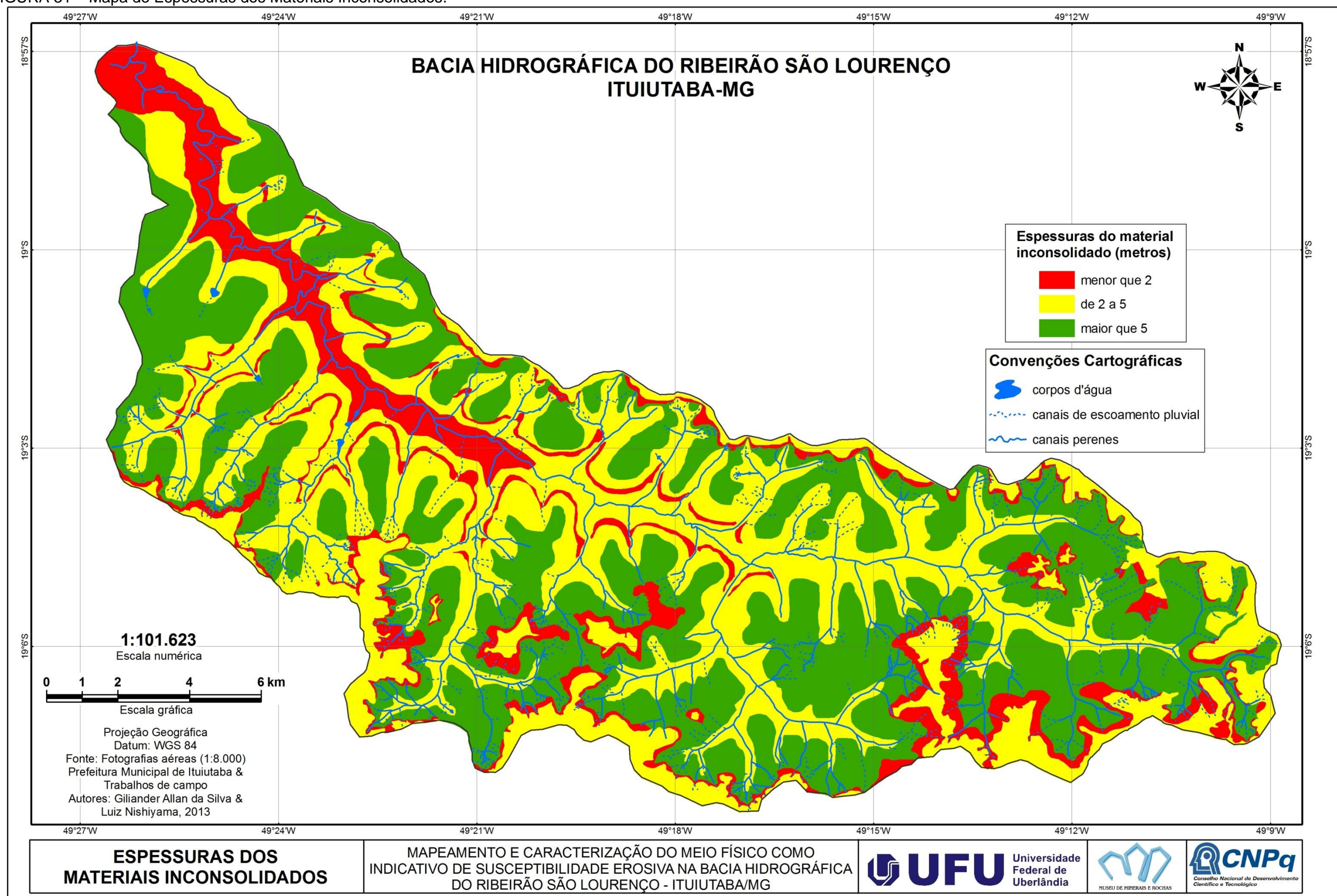
A classe mais espessa (maior que 5 metros) apresenta grande distribuição espacial. Ocorre especialmente nas áreas de depósitos dos materiais oriundos da dissecação dos relevos residuais. A deposição inicia-se imediatamente pós escarpas e finda rumo ao fundo de vale com a transição para a camada menos espessa (de 2 a 5 metros).

O intervalo de 2 a 5 metros apresenta a maior distribuição pela bacia hidrográfica. São verificados nas porções de topo dos relevos residuais e em áreas mais distantes dos testemunhos.

As classes de espessuras estão distribuídas superficialmente da seguinte forma: menor que 2 metros, 13,76%; de 2 a 5 metros, 43,93% e maior que 5 metros, 42,29%.

Os percentuais das espessuras mapeadas refletem a interferência da litologia na sua distribuição. A cimentação nos arenitos da Formação Marília e/ou Adamantina, originam situação de baixa permeabilidade e, conseqüentemente, menor espessura dos materiais inconsolidados.

FIGURA 31 – Mapa de Espessuras dos Materiais Inconsolidados.



### 6.1.6 Mapa de Declividade

Os valores de declividade foram representados por cinco classes de intervalos, sugeridas por Zuquette (1987) e igualmente utilizadas por Nishiyama (1998): 0 a 2%; 2 a 5%; 5 a 10%; 10 a 20 % e maior que 20%.

Observações no Mapa de Declividade da área mapeada permitiu-nos definir dois compartimentos principais, os quais foram diferenciados a partir da predominância de determinadas classes de declividade, embora na bacia hidrográfica ocorram as cinco classes.

O primeiro compartimento está associado aos relevos residuais. Compreendem as classes de 10 a 20 % e maior que 20 % de declividade, e sua localização se dá nas escarpas, especialmente na porção sul com ocorrência também a nordeste da área da bacia.

Nesta mesma classe, representativa área encontra-se curiosamente localizada no baixo curso do ribeirão São Lourenço. Naturalmente, a evolução do relevo tende a configurar numa área de jusante, baixos índices de declividade. A presença de material rochoso (basalto) subjacente com maior resistência condicionou as vertentes íngremes (FIGURA 32). Além da constatação em campo, por fotointerpretação esta área se singulariza por apresentar textura superficial rugosa, que denota delgada espessura do material inconsolidado sob o substrato.

O segundo compartimento refere-se às vertentes amplas e relativamente planas. Distribui-se por toda área da bacia hidrográfica com declividades menores que 10 %, tendendo à diminuição do declive, rumo aos canais de drenagem. As características de declividade podem ser verificadas pela FIGURA 33.

O Mapa de Declividade evidencia em colorações quentes (laranja e vermelho), extensas áreas escarpadas. Esta configuração no modelado caracteriza os relevos residuais, recorrentes em alguns locais no Triângulo Mineiro, outrora mapeados pelo Projeto RADAMBRASIL (1983).



FIGURA 32 – Declive sob os basaltos próximo à calha do ribeirão São Lourenço.



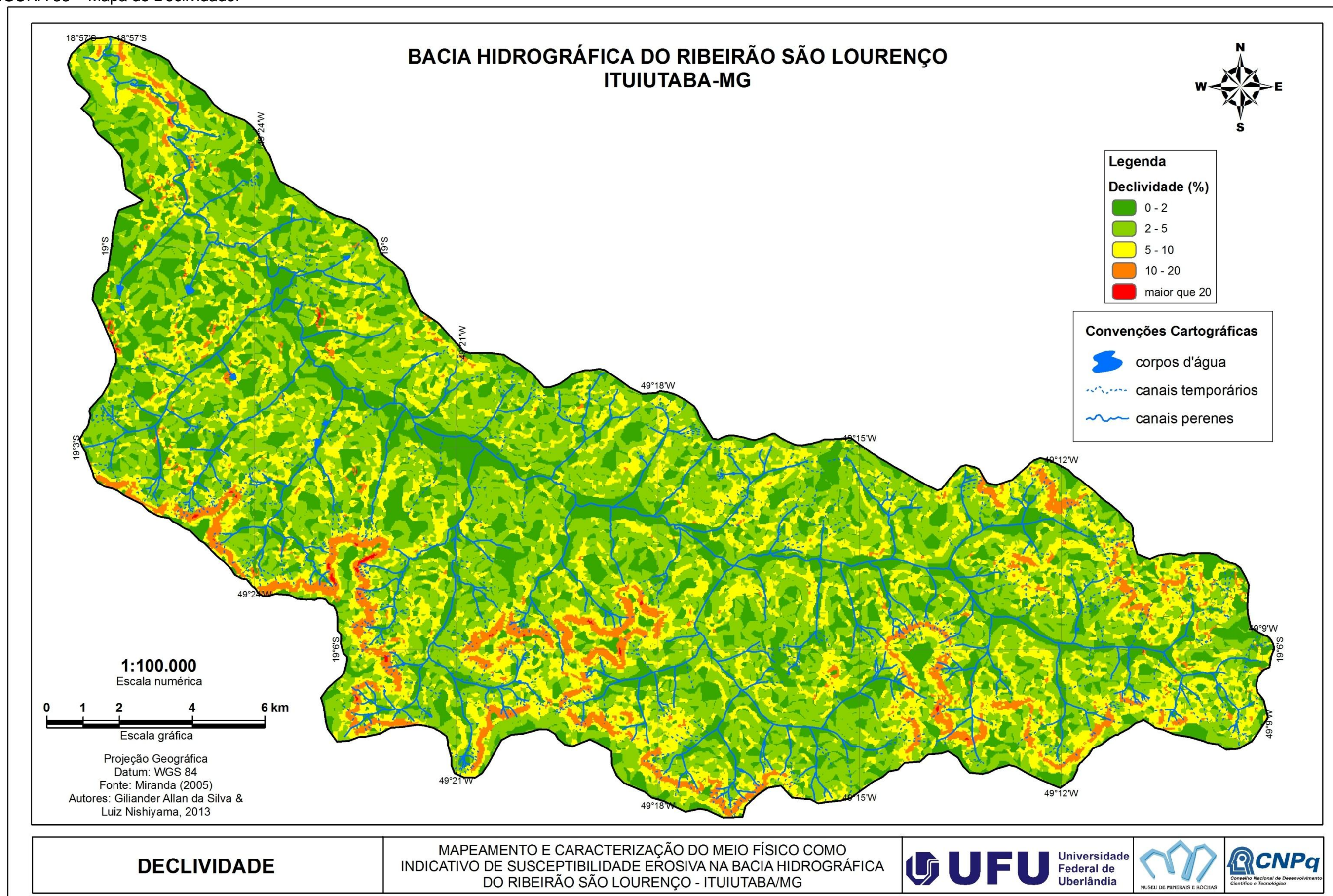
Fonte: Allan-Silva (2013).

