

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA-UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**OS COMPARTIMENTOS DA PAISAGEM E A ELABORAÇÃO  
DE UMA MATRIZ PARA O PLANEJAMENTO AMBIENTAL  
EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA COM USO INTENSIVO DA  
AGRICULTURA: BACIA DO RIBEIRÃO SANTA  
GERTRUDES, VERÍSSIMO-MG**

**Carlos Alberto Araujo Campos  
Graduado em Geografia**

**2017**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA-UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**OS COMPARTIMENTOS DA PAISAGEM E A ELABORAÇÃO  
DE UMA MATRIZ PARA O PLANEJAMENTO AMBIENTAL  
EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA COM USO INTENSIVO DA  
AGRICULTURA: BACIA DO RIBEIRÃO SANTA  
GERTRUDES, VERÍSSIMO-MG**

**Carlos Alberto Araujo Campos**

**Orientador: Prof. Dr. Marcílio Vieira Martins Filho**

**Coorientador: Prof. Dr. Renato Farias Valle Júnior**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias-Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

**2017**

C198c Campos, Carlos Alberto Araujo  
Os compartimentos da paisagem e a elaboração de uma matriz para o planejamento ambiental em uma bacia hidrográfica com uso intensivo da agricultura: bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Gertrudes, Veríssimo-MG / Carlos Alberto Araujo Campos. – – Jaboticabal, 2017  
ix, 130 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017

Orientador: Marcílio Vieira Martins Filho

Coorientador: Renato Farias do Valle Júnior

Banca examinadora: Teresa Cristina Tarlé Pissarra, José Eduardo Pitelli Turco, Vera Lúcia Abdala, Fabrício Aníbal Corradini

Bibliografia

1. Bacia-hidrográfica. 2. Compartimentos. 3. Fragilidade. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.4:556.51

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: OS COMPARTIMENTOS DA PAISAGEM E A ELABORAÇÃO DE UMA MATRIZ PARA O PLANEJAMENTO AMBIENTAL EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA COM USO INTENSIVO DA AGRICULTURA: BACIA DO RIBEIRÃO SANTA GERTRUDES, VERÍSSIMO-MG

AUTOR: CARLOS ALBERTO ARAUJO CAMPOS


ORIENTADOR: MARCÍLIO VIEIRA MARTINS FILHO

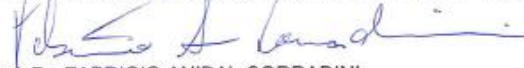
COORIENTADOR: RENATO FARIAS DO VALLE JUNIOR

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. MARCÍLIO VIEIRA MARTINS FILHO  
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

  
Profa. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA  
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

  
Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO PITELLI TURCO  
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

  
Prof. Dr. FABRÍCIO ANIBAL CORRADINI  
Departamento de Geografia / UFTM - Uberaba/MG

  
Profa. Dra. VERA LUCIA ABDALA  
Instituto Federal do Triângulo Mineiro / IFTM - Uberaba/MG

Jaboticabal, 25 de julho de 2017

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

CARLOS ALBERTO ARAUJO CAMPOS - nascido em Uberlândia estado de Minas Gerais, no dia 01 de maio de 1976, filho de Armelindo Campos de Oliveira e Zuraida Araujo Campos. Graduado em Geografia pela Universidade Federal de Uberlândia-UFU, onde também fez mestrado em Desenvolvimento e Gestão do Território, no Programa de Pós-Graduação em Geografia. Foi professor de geografia na rede pública de ensino no estado de Minas Gerais e em diferentes sistemas de ensino privado, totalizando 15 anos de trabalho na educação básica e pré-vestibulares. Concomitante trabalhou em instituições públicas de ensino superior como professor substituto ministrando disciplinas ligadas a área ambiental. Atualmente é professor adjunto na Universidade Federal do Triângulo Mineiro, onde ministra as disciplinas de pedologia, geomorfologia e fisiologia da paisagem. No ano de 2013 entrou como discente no programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo).

## **AGRADECIMENTOS**

Ao bom Deus que sempre está ao meu lado e proporcionou-me o convívio com pessoas boas e fabulosas.

Ao prof.<sup>o</sup> Dr.<sup>o</sup> Marcílio, pela oportunidade e orientação.

Ao Prof.<sup>o</sup> Dr.<sup>o</sup> Renato F. Valle Júnior pela coorientação.

Aos meus grandes amigos de trecho Uberaba à Jaboticabal, Mauro, Maitê, Lucas, Hygor, Caroline e Carlos Valera, tantas histórias.

Aos meus amigos de trabalho de campo, Mauro Ferreira, Josenilson Bernardo, Nathalia Vianna e Camila Gullo, que além dos inúmeros trabalhos de campo, pelas contribuições neste trabalho e principalmente pela paciência.

Aos professores Fabrício Corradini, Ricardo Ferreira e Hygor Evangelista pelas contribuições nos mapas.

Aos professores do Programa de pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo), pelas disciplinas ministradas.

Aos membros da banca pela disposição em participar da avaliação deste trabalho.

Aos meus familiares pelo carinho e pela compreensão dos inúmeros momentos que estive que estar ausente.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	iii
LISTA DE QUADROS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo geral.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3.1 Aspectos litoestruturais e as demandas e qualidade da água.....	5
3.2 Mapeamento geomorfológico em estudos ambientais sistêmicos.....	8
3.3 Solos e sua demanda, conservação e erosão.....	13
3.4 Gestão ambiental.....	19
3.5 Características fisiográficas regionais.....	21
3.5.1 Geologia.....	21
3.5.2 Geomorfologia.....	25
3.5.3 Solos e usos.....	29
3.5.4 Clima.....	34
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
4.1 Mapeamentos.....	37
4.1.1 Mapa geológico.....	37
4.1.2 Mapa do modelado do relevo.....	38
4.1.3 Mapa de solos e mapa de perda de solos.....	39
4.1.4 Mapa potenciométrico.....	40
4.1.5 Mapas de potencialidade ambiental, susceptibilidade/vulnerabilidade de contaminação do freático e fragilidades ambientais.....	41
4.2 Análise da paisagem.....	44
4.2.1 Análise da estabilidade dos meios.....	45