Os relevos residuais delimitam a bacia hidrográfica em estudo, especialmente nas porções sul e nordeste, conferindo características particulares a todo o sistema de drenagem. As extensas áreas em alto declive potencializam o fluxo superficial nos episódios de chuvas, abreviando a presença de água na área da bacia e, por outro lado, desfavorecendo a infiltração.

Resulta desta dinâmica, uma disponibilidade volumosa de água, sobretudo no canal principal, porém rápida. Desta forma, menores taxas do recurso hídrico são mantidas no sistema de drenagem. Este fator pode comprometer a disponibilidade de água para captação, tratamento e distribuição para a população de Ituiutaba.



FIGURA 33 – Mapa de Declividade.



## 6.2 Mapas de segundo nível

### 6.2.1 *Mapa de Registros de Feições Erosivas*

O mapeamento das feições erosiva na Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço resultou num número de 1.773 ravinas e 104 voçorocas.

Em algumas áreas houve uma grande concentração de ravinas, as quais estiveram relacionadas a características particulares da rocha ou do material inconsolidado. Dentre estes locais pode-se destacar: as vertentes escarpadas; as porções de topo dos relevos residuais; arredores de terracetes e estradas; zonas de fraqueza (fraturas) do basalto no baixo curso; em rupturas de barreiras e curvas de nível mal executadas; e por exsudação por deslocamento de lateral no topo de camadas menos permeáveis.

A alta declividade nas escarpas dos relevos residuais é susceptível a processos erosivos uma vez que favorece o escoamento de alta energia, ou seja, de grande velocidade. Além disso, o volume de água é ampliado por receber contribuições das porções de topo dos residuais, cujos elevados níveis de cimentação carbonática reduzem a capacidade de infiltração da água das chuvas, disponibilizando-a para o escoamento em superfície.

Ainda há algumas áreas que exercem função de coletoras de fluxo superficial de água por apresentarem no relevo uma tendência de convergência do fluxo superficial para um único ponto, assemelhando-se aos anfiteatros. Desta forma, a encosta apresenta concavidade seja no perfil vertical quanto horizontal, tais características favorecendo o fluxo (transporte/erosão) no declive e deposição no fundo de vale.

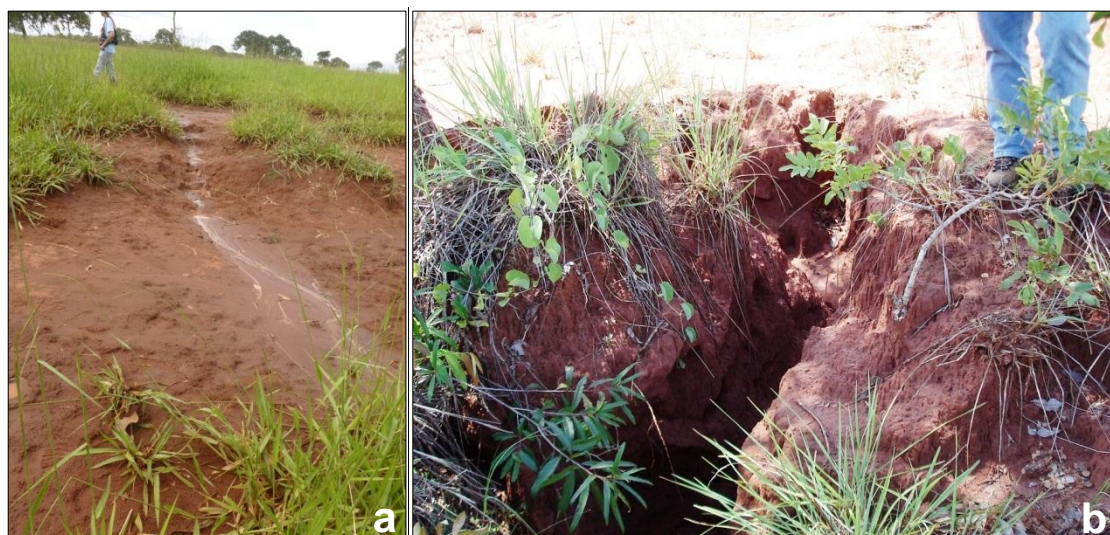
Grande número de ravinas foi observado em áreas de pastagem, seja nos caminhos feitos pelos gados (terracetes) ou então em locais com práticas de curvas de nível.

Naturalmente os gados direcionam-se para locais onde há acúmulo de água como: represas, córregos e lagos. Por serem locais topograficamente rebaixados, os caminhos gerados pelo pisoteio do gado tende a intensificar o escoamento superficial pela compactação do solo e remoção da vegetação



nestas áreas topograficamente rebaixadas, gerando processos erosivos mais evoluídos (FIGURA 34).

FIGURA 34 – Exemplos de processos erosivos na BHRSL: a) princípio de escoamento superficial em caminho preferencial compactado devido ao pisoteio do gado; b) ravina.



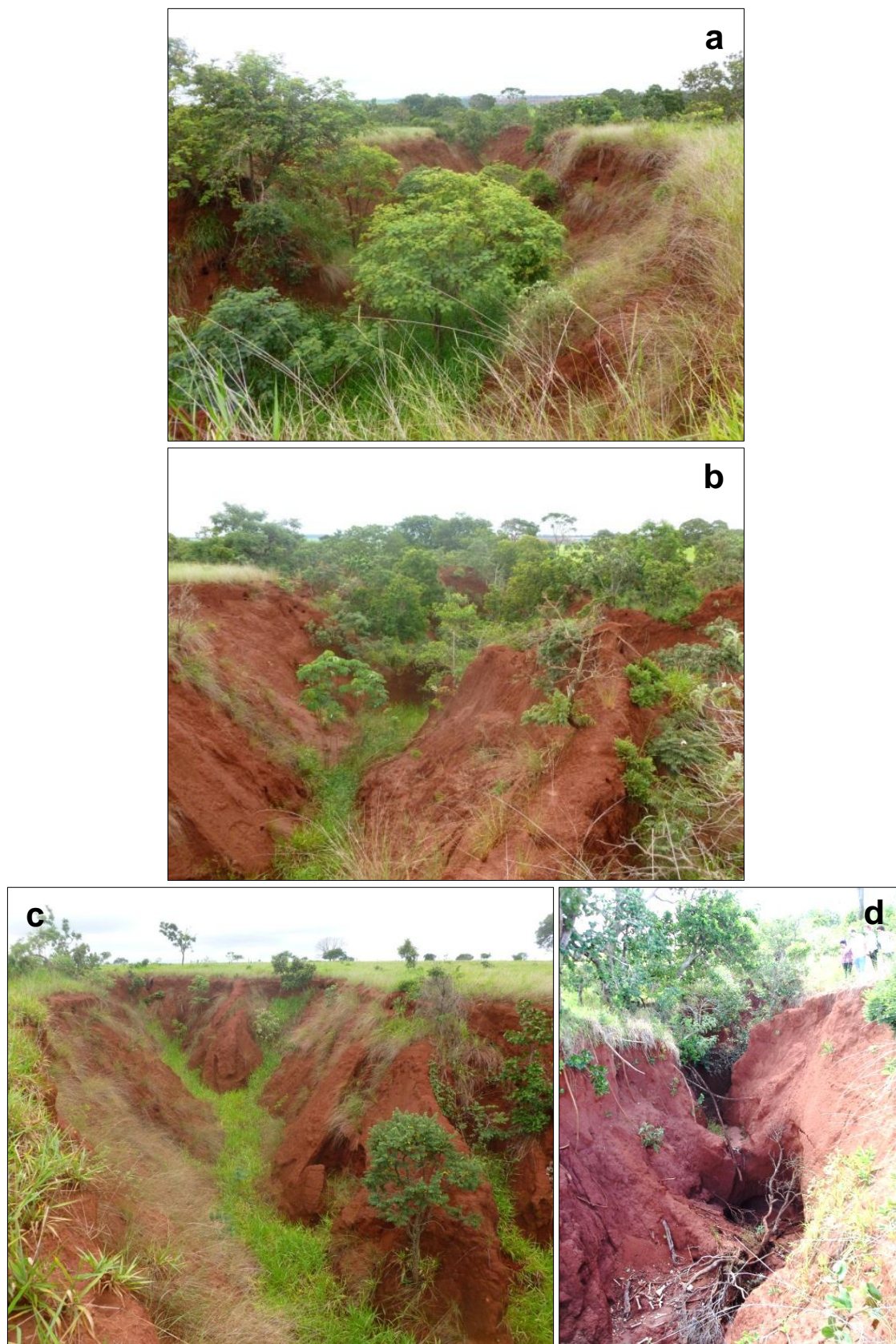
Fonte: COSTA, Húrbio Rodrigues de Oliveira (2012) e Allan-Silva (2013).

Já nas áreas de terraços em nível, por fotointerpretação identificou-se locais onde estes terraços não acompanham a cota altimétrica, ou seja, direcionando o fluxo de água para áreas mais baixas. Outras ocorrências estão vinculadas às zonas de grande concentração de água pluvial, provocando a ruptura da barreira construída a partir da curva de nível.

Nas áreas do baixo curso, em particular, onde o relevo está estruturado pelo substrato geológico, a ocorrência de ravinas está condicionada pelos planos de fraqueza da rocha, as fraturas, que são comuns nas rochas basálticas.

Há áreas singulares onde se acham presentes ravinas e outras feições erosivas mais evoluídas (voçorocas) (FIGURA 35). Materiais inconsolidados transportados apresentam variações de permeabilidade entre as camadas devido às características granulométricas e de cimentação. As camadas menos permeáveis funcionam como assoalhos que condicionam o nível de água subsuperficial. A exsudação de água, que na maioria das vezes originam cabeceiras de drenagem, é condicionada pela presença de níveis menos permeáveis subjacentes gerando processos erosivos pelo fluxo de água.

FIGURA 35 – Voçorocas em vários estágios, na BHRSL: a) estabilizada; b) em fase de estabilização; c) estabilizada, porém com sinais de reativação; e d) ativada, em fase de aprofundamento.



Fontes: Costa (2012) e Allan-Silva (2013).



Embora as voçorocas se distribuam por praticamente toda a extensão da área em estudo, há predominância de ocorrências sobre os materiais residuais e transportados arenosos da Formação Marília. Apenas cerca de 2 % das voçorocas ocorrem em coberturas superficiais mais coesas e argilosas, como é o caso do material residual da Formação Serra Geral.

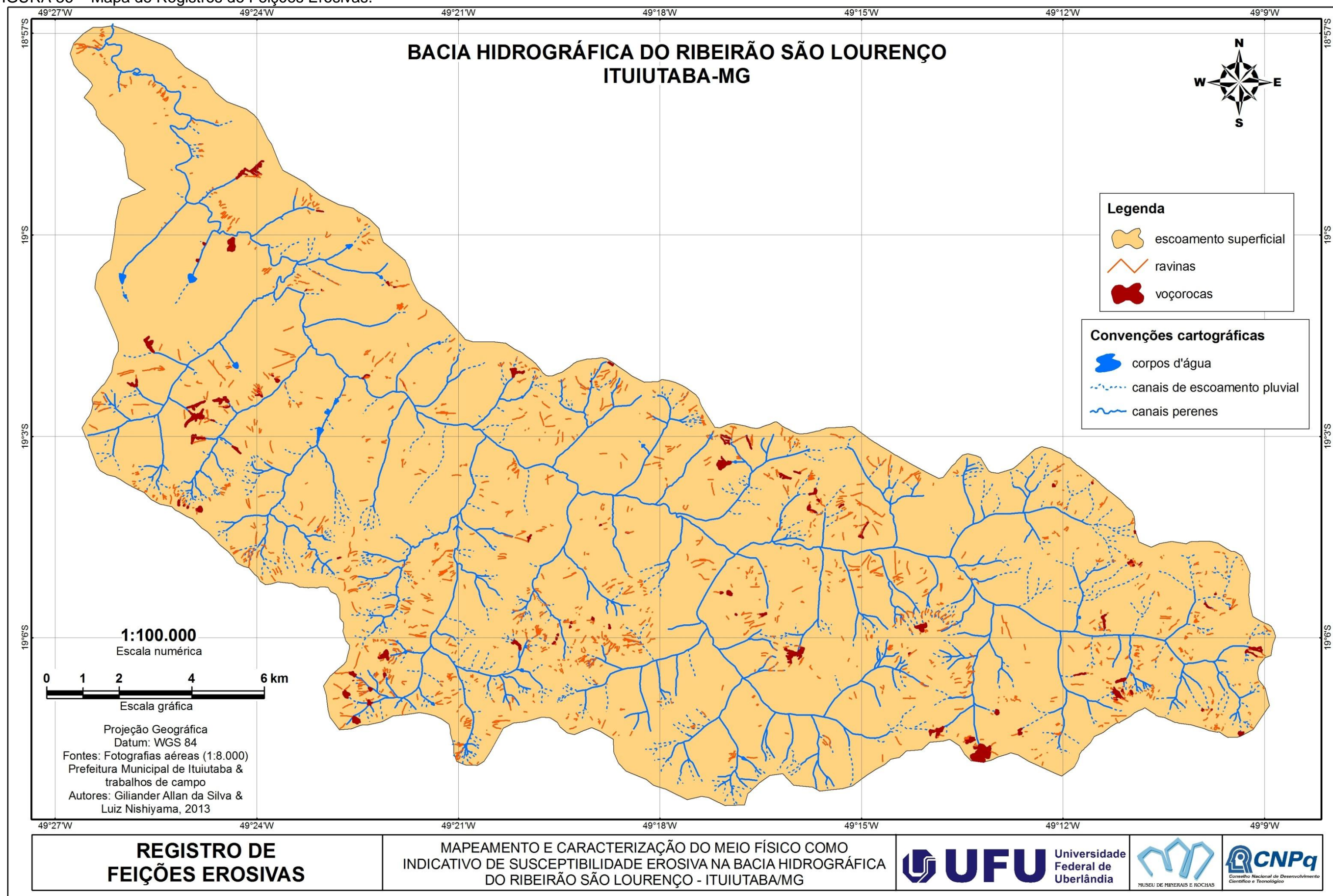
As voçorocas típicas da área afetam espessos pacotes de material inconsolidado, com concentração de 60 % de areia pouco coesa e mais de 90 % delas estão em fase ativa.

Os relevos residuais apresentam grande número de cabeceiras de drenagem. Estas por sua vez são grandes responsáveis pela ocorrência de erosões. Nas áreas de bordas dos relevos residuais, nota-se uma forte tendência ao fluxo rápido do escoamento superficial que é o gatilho para evolução e agravamento dos processos erosivos.

A reduzida permeabilidade entre camadas resulta, dentre outros fatores, na diminuição da migração de água de infiltração e até mesmo na sua retenção vertical. Por outro lado, as águas retidas tendem a se tornar fontes naturais pela exsudação lateral, que na maioria das vezes coincide com o contato entre substrato rochoso e material inconsolidado.

Ressalta-se que, além dos fatores comuns que ocasionam e intensificam os processos erosivos, e amplamente estudados, como: ausência de vegetação, altos índices de declividade e episódios chuvosos de grande intensidade, características particulares da área em estudo possibilitam maior ocorrência de ravinas e voçorocas na área, como podem ser notadas na FIGURA 36.

FIGURA 36 – Mapa de Registros de Feições Erosivas.



### 6.2.2 Mapa de Uso e Ocupação

As atividades antrópicas exercem influência direta sobre o ambiente gerando impactos. No caso das erosões, as ações geridas pelo homem podem promover feições erosivas ou intensificar processos em curso, inclusive aqueles que ocorrem de forma natural.

Desse modo, por considerar que as ações humanas produzem os mais variados efeitos ao meio físico, elaborou-se o Mapa de Uso e Ocupação da BHRSL (FIGURA 37). Verifica-se que a utilização deste atributo na sobreposição de temas é indispensável para se chegar a um documento cartográfico que possibilite apresentar os diferentes níveis de susceptibilidade erosiva na bacia hidrográfica, seja por características naturais ou então pelas formas de ocupação implementadas pelo homem.

A TABELA 2 apresenta a condição do uso e ocupação da terra na Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço a partir dos valores de área.

TABELA 2 - Áreas das classes de uso e ocupação na BHRSL.

Classes de uso e ocupação	área		
	km <sup>2</sup>	ha	%
vegetação nativa	128,5	12.850	43,56
área urbana	0,65	65	0,22
pastagem	136,2	13.620	46,17
agricultura	28,55	2.855	9,68
corpos d'água	1,1	110	0,37
<b>total</b>	<b>295</b>	<b>29.500</b>	<b>100</b>

Fonte: Allan-Silva (2013).

Ao analisar o percentual de vegetação nativa, observa-se que o valor é bastante representativo, na ordem de 43,5% (FIGURA 38). Comparando o Mapa de Uso e Ocupação e o Mapa de Declividade nota-se que onde prevalecem elevadas declividade favorece a manutenção da vegetação nativa e, por outro lado dificulta a entrada de maquinários e utilização como pastagem. Importante considerar que a existência da vegetação em determinados locais, não é suficiente para que estas áreas se mantenham estáveis do ponto de vista erosivo, em outras palavras, a vegetação auxilia, mas não garante por completo a proteção aos processos erosivos.



FIGURA 37 – Mapa de Uso e Ocupação.

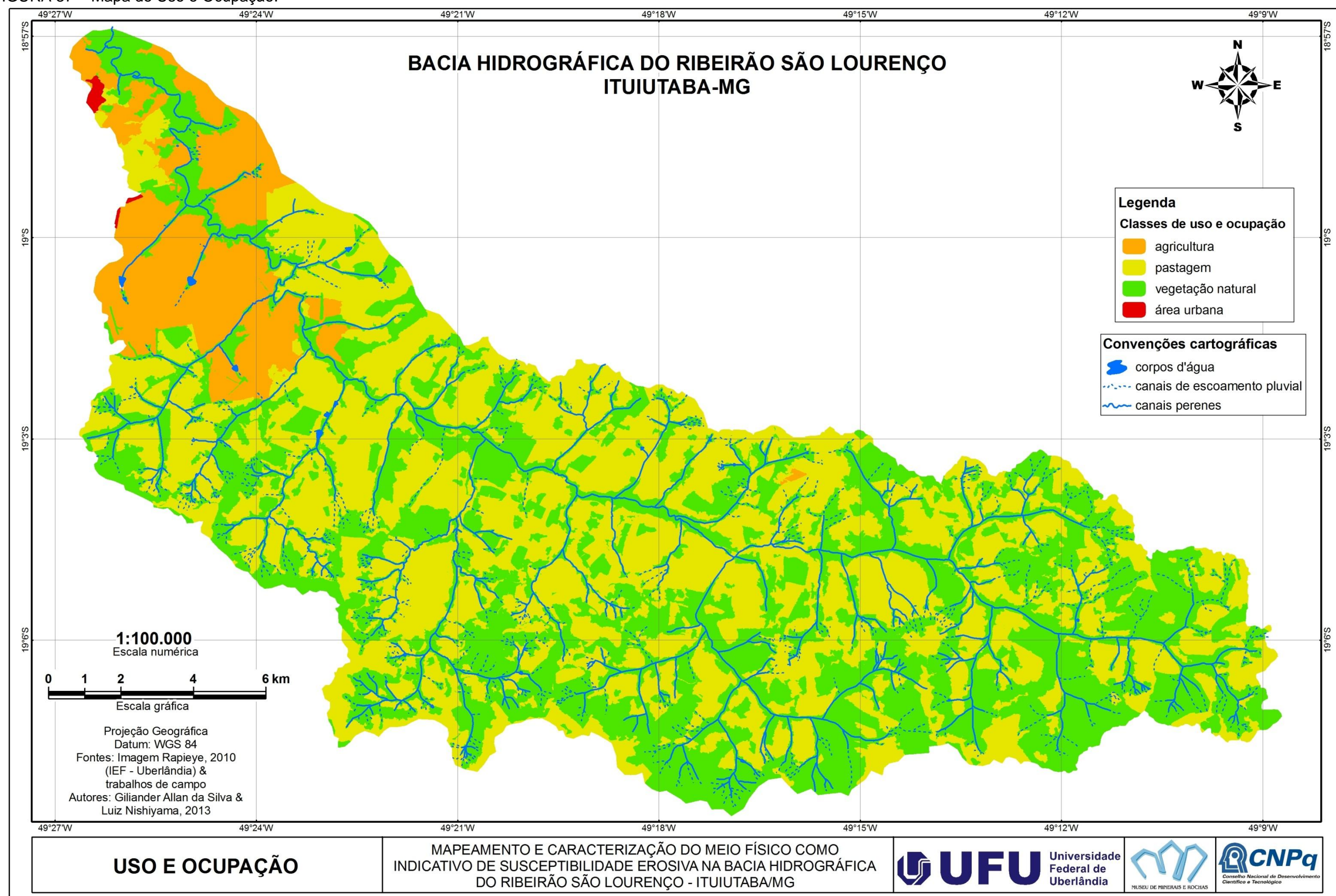




FIGURA 38 – Áreas de vegetação nativa na BHRSL: a) mata preservada próxima ao interflúvio da margem direita da BHRSL; b) mata em sopé dos relevos residuais.