4.3 Densidade de amostras de solos e análises granulométricas.....	45
4.3.1 Densidade de amostras de solos .....	45
4.3.2 Análise granulométrica do solo.....	46
4.3.3 Testes de infiltração .....	48
4.3.4 Método analítico .....	49
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
5.1 Geologia .....	51
5.1.1 Formação Marília .....	54
5.1.2 Formação Uberaba .....	56
5.1.3 Grupo São Bento Formação Serra Geral .....	57
5.2 Geomorfologia.....	60
5.2.1 O Modelado do relevo da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes. .....	65
5.2.1.1 Unidade do modelado de aplanamento-pediaplano inumado-Pgi.....	69
5.2.1.2 Unidade do modelado de acumulação rampa de colúvio - Arc .....	74
5.2.1.3 Unidade do modelado de dissecação-dissecado estrutural com topo convexo-DEc22 .....	76
5.2.1.4 Unidade do modelado de dissecação-dissecado em ravina-DR .....	79
5.2.1.5 Unidade do modelado de dissecação-dissecado homogêneo com topo tabular-Dt21 .....	81
5.3 Solos .....	82
5.3.1 Granulometria .....	84
5.3.3 Taxas de perda de solos .....	90
5.3.4 Uso dos solos.....	92
5.3.5 Vulnerabilidade de contaminação do lençol freático livre.....	94
5.4 Potencialidade ambiental.....	102
5.5 Fragilidade ambiental .....	108
5.6. Os Compartimentos da paisagem e a matriz ambiental.....	112
6. CONCLUSÕES .....	118
7. REFERÊNCIAS.....	119



## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Coluna litoestratigráfica do Grupo Bauru no Triângulo Mineiro e São Paulo.	22
Figura 2. Área ocupada pelos diferentes grupos de solos na Região do Triângulo Mineiro-MG.	30
Figura 3. Uso dos solos no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.	33
Figura 4. Mapa de localização da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes-MG.	36
Figura 5. Infiltrômetro de anéis duplos.	48
Figura 6. Mapa da geologia da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes-MG.	52
Figura 7. Coluna cronoestratigráfica do Grupo Bauru no Triângulo Mineiro-MG.	54
Figura 8. Ruptura da estrutura nos limites entre a formação Marília e a Formação Uberaba, formando uma escarpa.	55
Figura 9. Estrutura do mapeamento geomorfológico.	60
Figura 10. Organograma com adaptação de metodologia para a pesquisa	65
Figura 11. Mapa de classes de declividades da bacia Hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.	66
Figura 12. Unidades do modelado do relevo para a bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.	67
Figura 13. Mapa de unidades do modelado do relevo para a bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.	68
Figura 14. Topo do Pediplano Inumado	69
Figura 15. Perfil topográfico NE-SW com as unidades geológicas, do modelado do relevo e pedológicas.	73
Figura 16. Material grosseiro (pedimento).	75
Figura 17. Depósitos correlativos.	75
Figura 18. Área de deposição de sedimentos.	76
Figura 19. Topo convexo em direção a fundo de vale	78
Figura 20. Voçoroca conectada.	79

Figura 21. Processo erosivo.	81
Figura 22. Mapa de classes de solos da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.	83
Figura 23. Porcentagens de argila, silte e areias/tipos de solos, em superfície	84
Figura 24. Porcentagens de argila, silte e areias/tipos de solos, em 30 cm.	84
Figura 25. Porcentagens de argila, silte e areias/tipos de solos, em 50 cm.	85
Figura 26. Velocidade de Infiltração na cultura de cana de açúcar.	86
Figura 27. Velocidade de Infiltração básica na mata.	87
Figura 28. Velocidade de Infiltração básica em pastagem.	88
Figura 29. Mapa de tolerância x perda de solos da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.	91
Figura 30. Mapa de perda de solos da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.	91
Figura 31. Mapa de uso dos solos na bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes (Dezembro-2016).	93
Figura 32. Mapa potenciométrico da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.	95
Figura 33. Mapa de classe textural para a areia total da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.	98
Figura 34. Mapa de susceptibilidade/vulnerabilidade de contaminação do lençol freático na bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.	100
Figura 35. Mapa de potencialidade ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.	107
Figura 36. Mapa de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.	110
Figura 37. Mapa de fragilidade ambiental dos compartimentos da paisagem da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.	114

## LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 1. Confecção de mapas temáticos e mapas de análise de multicritério ponderada.	41
Quadro 2. Critérios qualitativos para definição de pesos.	42
Quadro 3. Grau de influência e peso de classes para os mapas temáticos na elaboração do mapa de potencialidade natural.	42
Quadro 4. Grau de influência e peso de classes para os mapas temáticos na elaboração do mapa de susceptibilidade natural de contaminação do freático livre.	43
Quadro 5. Grau de influência e peso de classes para o mapa de fragilidade Ambiental.	43
Quadro 6. Estrutura da individualização para a estruturação dos níveis de análise de categorias de níveis geomorfológicos da bacia Hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.	63
Quadro 7. Os Meios e suas características de estabilidades.	64
Quadro 8. Características da unidade do modelado de aplanamento do relevo-Pediaplano Inumado-Pgi.	71
Quadro 9. Características da unidade do modelado de acumulação-rampa de colúvio-Arc.	74
Quadro 10. Características da unidade do modelado de dissecação-dissecação estrutural com topos convexos- DEc22.	77
Quadro 11: Características da unidade do modelado de dissecação em ravinas-DR	79
Quadro 12. Características da unidade do modelado de dissecação-dissecação homogênea com topo tabular-Dt21.	82
Quadro 13. Valores de infiltração acumulada e sua velocidade na cultura de cana-de-açúcar.	85
Quadro 14. Velocidade de Infiltração Estável.	86
Quadro 15. Valores de infiltração acumulada e sua velocidade na mata.	87
Quadro 16. Valores de infiltração acumulada e sua velocidade na pastagem.	88

Quadro 17. Síntese dos valores de velocidade de infiltração/taxa de infiltração estável para os diferentes usos do solo.	89
Quadro 18. Valores de tolerância de perda de solos por grupos de solos.	90
Quadro 19. Características dos grupos de solos.	97
Quadro 20. Velocidade de infiltração básica para as classes de solos e suas texturas.	99
Quadro 21. Variáveis do meio físico que compõem os mapas temáticos e mapas de análise de multicritério ponderada.	103
Quadro 22. Critérios qualitativos para definição de pesos para elaboração do mapa de potencialidade ambiental.	103
Quadro 23. Grau de influência e peso de classes para os mapas temáticos na elaboração do mapa de potencialidade natural.	104
Quadro 24: Valores dos pesos atribuídos as unidades do modelado do relevo para a bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.	104
Quadro 25. Valores dos pesos atribuídos as unidades geológicas para a bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.	105
Quadro 26: Valores dos pesos atribuídos as classes de solos na bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.	105
Quadro 27. Valores dos pesos atribuídos para as perdas de solos na bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.	106
Quadro 28. Variáveis do meio físico que compõem os mapas temáticos e mapas de análise de multicritério ponderada.	109
Quadro 29. Valores dos pesos atribuídos aos mapas para a análise de multicritério.	109
Quadro 30. Proposta de chave para interpretação da matriz.	115
Quadro 31. Matriz ambiental proposta para a área de estudo.	115
Quadro 32: Significado para os valores alfa numéricos/qualitativos da matriz ambiental.	116
Quadro 33. Significado para as classes de conflito.	117

**LISTA DE TABELAS**

	Página
Tabela 1. Áreas ocupadas pelos diferentes grupos de solos.	29
Tabela 2. Classes de solos na bacia do rio Uberaba.	31
Tabela 3. Classes de declividades adotadas.	38
Tabela 4. Coletas de amostras de solos por unidades do modelado do relevo.	46
Tabela 5. Unidades do modelado do relevo para a bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.	67
Tabela 6. Classes de solos.	82
Tabela 7. Classes de vulnerabilidade/susceptibilidade a contaminação do lençol freático.	101
Tabela 8. Classificação das potencialidades ambientais na bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.	106
Tabela 9. Áreas e suas fragilidades ambientais na bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.	111

**OS COMPARTIMENTOS DA PAISAGEM E A ELABORAÇÃO DE UMA MATRIZ  
PARA O PLANEJAMENTO AMBIENTAL EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA COM  
USO INTENSIVO DA AGRICULTURA: BACIA DO RIBEIRÃO SANTA  
GERTRUDES, VERÍSSIMO-MG**

**RESUMO** - Os aspectos pertinentes ao uso dos recursos ofertados pelo meio natural têm sido alvo de diferentes abordagens, seja pela necessidade de aproveitamento ou pelas limitações à sua captação pelo homem. Sendo os elementos que compõem o meio físico passíveis de análises mais apuradas quanto ao seu manuseio, envolvendo técnicas que reduzam os impactos gerados pela sua exploração direta e indireta. A espacialização das informações obtidas de forma direta ou indireta, acerca dos recursos ofertados pelo meio físico, representa uma possibilidade de interação entre as fontes fornecedoras de recursos naturais e sua localização, sendo essa passível de ser mapeada e circunscrita na superfície terrestre. Essa espacialização gera uma poderosa ferramenta de gestão e planejamento das atividades antrópicas. A delimitação de compartimentos da paisagem a partir de unidades do modelado do relevo apresentou resultados satisfatórios quanto as estabilidades dos compartimentos analisados. Assim, a delimitação de compartimentos da paisagem na bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes que se localiza entre os municípios de Uberaba e Veríssimo, na região do Triângulo Mineiro no estado de Minas Gerais, com 321 Km<sup>2</sup> de área e é tributária da margem direita do rio Uberaba, teve como proposta buscar, analisar e compreender a dinâmica interna da mesma e suas alterações em função da ocupação antrópica e das atividades decorrentes dessa forma de ocupação. O objetivo deste trabalho, foi determinar compartimentos da paisagem a partir do mapeamento de unidades do modelado do relevo. Os compartimentos subsidiaram a elaboração dos mapeamentos de áreas com fragilidades e potencialidades ambientais. Para tanto, foram elaborados mapas geológicos, geomorfológicos, de declividades e usos dos solos, realizados testes de infiltração e análise granulométrica dos solos. Com o uso do sistema de informações geográficas, as informações foram espacializadas em mapas temáticos e o cruzamento dos mesmos dentro de um sistema de multicritérios, permitiu a elaboração dos mapas de potencialidades e fragilidades ambientais. O uso de compartimentos da paisagem a partir de unidades do modelado do relevo, permitiu a elaboração de uma matriz ambiental para o uso dos solos, apontando suas potencialidades e fragilidades de ocupação. Os resultados foram bem satisfatórios no que tange ao diagnóstico da bacia hidrográfica, que permitiu uma visão mais pontual e espacialização de informações, acerca do que ocorre em seu interior. Esse entendimento do comportamento natural de uma bacia hidrográfica, gera parâmetros comparativos, para entendimento das alterações que a sua ocupação pode levar, seja nos aspectos relacionados aos solos e seus usos, vegetação, escoamento superficial, contaminação dos solos e corpos hídricos superficiais e subsuperficiais.

**Palavras-chave:** bacia hidrográfica, compartimentos, fragilidade, paisagem

## **LANDSCAPE COMPARTMENTS AND ELABORATION OF A MATRIX FOR ENVIRONMENTAL PLANNING IN A WATERSHED WITH INTENSIVE AGRICULTURE: THE SANTA GERTRUDES CREEK, VERÍSSIMO, MG**

**ABSTRACT** - Relevant aspects of the use of resources offered by the natural environment have been the subject of different approaches, either the need for exploitation or the limitations of uptake by man. The elements that compound the physical environment are subject of more accurate analysis regarding handling, involving techniques that reduce the impacts generated by your direct and indirect exploitation. The spatialization of information obtained directly or indirectly about the resources offered by the physical environment, what represents a possibility of interaction between the natural resources sources and location to be mapped and circumscribed on the Earth's surface. This spatialization generates a powerful management and planning tool of human activities. The Santa Gertrudes Creek watershed is located between the municipalities of Uberaba and Veríssimo, in the State of Minas Gerais, with 321 Km<sup>2</sup> of area and is a right tributary of Uberaba River. It was proposed to search, analyze and understand the internal dynamics of the watershed and its changes as a function of human occupation and activities resulting from this form of occupation. The use of landscapes compartments from relief units enabled the development of an environmental matrix for land use, pointing potentialities and weaknesses. The aim of this work was the preparation of landscape compartments from the mapping of relief units, what subsidized the elaboration of maps of environmental potentialities and weaknesses for the watershed under study. To do so, maps of geology, slope, geomorphology, and land use have been drawn up and infiltration tests and particle size analysis of soils were performed. It is worth noting, that by using a geographic information system, the information was spatialized in thematic maps and the crossing of them within a multi-criteria system allowed the elaboration of maps of environmental potentialities and weaknesses. The results were quite satisfactory with regard to the diagnosis of the watershed, which allowed a more punctual visualization and spatialization of information about what occurs in the area. This understanding of the natural behavior of a watershed generates comparative parameters for understanding the changes that human occupation can take in aspects related to soils, vegetation, runoff, soil contamination and surface and sub-surface water bodies.

**Keywords:** Watershed, Relief units, Fragility, Landscape

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento humano sustenta-se na captura e manuseio dos recursos do meio físico, onde o equilíbrio entre as potencialidades e seus usos, torna-se um assunto muito sério a ser discutido em todos os âmbitos da sociedade.

O desenvolvimento sustentável vem sendo lançado e pode se prestar como uma poderosa ferramenta capaz de articular um modelo que se aproxima do ideal entre capacidade de exploração de recursos e sua resiliência frente a exploração. Uma concepção particular e simplória indica que, em um meio de exploração natural, é necessário conhecer o limite entre o que é possível de ser explorado e o que deve ser preservado, para evitar danos mais sérios ao meio.

A busca pelo entendimento da forma como as intervenções antrópicas alteraram a dinâmica natural da evolução da paisagem, comportamento dos processos erosivos e ainda a redução da disponibilidade dos recursos hídricos, nos motivou ao estudo e à elaboração deste trabalho, visando gerar informações que possam direcionar ou pelo menos nortear pesquisas relacionadas ao tema: erosão e recursos hídricos.