Fonte: Allan-Silva (2012 e 2013).

O uso urbano da área da bacia do ribeirão São Lourenço representa um pequeno valor em termos percentuais. Embora já mencionado no capítulo 2 deste trabalho, uma das frentes de urbanização da cidade de Ituiutaba (MG) avança sobre a área da bacia. Embora nos dias de hoje, a área urbana ocupe menos de 1% da área em

estudo, este percentual tende a aumentar. Os problemas gerados sob a ótica das erosões, sobretudo, pelo escoamento pluvial aumentado nas áreas construídas, poderão ser refletidos em processos erosivos nas adjacências destes novos bairros.

Mais de 130 km<sup>2</sup> ou 46% da área da bacia hidrográfica está destinada à pastagem (FIGURA 39). Esta forma de uso distribui-se por praticamente toda bacia, inclusive nas frágeis áreas de topo dos relevos residuais. Como já mencionado no subtópico 6.2.1, nestas áreas a ausência de manejo adequado é o principal responsável por ocasionar e/ou intensificar feições erosivas.

FIGURA 39 – Área de pastagem localizada na margem direita do ribeirão São Lourenço.



Fonte: Allan-Silva (2012).

Quase 10% da área total da bacia são utilizadas ao plantio. De toda área plantada, a maioria é voltada ao cultivo de cana-de-açúcar e, em porções menores, o cultivo de soja. Nota-se que nas proximidades da malha urbana as práticas de agricultura são mais proeminentes. Dois fatores importantes resultam desta configuração espacial: a proximidade da cidade, o que remete ao menor custo de transporte da produção e locomoção do produtor, e relevo plano que facilita a utilização de maquinários (FIGURA 40).



FIGURA 40 – Cultivo de cana-de-açúcar em primeiro plano e em segundo plano preparo do solo para plantio de cana-de-açúcar na BHRSL.



Fonte: Allan-Silva (2012).

As áreas úmidas compreendem menos de 1% da bacia hidrográfica e são, de modo geral, as nascentes alagadiças no alto curso e esparsas áreas próximas aos fundos de vale onde ocorre exsudação por movimento lateral nas camadas menos permeáveis (FIGURA 41). Os corpos d'água mapeados são represas, utilizadas para irrigação de culturas e dessedentação de animais.

FIGURA 41 – Exemplos de corpos d'água presentes na BHRSL: a) represa em área de vereda no médio curso; b) áreas alagadas em veredas no alto curso do ribeirão São Lourenço.





Fonte: Allan-Silva (2013 e 2014).

### 6.3 Mapa de terceiro nível

O escoamento superficial é um fator relevante para o desencadeamento e evolução de processos erosivos acelerados. Estabelecer diferentes níveis para a ocorrência deste evento torna-se importante por contribuir com medidas preventivas e corretivas, no sentido de minimizar os impactos ao ambiente gerados pela erosão. Neste sentido, elaborou-se no terceiro nível cartográfico o Mapa de Potencial ao Escoamento Superficial (FIGURA 42).

Este documento foi obtido pela sobreposição de quatro mapas de atributos do meio físico, os quais fazem parte dos documentos cartográficos do primeiro nível, sendo eles: substrato rochoso, materiais inconsolidados, espessuras dos materiais inconsolidados e declividade. Para todos os atributos foram usados percentuais de importância iguais (25% para cada um deles).

Resultou da sobreposição dos mapas com diferentes atributos do meio físico, um mapa com três classes, as quais apresentam as áreas com menor à maior possibilidade de ocorrência de escoamento superficial num episódio chuvoso.



Distribuindo-se por mais de 70% da área da bacia hidrográfica, as porções com baixo escoamento superficial estão vinculadas a áreas com declividades de até 10%, onde ocorrem materiais inconsolidados com espessura superior a 2 metros, em locais com litologias arenosa das Formações Adamantina e Marília. É uma área extensa e abrange variados tipos de materiais inconsolidados como: RMar, TMar, TMarAdam e H.

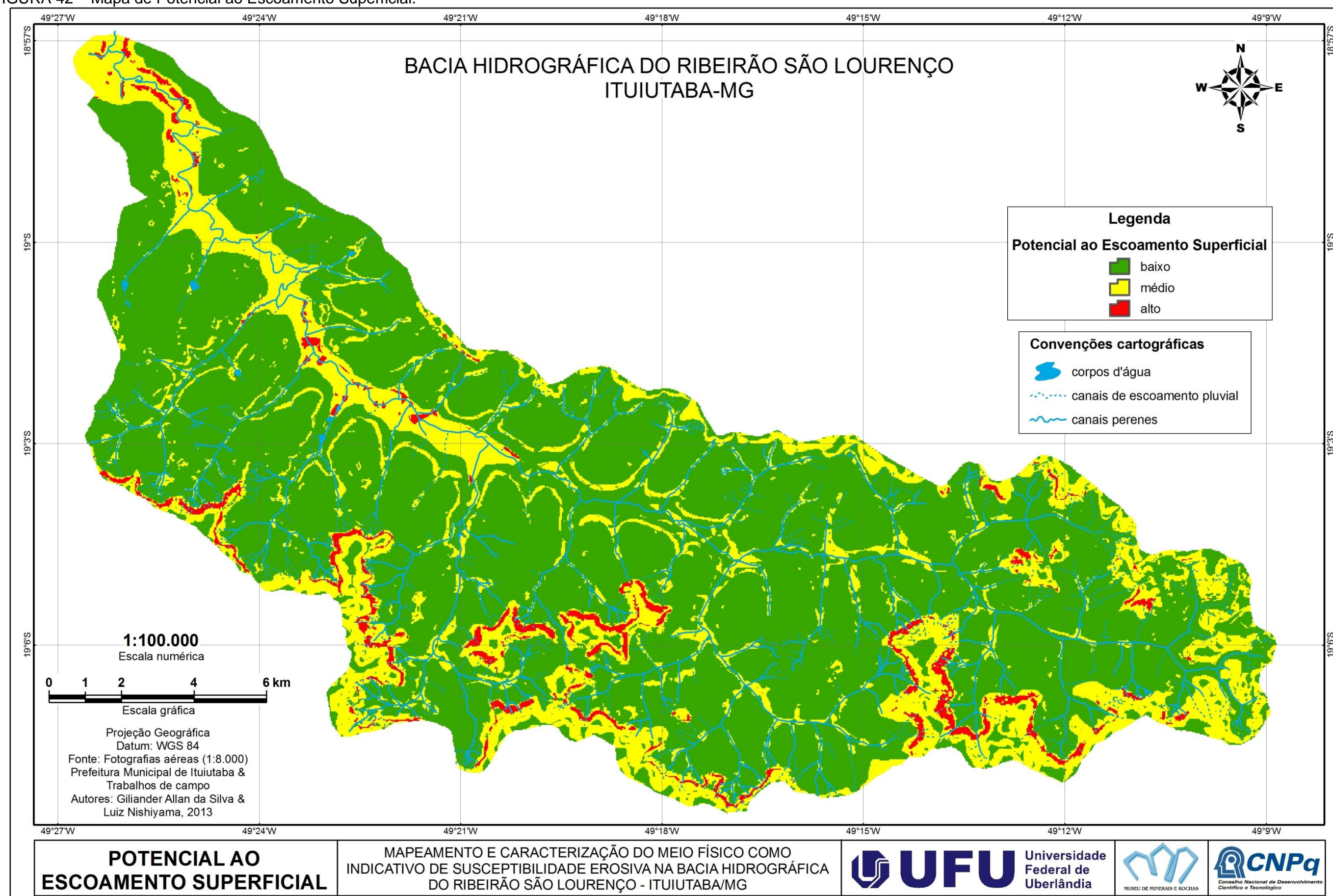
As áreas com potencial de escoamento superficial médio estendem-se por mais de 23% da BHRSL. Distribui-se no fundo de vale do baixo curso, nas escarpas e sopés dos relevos residuais e em faixas ao longo das vertentes em cotas de 590 a 600 metros de altitude e nas cabeceiras no alto curso, vinculadas à movimentação do relevo.

Coincidem com a ocorrência de potencial ao escoamento médio, áreas com declividade de 10 a 20%, zonas com espessuras do material inconsolidado inferior a 2 metros e em locais de afloramento do basalto. Abarca o material inconsolidado RSG em quase sua totalidade, o RPEAd e RPEMar, e parcialmente o H.

As porções definidas com alto potencial ao escoamento superficial representam 2,7% de toda bacia hidrográfica. Dispõe-se especialmente nas escarpas dos relevos residuais e próximo ao vale do Ribeirão São Lourenço no seu médio e baixo curso.