O conhecimento dos atributos físicos e de suas características, pelos agricultores constitui-se em informação precisa na decisão do uso do solo e seu manejo. Diante de informações sobre as limitações de solo, clima e relevo, o agricultor terá melhores condições de analisar as possibilidades de desenvolvimento das diversas culturas passíveis de serem implantadas em sua propriedade. E, ainda, é importante ressaltar que a utilização de tecnologias voltadas para a agricultura de forma errônea podem ser muito mais prejudiciais do que benéficas para o agricultor, pois podem romper totalmente o equilíbrio dos atributos do meio físico.

A forte ocupação das áreas dos Cerrados em Minas Gerais vem provocando grandes e graves mudanças no cenário ao qual está inserido esse bioma. A expansão urbana associada a agricultura comercial está gerando alterações que já atingem níveis irreversível de em algumas regiões dos Cerrados.

Essa forma de ocupação das áreas de cerrados vem acelerando os processos de erosão e, conseqüentemente, os de assoreamento de fundo de vales, bem como levando ao empobrecimento dos solos e a diminuição da vazão dos mananciais. Assim, ao se estudar a dinâmica dessa paisagem do cerrado, tem que se avaliar as ações antropogênicas do passado e do presente, acreditando que as alterações são bruscas



e rápidas, sendo necessária a busca de informações mais pontuais, pertinente a nova dinâmica imposta aos solos, escoamento superficial, estabilidade da paisagem, vulnerabilidade de contaminação do lençol freático para a gestão da bacia hidrográfica em estudo.

A agricultura e sua característica marcante de ocupação de extensas áreas sugere um entendimento do novo padrão de comportamento instaurado na paisagem, cabendo então à ciência, esta análise integrada, da ocupação antrópica e do novo padrão imposto à paisagem.

As áreas mais propícias à mecanização da agricultura foram rapidamente absorvidas pela nova ordem capitalista, visando a produção de carne e a geração de biocombustível. A paisagem foi então retrabalhada em função de interesses, mas com o passar do tempo, os primeiros sintomas ou efeitos foram surgindo, como assoreamento dos rios, diminuição de vazão, poluição dos solos, processos erosivos, etc.

Assim, os estudos em uma bacia hidrográfica a partir de compartimentos da paisagem e suas estabilidades, podem permitir uma avaliação mais pontual dos impactos gerados pela ocupação humana a essas áreas, bem como facilitar a espacialização dos dados obtidos em estudos deste tipo.

Portanto a pesquisa realizada analisou a nova dinâmica imposta ao sistema, a partir da ocupação dos topos das chapadas e demais compartimentos da paisagem ocupados pela agricultura e ou pastagens e suas implicações morfohidrológicas implementadas.

A análise mencionada foi associada com as características pedomorfológicas e que estão impondo uma redução nas taxas de infiltração e gerando um aumento do escoamento superficial, perda de solos, o que implica diretamente no assoreamento dos cursos d'água e a redução de suas respectivas vazões.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Compreender a dinâmica de funcionamento da paisagem a partir de compartimentos do modelado do relevo.

### **2.2 Objetivos específicos**

i) determinar a vulnerabilidade de contaminação da água do lençol freático, ii) avaliar os dados obtidos a partir das medições realizadas com as características dos ambientes naturais e dos que sofreram transformações em decorrência da intervenção humana, iii) determinar as taxas de erosão, iv) elaborar uma matriz ambiental para a bacia hidrográfica a partir das interações entre as diferentes variáveis analisadas.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

A expansão da fronteira agrícola e o desenvolvimento da agricultura, em moldes capitalistas em áreas anteriormente ligadas à subsistência, alteram a posição relativa dos Estados no bojo nacional. (AZZONI, 1995)

A medida que os meios técnicos científicos permitem o aniquilamento do espaço pelo tempo, as inovações tecnológicas vão ao mesmo tempo homogeneizar e fragmentar o espaço dependendo dos interesses de reprodução do capital. Com base no princípio da divisão, fundamento do desenvolvimento capitalista, as bases para uma nova divisão espacial do trabalho e da produção são estabelecidas.

No início dos anos da década de 70, com o objetivo de abastecer centros urbanos e de incentivar a exportação de produtos não tradicionais, o governo brasileiro coloca em ação programas que impulsionaram o desenvolvimento que se iniciava no Brasil Central, desencadeando uma política que visava o aumento da produção e da produtividade em atividades agropecuárias que se vinculava ao Programa de Corredores de Exportação.

A ocupação dos Cerrados gerou uma grande degradação e redução da sua área original. A agricultura moderna impactou não somente o campo, mas também as cidades através do êxodo rural.

Os Cerrados formam uma unidade ecológica típica da zona tropical, caracterizado por vegetação de fisionomia e flora própria, fisionomicamente relacionada as savanas. É importante ressaltar que este ecossistema ocupa 25% do território brasileiro.

A forma que os cerrados vêm sendo ocupados apontam uma necessidade de maior compreensão dos elementos que compõem o meio físico, assim diversas pesquisas realizadas, buscando o entendimento da funcionalidade da paisagem na Região do Triângulo Mineiro irão subsidiar de forma metodológica a avaliação da atual dinâmica imposta ao meio físico natural e também ao meio já bastante antropogenizados dos Cerrados.

O conhecimento dos aspectos relacionados aos elementos que compõem as paisagens naturais gera informações de cunho aplicado ao uso mais racional dos solos. Os compartimentos da paisagem figuram entre as modalidades de agrupamentos de dados semelhantes de relevo, geologia, solos, vegetação, criando a

partir de unidades do modelado do relevo (compartimentos), zonas homólogas para o planejamento e gestão do território.

### **3.1 Aspectos litoestruturais e as demandas e qualidade da água**

O arranjo litoestrutural e a sua disposição permitem inferir uma série de avaliações quanto ao desenho da drenagem e seus tipos e reservas de água em sistemas aquíferos, qualidade e quantidade das águas subterrâneas e possibilidade de exploração.

Meis *et al.* (1982) consideraram que as variações litoestruturais e/ou tectônicas refletem no desnivelamento altimétrico, ou seja, no grau de encaixamento fluvial ou entalhamento erosivo das encostas.

Keller e Pinter (1996) apontaram que os índices geomórficos são úteis em estudos tectônicos porque podem ser utilizados para uma rápida avaliação de grandes áreas e pela facilidade da obtenção dos dados em mapas topográficos e fotografias aéreas.

Segundo Barison (2003) o estudo integrado de uma bacia sedimentar envolvendo dados estratigráficos, petrológicos, tectônicos e geoquímicos pode fornecer subsídios para a compreensão dos processos responsáveis pela composição química final da água. A descrição da interação entre o fluido intersticial e o arcabouço mineralógico pôde ser viabilizada em programas geoquímicos que simulam reações físicoquímicas, considerando que a modelagem geoquímica, possibilita a análise e a predição da qualidade e estado químico da água subterrânea.

Em pesquisa realizada por Corsi (2003) visando gerar uma compartimentação morfológica do Triângulo Mineiro, a autora apontou que a drenagem está diretamente correlata a morfoestrutura. Nesta abordagem, são geradas unidades de análise, a partir da morfologia e os estudos também contemplaram os dados morfométricos e os arranjos das principais drenagens que modelam a paisagem, e dentre elas a bacia do Rio Uberaba.

A autora *op. cit.*, chama a atenção para os sistemas Aquíferos Serra Geral e Bauru que representam, até o presente, as principais fontes de exploração de água subterrânea no Triângulo Mineiro. As produções constatadas nesses aquíferos variam

de 0,27 a 42,00 l/s, nos fraturados, e de 0,42 a 10,00 l/s, nos granulares. Frente à crescente demanda desse recurso para fins de abastecimentos público, agrário e industrial, já estão sendo executadas perfurações mais profundas visando a exploração das formações Pirambóia/Botucatu. Como exemplo, citam-se os das cidades de Uberaba e de Frutal, onde as produções são da ordem de 153,00 m<sup>3</sup>/h.

As águas subterrâneas da região do Triângulo Mineiro no estado de Minas Gerais, possuem pH básico com valores entre 7 e 10. São, no geral, de boa qualidade para o consumo humano, industrial e agrícola. Os teores dos cátions como o cálcio, sódio, potássio, magnésio estão dentro do limite estabelecido pela resolução de nº 20 do CONAMA (1986) para águas da classe 1.

Dentre as avaliações propostas para o desenvolvimento da agricultura na área dos cerrados, a água explorada para a irrigação é de suma importância para o desenvolvimento de culturas em moldes comerciais e tem impulsionado a produção em larga escala nestas áreas.

Nos últimos anos as fortes tendências de produção de álcool para atender uma demanda nacional e internacional de combustíveis alternativos, o plantio de cana-de-açúcar tem ocupado extensas áreas na região do Triângulo Mineiro, principalmente nos municípios que estão inseridos na bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Gertrudes.

Candido (2008) apontou que os processos de degradação ambiental em níveis “acentuado” e “severo”, juntos, representam 52,06% de toda extensão da bacia hidrográfica do Rio Uberaba, inclusive atingindo áreas protegidas por lei, necessitando, portanto, de ações imediatas, tanto dos produtores rurais como do poder público, no sentido de repensar o modelo atual de exploração das terras e a adoção de técnicas de recuperação destas áreas.

As áreas classificadas com nível “baixo” de degradação ambiental possuem uma extensão inexpressiva, demonstrando um modelo de exploração não sustentável da bacia. As áreas com níveis de degradação ambiental “severo” correspondem a 4,10 % de toda a bacia, porém são indícios ou sinais de extenuação dos recursos naturais.

O referido autor citado acima realizou estudos na Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba, aplicando técnicas, as quais a criação de “zonas homólogas” que permitiram a distinção dos ambientes conforme o uso do solo, tipos de solos, formas do relevo, geologia, formas das encostas e distribuição da pluviosidade.

Baccaro (1999) avaliou que para desenvolver estudos dos processos erosivos em sistemas de vertentes e bacias hidrográficas tropicais, com o predomínio de uma

estação seca bem definida, o caso da ampla maioria das áreas contidas no Domínio do Cerrado brasileiro, há necessidade de uma reflexão adequada das escalas temporais e espaciais. Assim ao buscar uma abordagem metodológica para estudos locais e pontuais dos processos geomorfológicos e da evolução atual das vertentes

Os estudos relacionados aos processos erosivos e dos fluxos superficiais e subsuperficiais nas áreas dos Cerrados necessitam de uma compreensão dos mecanismos processuais, a fim de se compreender a magnitude, a frequência, a resistência e o limiar, levando-se em conta as fortes e agressivas alterações antrópicas que esse ambiente vem sofrendo a partir da década dos anos de 1970.

Costa (2009) considerou que a bacia hidrográfica é uma unidade de gestão e torna-se uma poderosa ferramenta capaz de permitir um diagnóstico dos aspectos físicos, sociais, econômicos e culturais, os quais condicionam e direcionam o uso dos recursos hídricos na mesma.

As bacias hidrográficas têm as características de poderem ser abordadas em várias unidades: bacias do baixo, médio e alto curso do rio principal, sem perder a diversidade de informações socioambientais da bacia como um todo. Desta forma, entende-se que o gerenciamento de bacia hidrográfica representa um poderoso instrumento de planejamento, intervenções e manejo.

Em estudos realizados pelo mesmo autor no médio-alto curso do rio Uberabinha, na Chapada de Uberlândia-Uberaba-MG, ele constatou que as áreas com alta vulnerabilidade a contaminação se concentrou principalmente nas cabeceiras do rio Uberabinha (67,03%), como consequência da proximidade do lençol freático da superfície (o que pode ser observado pela presença dos covoads). Esta classe também acompanhou os cursos d'água, pois se passou a levar em consideração os campos hidromórficos como locais vulneráveis a contaminação, pelo fato de que as suas águas podem ser facilmente atingidas por poluentes via escoamento superficial proveniente principalmente das encostas onde o potencial de infiltração é baixo, e, conseqüentemente, alto potencial de escoamento superficial.

### 3.2 Mapeamento geomorfológico em estudos ambientais sistêmicos

O avanço dos estudos ambientais perpassa pelo conhecimento do meio e a correlação entre seus atributos, em um sistema de interdependência, o qual a alteração de variável leva a desestabilização do sistema, e o conseqüente reajuste de formas e fluxos de energia e matéria.

O avanço dos estudos geomorfológicos e suas propostas metodológicas, têm contribuído de forma bastante satisfatórias na elaboração de mapas base, para a elaboração de propostas de gestão e ordenamento territorial.

A análise da paisagem passa a ser de grande importância para os direcionamentos de ocupações humanas e usos variados.

Para Florenzano (2008) a análise das formas do relevo é de suma importância, não só para a geomorfologia, mas também para as outras ciências da terra que estudam os componentes da superfície terrestre, bem como na definição da fragilidade ou potencialidades do meio ambiente e no estabelecimento de políticas públicas a partir de leis, para a ocupação e proteção.

As diferentes categorias de análises propostas pela geomorfologia, esbarram na questão das escalas de abordagem.

Kugler (1982) salientou a importância da escala no mapeamento geomorfológico, e as classifica em função da mudança de conteúdo. Estabelece os limites abaixo das escalas de 1:100.000 (grande escala); 1:500.000 (média escala) e 1:1.000.000 (pequena escala). Enquanto cartas de grande escala permitem mapear pequenos relevos e processos mais atuais, os mapas de pequena escala permitem mapear a base morfoestrutural e variações climato-faciais dos relevos de grandes espaços.