Os fatores mais influentes para tal ocorrência e distribuição são a declividade acentuada, com valores acima de 10%, materiais inconsolidados com espessura inferior a 2 metros. Desta forma, os Materiais Inconsolidados Residuais de Pequena Espessura da Formação Marília (RPEMar) e dos Residuais da Formação Serra Geral (RSG) são os ocorrentes nestas áreas de alto potencial ao escoamento superficial.

FIGURA 42 – Mapa de Potencial ao Escoamento Superficial.



#### 6.4 Mapa de quarto nível

As erosões são as maiores causas de perda da produtividade de um solo, seja pelo transporte de sedimentos e matéria orgânica presentes nas camadas superiores, seja pelas incisões no solo originadas por caminhos preferenciais, que removem os horizontes superiores e inferiores. Nos dois casos sempre gera perda para a agricultura e para os demais usos. Como processos naturais, o material transportado faz parte do fluxo fluvial, se depositando em algum local do canal, onde a força de transporte é incipiente.

O curto espaço de tempo envolvido para o desenvolvimento das erosões aceleradas as caracteriza como processos de alto poder de transformação da paisagem. Episódios de chuvas torrenciais, mesmo de curta duração, podem produzir grandes canais e volumosos fluxos com intensa remoção de materiais, gerando ravinas e voçorocas.

Elaborou-se um Mapa de Potencial à Erosão (FIGURA 43), o qual foi obtido por sobreposição controlada do Mapa de Potencial ao Escoamento Superficial (3º nível) e o Mapa de Registros de Feições Erosivas, este, com acréscimo de procedimentos pormenorizados no item 5.7 “Elaboração do mapa de quarto nível”. Adotaram-se percentuais de influência de cada atributo com o mesmo peso, de 50% para cada um deles.

Desta forma, o documento cartográfico elaborado leva em consideração, além das características dos materiais inconsolidados obtidas a partir dos ensaios em campo e laboratório, a ocorrência de feições erosivas registradas em observações em campo e nas fotografias aéreas.

Conforme já realizado anteriormente, na elaboração do mapa de terceiro nível, determinaram-se pesos às diferentes variações dos atributos, de acordo com a sua maior ou menor influência no ambiente para o desenvolvimento de erosões aceleradas. Convém ressaltar que as ações antropogênicas não são levadas em consideração neste quarto nível. Assim, a partir da matriz de sobreposição entre os dois atributos, gerou-se um mapa com quatro níveis de potencial à ocorrência de erosões, a saber: baixo, médio, alto e muito alto.

As porções mapeadas como baixo potencial à erosão estão representadas pela coloração verde escura e distribuem-se em toda a extensão da bacia. Ocupam 54% da área da bacia hidrográfica e o ambiente onde se expressam tem como principal característica a não ocorrência de feições erosivas aceleradas (ravinas e voçorocas) associados às porções de baixo potencial ao escoamento, representadas no mapa de terceiro nível.

As áreas de médio potencial à erosão, representada em cor em verde claro, encontram-se distribuídas por mais de 35% de toda extensão da bacia hidrográfica. Apresentam-se principalmente nas áreas onde o mapa de terceiro nível classificou como potencial ao escoamento médio e locais com ocorrência de feições erosivas do tipo ravinas.

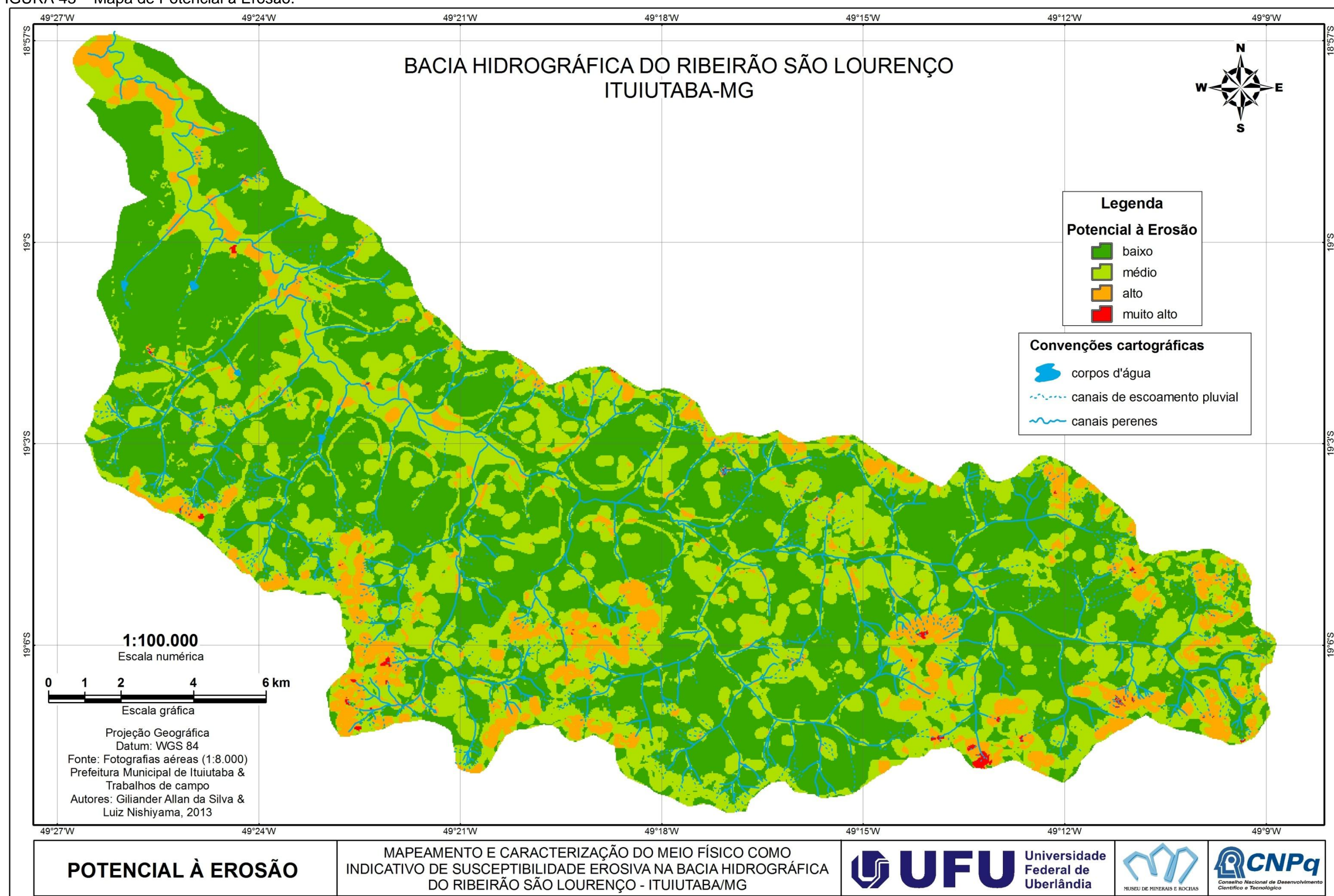
Os locais definidos como alto potencial à erosão foram representados pela cor laranja. Distribuem-se por quase 9% da área da bacia, e apresenta como principais característica, áreas mapeadas como alto e médio potencial ao escoamento superficial e ocorrência de ravinas.

As áreas com muito alto potencial à erosão, representado em vermelho e com menos de 1% de abrangência, estão vinculadas a locais com alto potencial ao escoamento e áreas já mapeadas com ocorrência de voçorocas.

Pelas observações em campo e análise de fotografias aéreas é possível notar que as formas erosivas são resultantes de processos naturais e antropogênicos. As feições consideradas naturais estão vinculadas às próprias condições de instabilidade do material inconsolidado, tais como: erodibilidade e erosividade. Por outro lado, ações antrópicas como a abertura de estradas, caminhos de gado, terraços em nível subdimensionados ou sem conservação e a supressão da vegetação natural foram os fatores responsáveis pelo desencadeamento ou intensificação de feições erosivas aceleradas.



FIGURA 43 – Mapa de Potencial à Erosão.



## 6.5 Mapa de quinto nível

O mapa do último nível recebeu o nome de Mapa de Susceptibilidade à Erosão (FIGURA 44). Sua obtenção originou da sobreposição do mapa do quarto nível e o Mapa de Uso e Ocupação do solo da bacia do São Lourenço. Desta maneira, percebe-se nesta ultima etapa que os fatores antropogênicos exercem influência no resultado na susceptibilidade à ocorrência de erosões.

Os tipos de uso e ocupação do solo podem influenciar diretamente os processos erosivos em uma área. Na bacia hidrográfica em estudo, o perfil não é diferente, como já mencionado no item 6.2.1 (Mapa de Registros de Feições Erosivas), vários são os fatores, naturais e antrópicos, que podem desencadear ou intensificar erosões.

Por considerar importante a capacidade do homem em alterar o meio em que vive, e, sobretudo, pela rapidez de transformação do meio, o atributo “uso e ocupação” compõem o mapa que resulta na susceptibilidade à ocorrência de erosões. Resulta da integração dos atributos um mapa com três níveis de susceptibilidade: baixa, média e alta.

Embora o Mapa de Uso e Ocupação apresente variados tipos de uso, o peso atribuído em cada tema foi similar, exceto para a ocupação urbana. Para tanto, levaram-se em consideração as influencias que determinados usos podem contribuir para o desenvolvimento de feições erosivas.