Para Cooke e Doornkamp (1990) os mapas geomorfológicos fornecem uma base para a avaliação do terreno, sendo um documento apropriado para estar nas mãos de engenheiros, planejadores e outros profissionais que trabalhem com manejo e uso dos solos, principalmente para aqueles que tratem de questões ambientais, mas salienta a importância da análise espacial da informação, sendo a escala adotada, de fundamental relevância para o estudo e sua aplicação.

A escala de estudo de um relevo irá determinar as estratégias e técnicas de abordagem da análise geomorfológica. Por exemplo, em pequenas escalas costuma-se utilizar imagens orbitais, que abrangem consideráveis porções do terreno, mas a baixas resoluções espaciais; por outro lado, trabalhando em escalas maiores, faz-se o uso de fotografias aéreas (pequenas áreas, altas resoluções). Desta forma fica claro que a noção de escala é fundamental na cartografia geomorfológica, (KÖHLER, 2002)

Silva (2007) destacou que um aspecto inerente a esta discussão, refere-se à resolução espacial observada ou considerada do fenômeno estudado, como a questão da “escala”. Considerada como uma transformação geométrica de aplicação nas informações geográficas, a escala representa uma fração que indica a relação existente entre as medidas de aproximação do real. A escala é importante em diversos aspectos do estudo da “paisagem”, destacando a diferenciação de escalas temporais e espaciais na ocorrência dos fenômenos que envolvem os estudos da ecologia da paisagem.

O primeiro conceito de mapas geomorfológicos foi apresentado por Passarge em 1914, na forma de um atlas morfológico. O mapeamento geomorfológico, como atualmente, teve início na Polônia, onde ele tem sido utilizado, desde a décadas dos anos de 1950, como suporte ao planejamento econômico (FLORENZANO, 2008).

O trabalho de Cailleux e Tricart (1956) *apud* Kohler (2002) avaliou que, na década de 60, a geomorfologia e suas formas de representação da superfície terrestre, apresenta um marco inicial da utilização de uma escala espaço- temporal para fundamentar as pesquisas geomorfológicas considerando principalmente o cruzamento de critérios espaciais e temporais, para a obtenção de uma classificação taxonômica das formas do relevo, baseada num princípio dinâmico e outro dimensional.

Estudos aplicados em escala nacional projetos governamentais como o RADAMBRASIL, nas décadas dos anos de 1970 e 1980, trouxeram contribuições consideráveis acerca de propostas metodológicas e para escalas de abordagem para a geomorfologia nacional, bem como o IBGE (2009) com seu manual técnico de geomorfologia, pesquisadores como: (Ab Saber 1969,1967,1949; Almeida 1952 e Ross 1995,1992) propiciaram uma melhor análise das propostas metodológicas para os mapeamentos geomorfológicos e conseqüentemente permitiram uma evolução nas discussões acerca dos levantamentos.



Face da evolução dos pressupostos analíticos e metodológicos das representações da superfície terrestre e suas feições a partir de mapas, a geomorfologia e sua vertente ambiental passa a nortear estudos mais verticalizados sobre as interações entre os elementos naturais e suas funcionalidades e as alterações dos mesmos, frente as intervenções humanas.

Ross (1990) colocou a geomorfologia como ciência peculiar em função das interfaces que esta proporciona quando se analisa o espaço geográfico. Enfoca o relevo em sua forma e gênese exigindo dos pesquisadores um conhecimento pluralista.

A partir da década de 80 a Geomorfologia começa a se caracterizar pelo enfoque ambiental de seus estudos. Cunha e Guerra (1996) passaram então a desenvolver a Geomorfologia Ambiental que tem como tema “integrar as questões sociais às análises da natureza”. Deve se incorporar em suas observações e análises as relações político-econômicas, importantes na determinação dos resultados dos processos de mudança.

Desta forma, a geomorfologia dentro da sua análise integrada e geossitêmica, passa a produzir conhecimentos voltados a questão ambiental mais aplicada. Para Marques Neto (2008) a forte exploração de recursos naturais vem levando os sistemas ambientais físicos a serem amplamente degradados sendo que os mesmos foram fortemente catalisados pelo advento da Revolução Industrial.

Nesse período da história os impactos ambientais excedem a esfera dos tecidos geocológicos e passam a afetar a atmosfera terrestre por efeito dos gases liberados pelas chaminés das fábricas. A explosão demográfica também é uma marca desse período, repercutindo num aumento substancial da demanda por recursos.

A variada gama de problemas ambientais com a qual o homem vem se defrontando a partir das últimas décadas do século XX vêm sendo responsável por um crescente questionamento às bases filosóficas em que se assenta o racionalismo clássico e nas quais se alicerçam os sistemas vigentes de relação homem x natureza que, atualmente, dão sinais claros de crise e esgotamento. No plano científico, isso repercute numa incorporação, cada vez mais crescente, da Teoria Geral dos Sistemas no arsenal teórico-metodológico de diversos ramos do conhecimento, entre eles as ciências ambientais. (MARQUES NETO ,2008. p. 69.)

A Teoria Geral dos Sistemas (TGS) foi apresentada em caráter inaugural no seminário filosófico em Chicago no ano de 1937 pelo biólogo Ludwig von Bertalanffy.

Bertalanffy (1973) aponta a necessidade resultou do fato do esquema mecanicista das séries causais isoláveis e do tratamento por partes ter se mostrado

insuficiente para atender aos problemas teóricos, especialmente nos aspectos diretamente aplicados as relações sociedade e natureza, e os problemas práticos propostos pela moderna tecnologia. A viabilidade resultou de várias novas criações teóricas, epistemológicas, matemáticas, etc., que, embora ainda no começo, tornaram progressivamente realizável o enfoque dos sistemas.

Segundo Bertrandt (1972) a paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, numa determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto, em perpétua evolução. É preciso frisar bem que não se trata somente da paisagem natural, mas da paisagem total interagindo todas as implicações da ação antrópica.

Na proposta de Bertrand (1972) foram relacionados seis níveis têmporo-espaciais de classificação que são: de uma parte a *zona*, domínio e a *região*; e de outra o geossistema, geofácia e o geótopo. Neste contexto, a zona deve ser imperativamente ligada ao conceito de zonalidade planetária, a qual se define primeiramente pelo seu clima e seus biomas, acessoriamente por certas megaestruturas.

Os domínios correspondem as unidades de segunda grandeza permitindo um reagrupamento variável de atores, com diferentes hierarquias. Por sua vez a região natural, que abrange a terceira e a quarta grandeza na escala têmporo-espacial, geralmente é constituída por uma individualização biogeográfica original.

Abordando as unidades inferiores, Bertrand (1972) esboçou a definição teórica do geossistema através da inter-relação entre potencial ecológico (geomorfologia, clima, hidrologia), exploração biológica (vegetação, solo, fauna) e ação antrópica. Bertrand (1972) esclareceu que um geossistema não possui necessariamente uma grande homogeneidade fisionômica.

A unidade fisionômica é a que vem compor os geofácies e os geótopos, onde entende-se por geofácia “um setor fisionomicamente homogêneo onde se desenvolve uma mesma fase de evolução geral do geossistema”. Por geótopo entende-se como a menor unidade geográfica homogênea diretamente discernível no terreno.

Segundo Sotchava (1977) avaliou que embora os geossistemas sejam fenômenos naturais, todos os fatores econômicos e sociais, influenciando sua estrutura e peculiaridades espaciais, são tomados em considerações durante o seu estudo e suas descrições verbais ou matemáticas.

Verificando a abordagem geossistêmica foi possível avaliar os diversos níveis de estruturação da paisagem possibilitando uma aplicação direta dos conhecimentos, daí a importância dessa teoria. Ao buscar a interação entre os diversos elementos da natureza através das conexões entre eles não se deve restringir à morfologia da paisagem e suas subdivisões, mas, de preferência, projetar-se para o estudo de sua dinâmica, estrutura funcional, conexões, etc.

A análise não pode expandir-se senão na pesquisa e na reflexão interdisciplinar. Daí a dificuldade de aplicabilidade da visão geossistêmica nos estudos da paisagem. A necessidade de resultados específicos e imediatos dificulta a interação entre as diferentes ciências.

Essa visão integrada da natureza também foi proposta por Tricart (1977) através de seus estudos sobre a ecodinâmica. Essa teoria, é baseada no ecossistema e no fluxo de matéria e energia no meio natural através também de uma visão sistêmica a esse estudo denominou-se a Ecodinâmica e a partir dele estabeleceu-se uma classificação Ecodinâmica do meio ambiente.

Tricart (1977) distinguiu três grandes tipos de meios morfodinâmicos, em função da intensidade dos processos atuais, a saber: meios estáveis, meios “intergrades” e os meios fortemente instáveis.

De acordo com o autor, referindo-se aos meios estáveis, a noção de estabilidade aplicou-se ao modelado à interface atmosfera-litossfera e pontou como característica desse sistema uma lenta e constante evolução não comportando eventos catastróficos e predominando o processo de pedogênese. Os meios “intergrades” constituem uma transição entre os meios estáveis e instáveis. Nesse caso, “os processos de morfogênese e pedogênese atuam de forma concorrente em um mesmo espaço”. Já nos meios fortemente instáveis há o predomínio da morfogênese tanto por ação da geodinâmica interna como também da ação climática e antrópica.

Segundo Erhart (1960) quando o sistema ambiental atinge um ‘clímax’ de equilíbrio denomina-o em estado de biostasia, ou seja, há um equilíbrio natural nos sistemas de entrada e saída de matéria e energia do sistema. Havendo a ruptura desse equilíbrio o meio entra em estado de resistásia.

A concepção de Geossistema de Sotchava, a Paisagem e Geografia Física Global de Bertrand, a Ecodinâmica de Tricart, a Bioresistásia de Erhart enquadram-se no contexto das abordagens holísticas para o estudo dos sistemas ambientais,

exigindo, portanto, o envolvimento de profissionais com diferentes formações, sendo essencialmente uma atividade interdisciplinar.

As teorias descritas se articulam de forma integrada, facilitando a análise da paisagem e sua evolução frente a situações de equilíbrio natural, mas permitem também diagnosticar rupturas no equilíbrio estabelecido anteriormente e facilitam a compreensão da nova dinâmica imposta a uma dada área, na busca do perfil de equilíbrio e as consequências que essas alterações imprimiram na paisagem.

### **3.3 Solos e sua demanda, conservação e erosão**

O solo é um recurso básico que suporta toda a cobertura vegetal de terra, sem a qual os seres vivos não poderiam existir.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990) os solos ocupam extensas áreas no globo. Eles são uma das maiores fontes de energia para a grande teia da vida que, geração após geração de homens, plantas e animais, atua na superfície terra.

Quanto ao uso agrícola dos solos, algumas práticas ou ausências de práticas conservacionistas, podem exaurir a capacidade produtiva, levando a degradação, perda e comprometimento da disponibilidade e da qualidade dos recursos hídricos de uma dada área.

Para Bertoni e Lombardi Neto (1990) boa parte dos métodos agrícolas de produção têm sido desenvolvidos, alguns benéficos, outros prejudiciais, alguns práticos, outros nem tanto, podendo gerar lucros ou ônus ao produtor. A conservação dos solos pauta-se em duas máximas sendo a primeira usá-la de acordo com sua capacidade e a segunda, protegê-lo conforme sua necessidade.

Segundo Lepsch (1983) o uso racional do solo é o primeiro passo em direção a uma forma mais sustentável de agricultura e os solos devem ser aproveitados, de acordo com sua capacidade de sustentação e produção econômica, de forma que a exploração dos recursos naturais seja disposta ao homem para seu melhor uso e benefício, procurando ao mesmo tempo, preservar esses recursos para as gerações futuras.

Para Darnardin *et al.* (2010) conservacionismo é como a gestão da utilização dos elementos da biosfera, de modo a produzir benefícios à população humana, mantendo suas potencialidades necessárias às gerações futuras e a conservação do

solo como a ciência que estuda e apregoa ações de preservação, manutenção e restauração ou recuperação das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo, estabelecendo critérios para sua ocupação e utilização, sem comprometer suas potencialidades primitivas.

Desta forma a agricultura conservacionista deve ser praticada visando minimizar os impactos do uso de insumos externos, utilizar o sistema de técnicas adequado ao local mantendo suas características primitivas e manejar de forma integrada ao ambiente para a restauração e preservação dos recursos naturais disponíveis.

A agricultura e sua característica marcante de ocupação de extensas áreas sugere um entendimento do novo padrão de comportamento instaurado na paisagem, cabendo então à ciência, esta análise integrada, da ocupação antrópica e do novo padrão imposto à paisagem.

Segundo Christofolletti (1980) o conceito de equilíbrio em geomorfologia significa que materiais, processos e a geometria do modelado, que compõe um conjunto autorregulador, sendo que a forma é o produto do ajustamento entre materiais e processos. A alteração de qualquer variável que compõe um sistema pode sugerir uma adaptação às novas condições de energia e conseqüentemente de matéria. O mesmo autor citado, neste parágrafo, observou que a ruptura do equilíbrio ocorre quando o estímulo exterior apresentar magnitude suficiente para ultrapassar a capacidade de absorção.

As áreas mais propícias à mecanização da agricultura foram rapidamente absorvidas pela nova ordem capitalista, visando a obtenção de lucros a partir de “commodities”.

A paisagem foi então retrabalhada em função de interesses, mas com o passar do tempo, os primeiros sintomas ou efeitos foram surgindo, como assoreamento dos rios, diminuição de vazão, poluição dos solos, erosão, etc.