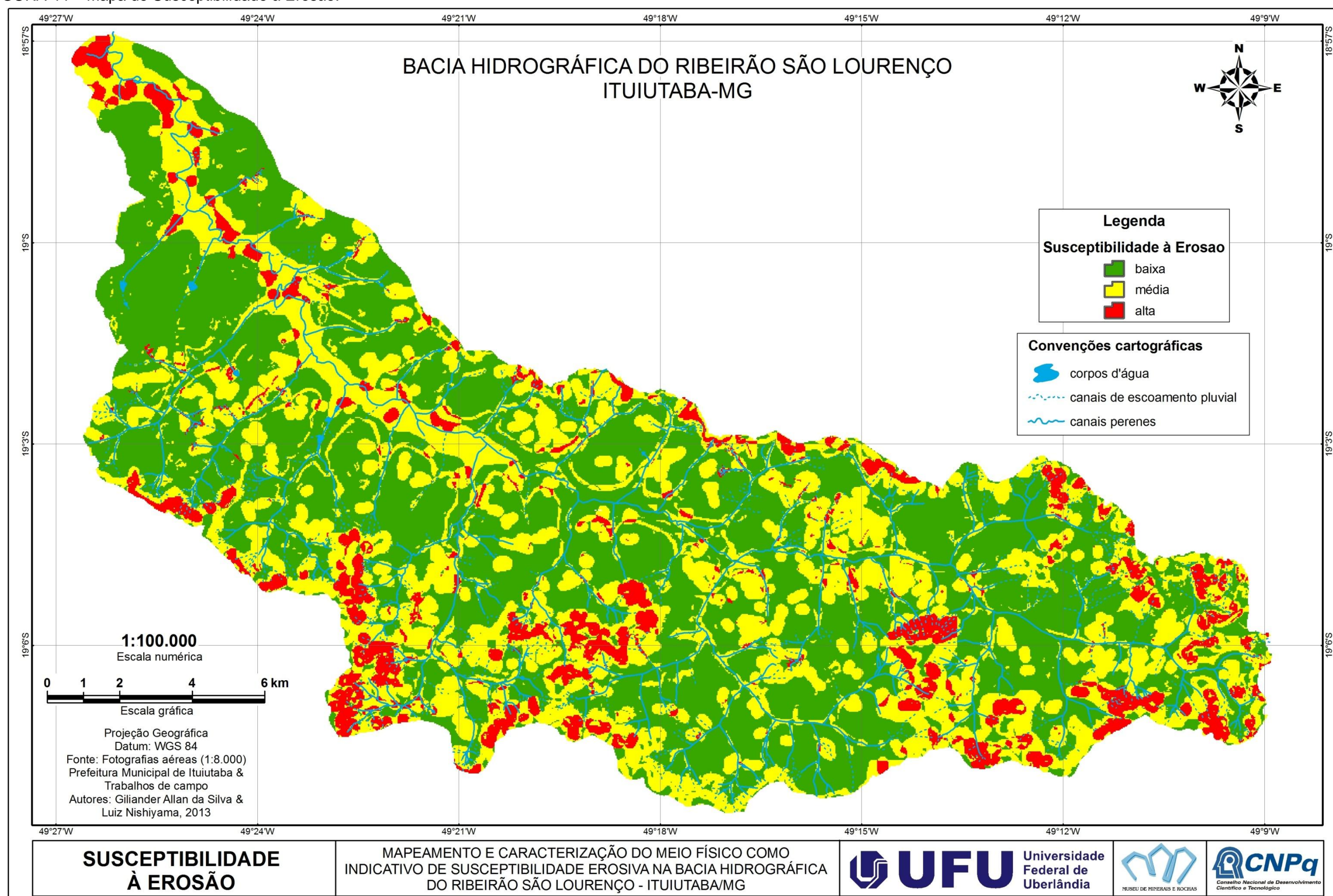
As áreas classificadas com baixa susceptibilidade à erosão distribuem-se por quase 54% da bacia. Em geral, localizam-se em áreas de relevo aplainado, caracterizada com baixo potencial à erosão no mapa de quarto nível. Além disso, são áreas onde não foram registradas feições erosivas.

As porções definidas com média susceptibilidade às erosões ocupam 36,9% da bacia hidrográfica. São representadas pelas áreas mapeadas como de médio potencial à erosão. Caracterizam-se pela presença de feições erosivas do tipo ravinhas, declividade superior a 10%, predomínio da litologia basáltica e faixas com predominância de material litológico menor permeável (RPEAd).

Áreas com alta susceptibilidade distribuem-se por 9,1% da bacia hidrográfica. Com a adição do atributo “uso e ocupação” nesta sobreposição, as áreas com características de médio e alto potencial à erosão, definidos anteriormente, passaram a compor a classe de alta susceptibilidade. As características que as definem são: áreas com alta declividade (superior a 10%) e locais com ocorrência de ravinas e voçorocas.



FIGURA 44 – Mapa de Susceptibilidade à Erosão.





## 7 CONCLUSÕES

A metodologia adotada para se chegar ao Mapa de Susceptibilidade à Erosão foi de grande importância para se realizar análises. Ao adotar um sequencial na integração de mapas, tornou-se possível avaliar as características da bacia hidrográfica com base nos atributos considerados na matriz de sobreposição.

Análise dos atributos do meio físico caracterizados por meio de interpretações de imagens de satélite, fotos aéreas, ensaios de laboratório e de campo, e levantamentos de campo evidenciaram que os relevos residuais exibem elevada susceptibilidade à erosão, especialmente na sua porção de topo. Porém, esta mesma condição não é verificada nas suas bordas escarpadas em razão da exposição dos litotipos da Formação Marília com cimentação calcífera. O uso do solo para finalidades de pastagem ou agricultura acentuam a condição de remoção e transporte de sedimentos nas superfícies de topo dos residuais. Esta situação de uso do solo, associada a materiais inconsolidados com baixa resistência mecânica à ação das águas pluviais, compõe um cenário de intensos problemas de erosão.

Por outro lado, constataram-se por meio dos ensaios, amostras que se caracterizaram como não erodíveis, embora as feições erosivas aceleradas estejam presentes na área pesquisada. Tal situação sugere que as feições erosivas podem estar vinculadas a outros fatores que predis põem o solo ao fluxo concentrado de água, como: pouca ou inexistente cobertura vegetal, compactação da superfície do solo, elevada declividade, pequena espessura do solo, dentre outros.

A matéria orgânica acumuladas nas camadas superficiais do solo tem a capacidade de agregar as suas partículas e a sua presença também pode explicar os resultados em que os solos apresentaram como não erodíveis nos ensaios de erodibilidade. Apesar de as camadas superiores se mostrarem coesas as porções inferiores, onde a influência da matéria orgânica deixa de existir, podem apresentar fragilidade à ação da água de escoamento superficial quando expostas, sendo removida.

As camadas de baixa permeabilidade presentes especialmente na unidade dos materiais inconsolidados Residuais de Pequena Espessura da Formação Adamantina, tendem a reduzir a percolação profunda da água da chuva e, conseqüentemente, condiciona a saturação hídrica da camada inconsolidada

sobrejacente. Desta forma, é comum identificar áreas com acúmulo de água logo após o episódio de chuvas, mesmo em épocas de chuvas pouco pronunciadas. Também é notável a exfiltração de água em determinados níveis das encostas, evidenciando um deslocamento de água predominantemente lateral.

Para áreas com estas características, a medida mais indicada é a construção de tanques/represas de contenção. Estas obras, se bem localizadas e dimensionadas, tendem a reter o grande volume de água das chuvas, liberando para a bacia hidrográfica vagarosamente, ou seja, há um tempo suficiente para ocorrer a infiltração, reduzindo o volume do fluxo de água gerado pelas chuvas, especialmente as do tipo torrencial.

O RPEMar é material superficial que mais apresenta processos erosivos do tipo ravinas em razão da elevada declividade nas escarpas onde o fluxo superficial ocorre especialmente, pelos canais de primeira ordem, em grande número, e com grande energia de transporte.

Frente ao mapeamento executado, as características levantadas e descritas neste trabalho e aos diversos usos deste curso d'água, fica evidente a necessidade de elaboração de um ordenamento da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.

Neste sentido, o mapa de Susceptibilidade à Erosão revelou que nas áreas que apresentam características como: material inconsolidado de pequena espessura e pouco permeável, valores de declividade acentuados, uso do solo vinculado à pecuária e agricultura e substrato geológico relacionado à rocha basáltica ou com graus de cimentação são áreas com alta susceptibilidade à erosão e necessitam de manejos e práticas adequadas, que estejam vinculadas à manutenção da mata nativa, ou reflorestamento.

Por outro lado, os locais mapeados com baixa susceptibilidade à erosão, são os mais indicados às práticas agropecuárias, com ressalvas, quanto ao manejo correto do solo e uso de insumos, uma vez que estes produtos podem chegar ao curso d'água por infiltração ou escoamento superficial.

As áreas de média susceptibilidade à erosão também necessitam de cuidados especiais, uma vez que apresentam processos erosivos de menor intensidade. Desta maneira, exige manejo para recuperar as áreas de ocorrência de ravinas e

práticas para adequadas para o uso sem que este desencadeie novas formas erosivas.

O elevado número de feições erosivas (Mapa de Registros de Feições Erosivas) presentes na bacia hidrográfica mostra que a carga de sedimentos que chega ao canal principal tende a ser elevada. Contudo, especialmente na época das chuvas, a carga sedimentar na água é muito maior, podendo resultar em maior custo para o tratamento da água.

Em razão da importância deste canal fluvial para o abastecimento público de Ituiutaba (MG), acredita ser de extrema necessidade um plano de gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do ribeirão São Lourenço. Neste âmbito, o trabalho aqui elaborado, pode ser base para este projeto indispensável e para novos estudos.

É fundamental destacar que, a população inserida na área de estudo precisa ser ouvida para que um plano de gestão não inviabilize a atividade econômica dessas pessoas, configurando um plano de gestão participativo de fato.

## REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. **Contribuição a Geomorfologia da área dos Cerrados**. In: Simpósio sobre o Cerrado. São Paulo: EDUSP, 97-103p. 1971.
- AGUIAR, A. B. O emprego do permeâmetro de guelph na determinação da permeabilidade do solo, de camadas de lixo e sua cobertura. **Dissertação** (Mestrado – Ciências em Engenharia). UFRJ: Rio de Janeiro, 2001. 90p.
- ALLAN-SILVA, G. **Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, Ituiutaba – MG**. Monografia (Conclusão de Curso). FACIP/UFU. Ituiutaba: 2011. 45p.
- ALLAN-SILVA, G.; NISHIYAMA, L. Influencia dos fatores naturais na infiltração de água na Bacia do Ribeirão São Lourenço, Ituiutaba – MG. **Anais do XVI Simposio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Vitória, 2013.
- ALVES, R. R. **Monitoramento dos processos erosivos e da dinâmica hidrológica e de sedimento de uma voçoroca**: estudo de caso na Fazenda do Glória na zona rural de Uberlândia-MG. 2007. 105 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.
- ARAGÃO, R.; ALMEIDA, J. A. P.; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. S. Mapeamento do potencial de erosão laminar na Bacia do Rio Japarutuba, SE, via SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.15, n.17. Campina Grande. p.731-740. 2011.
- ARCGIS RESOURCE CENTER. Disponível em:  
<[http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Weighted\\_Overlay/009z000000rq000000/](http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Weighted_Overlay/009z000000rq000000/)>. Acesso em: 28/mar./2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6508/84 - Ensaio de granulometria conjunta**. 1984
- AZEVEDO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D. **Solos e Ambiente**: uma introdução. Santa Maria: Pallotti, 2004. 100p.
- BACCARO, C. A. D. Processos Erosivos no Domínio do Cerrado. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos Solos**: conceitos, temas e aplicações (Org.). 8.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p.195-227.
- BACCARO, C. A. D. **Estudo dos processos geomorfológicos de escoamento pluvial em área de cerrado - Uberlândia, MG**. São Paulo. Tese (Doutorado) - Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, 1.990.
- BARBOSA, C. C. F. Álgebras de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Dissertação (mestrado)**. INPE: São José dos Campos, 1997.

BARBOSA, O.; BRAUN, O.P.G.; DYER, R.C.; CUNHA, A. R. da. **Geologia da região do Triângulo Mineiro. Ministério da Minas e Energia - Boletim DNPM.** Rio de Janeiro. Nº 136, 1970.

BARBOSA, Z.; BAHIA, V.G.; PAULA, M.B. Atuação da biota do solo na formação e estabilização de agregados e na estruturação dos solos, influenciando o controle da erosão. **Informe Agropecuário**, v.19, n.191, p. 59-65, 1998.

BARCELOS, J.H. **Reconstrução paleogeográfica da sedimentação do Grupo Bauru baseada na sua redefinição estratigráfica parcial em território paulista e no estudo preliminar fora do Estado de São Paulo.** Tese (Livre Docência). Rio Claro: UNESP - Universidade Estadual Paulista, 1984.

BARCELOS, J. H.; LANDIM, P.M.B.; SUGUIO, K. Análise das seqüências cretácicas do Triângulo Mineiro (MG) e suas correlações com as do Estado de São Paulo. In: **SIMPÓSIO DE GEOLOGIA REGIONAL**, 2, Curitiba, 1.981. Anais. Curitiba. SBG. P. 90 - 102.

BATEZELLI, A. **Análise da Sedimentação Cretácea no Triângulo Mineiro e sua correlação com áreas adjacentes.** Rio Claro, 2003. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Estadual Paulista – UNESP.

BATEZELLI, A.; GOMES, N. S.; PERINOTTO, J. A. J. Petrografia e evolução diagenética dos arenitos da porção norte e nordeste da Bacia Bauru (Cretáceo Superior). **Revista Brasileira de Geociências**, 35(3):311-322, setembro de 2005

BATISTA, P. H. L.; JESUS, A. S.; MENDES, M. J. A.; SOUZA, N. M; CARVALHO, J. C. Análises de cenários de susceptibilidade a inundações e alagamentos. In: CARVALHO, J. C.; JUNIOR, g. F. N. G.; CARVALHO, E. T. L. (Org.). **Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais.** Brasília, 2012. 4v. p. 182-205.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** Piracicaba: Livroceres, 368 p . 1985.

BIGARELLA, J. J.; MAZUCHOWSKI, J. Z. **Visão integrada da problemática da erosão.** ABGE/ADEA: Maringá, 332 p. 1985.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física dos solos do Instituto Agrônomo de Campinas.** Boletim técnico n.106. Campinas. 1986. 94p.

CASTRO FILHO, C. **Atributos do solo avaliados pelos seus agregados.** In: MORAES, M. H.; MÜLLER, M.M.L.; FOLONI, J.S.S. Qualidade física do solo: métodos de estudo - sistemas de preparo e manejo do solo. Jaboticabal: Funep, p.21-46. 2002.

CHAVES, J.C.D.; CALEGARI, A. Adubação verde e rotação de culturas. **Informe Agropecuário**, v.22, n.212, p.53-60, 2001.

COELHO NETO, A. L.; FERNANDES, N. F. Hislope erosion and sedimentation and relief inversion in Bananal, SP. **IAHS Publication**, n.192, 1990.

COSTA, F. P. M. **Utilização de Sistemas de Informação Geográfica na identificação de áreas vulneráveis à contaminação do lençol freático: o caso da bacia do alto e médio curso do rio Uberabinha –MG**. Dissertação (mestrado em Geografia).137f. IG-UFU. Uberlândia, 2009.

COSTA, R. A.. **Zoneamento Ambiental da Área de Expansão Urbana de Caldas Novas - GO**: procedimentos e aplicações. 216 f. Tese (Doutorado em Geografia e Gestão do Território). Instituto de Geografia, UFU, Uberlândia, 2008.

COSTA, R. A.; MARTINS, F. P. **Impactos e riscos ambientais urbanos em Ituiutaba-MG**. In: PORTUGUEZ, A. P.; MOURA, G. G.; COSTA, R. A. (Org.). Geografia do Brasil Central: enfoques teóricos e particularidades regionais. Uberlândia: Editora Assis. p. 355-378. 2011.

DEMARCHI, J. C.; PERUSI, M. C.; PIROLI, E. L. Análise da estabilidade de agregados do solo da microbacia do Ribeirão São Domingos, Santa Cruz do Rio Pardo-SP, sob diferentes tipos de uso e ocupação. **Revista: Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**. v.4. n.2. 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo**. Brasília. Folha Goiânia, SE - 22. V. 1. 1.975.

DE PLOEY, J. **Runoff and rill generation on sandy and loamy topsoils**. Geomorphology. v.46, p. 15-23. 1983.

DESMET, P. J. J.; POESEN, J.; GOVERS, G.; VANDAELE, K.; Importance of slope gradient and contributing area for optimal prediction of the initiation and trajectory of ephemeral gullies. **Catena**, v. 37, p.377-392, 1999.

DINIZ, N. C. D. **Mapeamento geotécnico regional da folha de Aguaí com base na compartimentação por formas de relevo e perfis típicos de alteração**. São Carlos. 2v. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1992.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. Tradução de João Alves dos Santos; revisão de Suely Bastos; coordenação editorial de Antonio Christofolletti. 8.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 220 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícolas das terras do Triângulo Mineiro**. EMBRAPA - SNLCS/EPAMG/DRNR. Rio de Janeiro, 1982.

\_\_\_\_\_. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997.

FERNANDES, L. A. **Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)**. Tese (Doutorado em Geologia), Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998. 216p.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. A Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, p. 195-205, 1996.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). **Revista Brasileira de Geociências**, 30(4):717-728, 2000.

FONSECA, A. C. Geoquímica dos solos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações** (Org.). 8.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p.195-227.

FREIRE, O.; GODOY, M. C. T. F.; CARVALHO, W. A. Erodibilidade de alguns solos do oeste do Estado de São Paulo. **Revista de Geografia**, São Paulo, v.11, p.77-87, 1992.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico-geomorfológico**. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 648 p. 1997.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações** (Org.). 8.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p.17-55.

GUIMARÃES, C. N. Mapeamento geotécnico da Bacia do Córrego da Barra, aplicação do penetrômetro de impacto em estudos de processos erosivos São Pedro – SP – Escala 1: 10.000. **Dissertação** (Mestrado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 05.nov.2012.

\_\_\_\_\_. Folha topográfica de Ituiutaba. Rio de Janeiro: Centro de Serviços Gráficos do IBGE, 1973. Escala 1:100.000. 1 folha, color., Folha SE-22-Z-B-IV.

\_\_\_\_\_. Folha topográfica de Serra de São Lourenço. Rio de Janeiro: Centro de Serviços Gráficos do IBGE, 1970. Escala 1:100.000. 1 folha, color., Folha SE-22-Z-D-I.

LAL, R. **Soil erosion in the tropics - principles and management**. McGraw-Hill, New York, 580p. 1990.

LOLLO, J. A. **O uso da técnica de avaliação de terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas**. São Carlos. Tese (doutorado) - Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1.995.

MACHADO, S. L.; CARVALHO, M. F.; MATTA, B. M. Utilização do permeâmetro *Guelph* para estudo da condutividade hidráulica de solos residuais de granulito da cidade de Salvador – BA. In.: **5 Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados**. USP, São Carlos: 2004. 7p.

MARTINS, F. P.; ROSENDO, J. S. **Mapeamento do uso da terra do município de Ituiutaba-MG por meio da classificação automática de Bhattacharya (2011)**. In: Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR): Foz do Iguaçu, 2013.

MATOS, E. S.; MENDONÇA, E. S.; LEITE, L. F. C.; GALVÃO, J. C. C. **Estabilidade de agregados e distribuição de carbono e nutrientes em Argissolo sob adubação orgânica e mineral**. Pesquisa Agropecuária Brasileira: Brasília. v.43, n.9, p. 1221-1230, 2008.

MIRANDA, E. E. (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 26 set. 2013.

NASCIMENTO, A. K. R. B.; ALLAN-SILVA, G. **O uso e ocupação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço e sua relação com a economia do município de Ituiutaba – MG**. In: Anais do IV Encontro de Geografia do Pontal. FACIP/UFU: Ituiutaba, 2012.

NISHIYAMA, L. Geologia do município de Uberlândia e áreas adjacentes. 1v. **Revista Sociedade e Natureza**: Universidade Federal de Uberlândia. 1989, 9 - 16p.

\_\_\_\_\_. **Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análises e avaliações ambientais do meio físico, em escala 1: 100.000: aplicação no município de Uberlândia – MG**. 1998. São Carlos, 2v. 363f. Tese (Doutorado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 1998.

NOGUEIRA, J. B. **Mecânica dos solos: ensaios de laboratório**. São Carlos: EESC-USP. 2. reimp. 248 p. 2005.

NORDSTRÖM, K. **Gully erosion in the Lesotho lowlands**. Uppsala University, 145p. 1988

ODURO-AFRIYIE, K. Rainfall erosivity map of Ghana. **Geoderma**: Elsevier. n.74. p.161-166. 1996.

OKA-FIORI, C.; SOARES, P. C. **Aspectos evolutivos das boçorocas**. Notícias Geomorfológicas. Campinas, v16, n. 32. 114-124 p. 1976.

OLIVEIRA, L. A. **Geologia do Neocretáceo do Triângulo Mineiro**. 2013. No prelo.

OLIVEIRA, L. A.; CAMPOS, J. E. G. Sequência conglomerática do Membro Araguari - Grupo Bauru - norte do Triângulo Mineiro. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 22, n. 1, p. 43-51, 2003.



OLIVEIRA, M. A. T. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações** (Org.). 8.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p.57-97.

PEJON, O. J. **Mapeamento geotécnico da Folha Piracicaba, escala 1:100.000: estudos de aspectos morfológicos, de caracterização e de apresentação dos atributos**. 1992. 2v. 224f. Tese (Doutorado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. 3.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1983. 186p.

PEREIRA, K. G. O. **As Unidades Geomorfológicas e a erosão acelerada na bacia do ribeirão Estiva: Uberlândia – MG**. Dissertação (mestrado). 120 f. Instituto de Geografia. Universidade Federal de Uberlândia: Uberlândia, 2011.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica de solos**. 3.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 367p.

PORTES, R. C.; BEZERRA, N. R.; SILVA, C. H. C.; et al. Determinação da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu, Viçosa – Minas Gerais, Brasil, Através de Geoprocessamento e Análise Multicritério. In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, XII, 2009, Montevideo. **Anais do XII Encontro de Geógrafos da América Latina**. Montevideo, 2009.

PRADO, V. G. T. J.; SOUSA, R. R. **Mapa Pluviométrico do Triângulo Mineiro**. Iniciação Científica (Relatório Final). UFU, FACIP: Ituiutaba, 2010, 38 p.

PRANDI, E. C. **Aspectos evolutivos de boçorocas**. USP: São Carlos, 1993.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ITUIUTABA. Mapeamento por fotografia aérea do município de Ituiutaba (CD-room).

RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais**. Folha SE 22 - Goiânia. Rio de Janeiro, 1983. V. 31 , 76p.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: Base para distinção de ambientes**. 5. ed. rev. Lavras: Editora UFLA, 2007. 322 p.

REZENDE, M.; ROSENDO, J. S. **Análise da evolução da ocupação do uso da terra no município de Ituiutaba-MG utilizando técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**. Revista Horizonte Científico: UFU. V. 3, Nº 1, 2009.

RODRIGUES, J. E. **Estudo de fenômenos erosivos acelerados**. São Carlos. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1982.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 7.ed. Uberlândia: UFU, 2009. 262p.

ROSS, J. L. S.. Análises e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o Planejamento Ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo FFLCH-USP, v.9, p. 65-75, 1995.

\_\_\_\_\_. **Geomorfologia Ambiente e Planejamento**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 1991.

SUPERINTENDÊNCIA DE ÁGUA E ESGOTOS DE ITUIUTABA. Histórico. Disponível em: < <http://www.saeituiutaba.com.br/?arq=2>>. Acesso em: 29 ago. 2010.

SANTOS, L.; BACCARO, C. A. D.. Caracterização Geomorfológica da Bacia do Rio Tijuco. **Revista Caminhos de Geografia**: Instituto de Geografia - UFU, Uberlândia, v. 5, n. 11, p. 1–21, 2004.

SCOLFORO, J. R.; CARVALHO, L. M. T.(Ed.). **Mapeamento e Inventário da Flora e dos Reflorestamentos de Minas Gerais**. Lavras: UFLA, 2006.

SILVA, A. F. **Mapeamento geotécnico e análise dos processos erosivos na bacia do Córrego Tuncum, São Pedro – SP, Escala 1:10.000**. 158 f. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo: São Carlos, 2003.

SILVA, A. S. Análise morfológica dos solos e erosão. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações** (Org.). 8.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p.101-125.

SILVA, N. R. **Caracterização do Regime Climático Regional: uma análise dos parâmetros de temperatura, precipitação e balanço hídrico do Triângulo Mineiro – MG**. Monografia (Conclusão de Curso). IG-UFU: Uberlândia, 2010. 59p.

SILVEIRA, L. L. L. **Elaboração de carta de susceptibilidade à erosão das bacias dos rios Araraquara e Cubatão – SP, escala 1:50.000**. Dissertação de Mestrado. USP: São Carlos, 2002.

SOARES, P.C.; LAMDIM, P.M.B.; FÚLFARO, V.J.; SOBREIRO NETO, A.F. Ensaio de caracterização estratigráfica do cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. **Revista Brasileira de geociências**, N. 10,1980. p.177-185.

SOLOTEST. **Catálogo de produtos – solos**. Disponível em: <<http://www.solotest.com/catalogos.php>>. Acesso em: 09/out./2013.

SOUZA, M. T.; CAMPOS, J. E. G. O papel dos regolitos nos processos de recarga de aquíferos do Distrito Federal. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v.54, n.3, 2001.

SUGUIO, K. **Rochas Sedimentares**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda. 500 p. 1980.

SUGUIO, K.; BARCELOS, J. H. Calcretes of the Bauru Group (Cretaceous) Brazil: petrology and geological significance. **Instituto de Geociências/ USP Boletim**, **14**:31-47, 1983.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA; FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS; UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS; FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010.

VANDAELE, K.; POESEN, J.; GOVERS, G.; VAN WESEMAEL, B. Geomorphic threshold conditions for ephemeral gully incision. **Geomorphology**, v. 16, p.161-173, 1996.

VIEIRA, N. M. **Estudo Geomorfológico das boçorocas de Franca – SP**. Unesp: Franca. 226 p. 1978.

VILAR, O. M. **Formulação de um modelo matemático para a erosão dos solos pela chuva**. Tese (doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 196p. 1987.

YOUKER, R. E.; McGUINNESS, J. L. **A short method of obtaining mean weight-diameter values of aggregate analyses of soils**. Soil Science, v.83, n.4, p.291-294, 1956.

ZUQUETTE, L. V. **Importância do Mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico**: fundamentos e guia para elaboração. São Carlos. 2 v. Tese (livre docência). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 368p. 1983.

ZUQUETTE, L. V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras**. 1987. 4v. Tese (Doutorado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. **Cartografia geotécnica**. São Paulo: Oficina de Textos. 190p, 2004.

## APÊNDICE A

Quadro-síntese dos resultados dos ensaios em laboratório e *in situ*.

ponto nome	profundidade (m)	teor de umidade (%)	massa específica natural ( $\gamma_n$ )	massa específica seca ( $\gamma_d$ )	índice de vazios (e)	porosidade (n) %	granulometria (%)				DMP	DMG	IEA (%)	Erodibilidade (E)	coeficiente de infiltração médio (k)	unidade material inconsolidado
							argila	silte	areia fina	areia grossa						
P22							34,92	2,15	34,08	28,85	13,4	0,6	64,41			H
P18							20,34	3,38	37,47	38,81	7,3	0,7	64,7			RMar
P23							37,45	9,03	46,71	6,82	5,2	1,3	78,5			RPEAd
P24							36,69	4,09	50,70	8,52	4,1	1,9	88,5			RPEAd
P19														18,12		RPEMar
P20	0,1	0,25	1,66	1,32	1,11	2,23	21,13	6,59	53,14	19,14	6,3	0,9	65,8	70,55		RPEMar
P20a	0,4	0,16	1,67	1,44	0,94	1,89	20,77	2,34	60,62	16,27	5,8	0,8	55,0	21,72		RPEMar
P12	superf.	0,23	1,88	1,52	0,84	1,67	46,01	7,58	28,92	17,49	7,8	1,0	78,2	80,24	3,87E-06	RSG
P12a	0,4	0,53	1,87	1,22	1,45	2,91									7,48E-05	RSG
P2	0,1	0,12	1,56	1,4	1	2	28,20	2,53	46,29	22,98	6,9	0,9	63,5	1,75		TMar
P2a	0,1	0,12	1,56	1,4	1	2	28,20	2,53	46,29	22,98	6,9	0,9	63,5	1,58		TMar
P10	superf.	0,04	1,54	1,48	0,89	1,79	17,99	1,00	39,54	41,47	5,7	1,2	78,7	2,16	2,07E-04	TMar
P10a	superf.	0,04	1,54	1,48	0,89	1,79	17,99	1,00	39,54	41,47	5,7	1,2	78,7	14,24	1,61E-03	TMar
P11	superf.	0,03	1,61	1,56	0,8	1,59	16,58	0,09	48,67	34,66	6,5	0,8	60,8	20,35	1,84E-04	TMar
P11a	superf.	0,03	1,61	1,56	0,8	1,59	16,58	0,09	48,67	34,66	6,5	0,8	60,8	66,74	4,05E-04	TMar
p13	0,1	0,14	1,61	1,56	0,8	1,59	21,65	0,78	59,36	18,21	5,2	1,1	72,3	621,87	3,27E-04	TMar
P13a	0,4	0,11	1,19	1,05	1,66	3,33									9,45E-04	TMar
P14	0,1	0,13	1,68	1,48	0,9	1,79	23,59	2,83	44,06	29,52	6,7	0,8	64,4		1,90E-04	TMar

ponto nome	profundidade (m)	teor de umidade (%)	massa específica natural ( $\gamma_n$ )	massa específica seca ( $\gamma_d$ )	índice de vazios (e)	porosidade (n) %	granulometria (%)				DMP	DMG	IEA (%)	Erodibilidade (E)	coeficiente de infiltração médio (k)	unidade material inconsolidado
							argila	silte	areia fina	areia grossa						
P14a	0,4	0,15	1,57	1,37	1,05	2,1									5,41E-04	TMar
P5	0,1	0,14	1,49	1,31	1,14	2,27	27,72	3,21	52,68	16,39	3,7	1,7	80,0	47,42		TMarAd
P9	superf.						31,28	1,32	42,45	24,94	4,4	1,4	77,7		6,18E-05	TMarAd
P9a	0,4														7,42E-04	TMarAd
P21	0,1	0,06	1,62	1,52	0,84	1,68	16,28	0,13	60,80	22,80	5,7	1,0	64,6	30,86		TMarAd
P21a	0,1	0,06	1,62	1,52	0,84	1,68	16,28	0,13	60,80	22,80	5,7	1,0	64,6	45,77		TMarAd