Frente a essa expansão agrícola, os cerrados passaram a contar com uma agricultura moderna. Baccaro (1990) avaliou que a modernização da agricultura não tem sido benéfica ao meio natural, tal que o uso de maquinários tem gerado a compactação dos solos, e acentuando o escoamento superficial e em conseqüência a erosão laminar.

Essa forma de ocupação das áreas de cerrados pela agricultura vem acelerando os processos de erosão e, conseqüentemente, o assoreamento de fundo de vales, bem como levando ao empobrecimento dos solos e a diminuição da vazão dos mananciais.

Assim, ao se estudar a dinâmica dessa paisagem do cerrado deve-se avaliar as ações antropogênicas do passado e do presente, acreditando que as alterações são bruscas e rápidas.

Uma característica importante neste Domínio do Cerrado é a existência do clima tropical com épocas sazonais bem definidas, chuvosa no verão (novembro a março), quando então ocorrem fortes aguaceiros, e seca no outono-inverno (maio a setembro). As chuvas provocam um carreamento muito forte dos materiais superficiais, resultando em intensos processos de escoamento pluvial com formação de sulcos, ravinas, voçorocas e arrasto laminar do horizonte superficial dos solos.

Assim, o conhecimento dos atributos físicos e de suas características, pelos agricultores constitui-se em informação precisa na decisão do uso do solo e seu manejo. Diante de informações sobre as limitações de solo, clima e relevo, o agricultor terá melhores condições de analisar as possibilidades de desenvolvimento das diversas culturas passíveis de serem implantadas em sua propriedade.

A erosão hídrica, representa uma das formas mais diretas da degradação dos solos, gerando fortes perdas econômicas e grandes pressões com relação as disponibilidades dos recursos hídricos de uma área.

Segundo Pruski (2013) a erosão é tão antiga quanto à própria Terra, sendo designada geológica a oriunda de processos geológicos e evolutivos, neste caso com caráter natural, sendo uma ocorrência normal do processo de modificação desta e constituindo processo benéfico para a formação do próprio solo. Mas, a ação do homem leva a ruptura deste equilíbrio tênue, por meio da inserção de práticas que destroem as relações de normalidades dos sistemas naturais, dando origem à erosão acelerada, que constitui uma situação que pode acarretar grandes prejuízos não só para as atividades agropecuárias, mas também para outras atividades econômicas e para o meio ambiente.

Para Bertoni e Lombardi Neto (1990) práticas agrícolas comprovadamente maléficas, que ainda são usadas pelos agricultores, como o plantio contínuo e mal espacializado de culturas esgotantes e pouco eficientes para a proteção dos solos, o plantio morro abaixo, a queimada dos restos culturais e o pastoreio extensivo feito de forma excessiva, estão acelerando gravemente a degradação dos melhores solos do país.

Guerra (2014) avaliou que fatores socioeconômicos que atuam em escala nacional em propriedades rurais e nas bacias hidrográficas, apresentam um papel de

suma importância nos incentivos dados aos produtores rurais, no sentido de adotarem práticas conservacionistas. O conhecimento acerca da erosão e conservação dos solos vem crescendo rapidamente nas últimas décadas.

Mesmo com conhecimentos e técnicas conservacionistas, casos de erosão continuam a ocorrer por todo o planeta.

Bertoni e Lombardi Neto (1990) consideraram que a conservação dos solos constitui, um dos aspectos mais importantes e também um forte desafio para agricultura moderna. Desta forma, é necessário planejar de forma racional o uso dos solos para cada gleba de terra, tendo em vista o conjunto de suas principais características físicas, ecológicas e econômicas. Segundo Pruski (2013) a erosão consiste no processo de desprendimento e arraste das partículas do solo, ocasionado pela ação das águas e do vento, constituindo a principal causa da degradação das terras agrícolas.

Martins Filho (2007) apontou que a erosão é uma das formas mais graves de degradação dos solos, que causa poluição ao meio ambiente, sendo está classificada quanto às possíveis fontes de poluição, podendo ser pontuais e difusas.

Em estudos realizados por Martins Filho *et al.* (2009) acerca da cobertura de resíduos de palha na superfície de um Argissolo, sob cultivo de cana de açúcar na região de Catanduva-SP, apontam resultados na redução de sedimentos, escoamento superficial e ganhos nas taxas de infiltração, sendo os resultados satisfatórios na redução das taxas de erosão.

Valle Júnior *et al.* (2010) avaliou que as formas de erosão que ocorrem nas bacias hidrográficas são consideradas um dos problemas mais sérios da atualidade, influenciando a produção agrícola, devido ao conseqüente empobrecimento do solo e ao abastecimento de água, acarretando a diminuição de sua disponibilidade nos reservatórios devido ao assoreamento.

A dinâmica dos processos erosivos que ocasionam a erosão solo tem sido objeto de estudos de diferentes autores (Pruski, 2013 e 2011; Bertoni e Lombardi Neto, 1990; Guerra, 1999 e 2014; Martins Filho, 2009, 2007, 2004, Dantas e Martins Filho *et al.*, 2014), dentre outros, os quais buscaram, a partir de dados experimentais em campo e no laboratório, informações que puderam subsidiar as tomadas de decisões quanto ao uso de técnicas que minimizem a ação dos processos erosivos.

Silva (2011) considerou acerca dos processos erosivos que ocorrem de forma natural no meio ambiente, sendo de forma lenta e gradual, provocando, no decorrer da evolução do globo terrestre, mudanças no relevo e paisagens e na vegetação.

A erosão do solo é considerada como erosão natural que consiste em um processo praticamente impossível de ser estancado, comumente difícil de ser controlado e, facilmente acelerado pelo homem.

Guerra (2014) mencionou que a erosão dos solos é um fenômeno natural. Todas as regiões que possuem algum tipo de declividade, geralmente superior a 3°, podem sofrer a erosão.

Há uma visão muito clara que, a erosão passa a ser preocupante a partir do limiar da naturalidade, onde a causa pode ser em função de desastres naturais ou a intensificação da erosão por ações antrópicas acompanhadas das reduzidas ou ausentes práticas conservacionistas.

A erosão potencializada por interferências externas ou por modificações impostas por ação diretas do homem, não ficam restritas à sua área de ocorrência, além de diminuir a quantidade de nutrientes no topo do solo do local, causa assoreamento e poluição nos locais onde foram depositados os sedimentos transportados, em especial em reservatórios, rios, açudes e lagos.

Ashman e Puri (2002) indicaram que existem estimativas de que 80% dos solos agrícolas do mundo estão sujeitos a alguma forma de erosão.

As regiões tropicais dadas suas características climáticas, estão mais sujeitas aos processos erosivos, principalmente os de origem hídrica. A intensificação destes processos em função das atividades antrópicas, tem chamado a atenção para uma maior preocupação com as variáveis envolvidas.

Para compreender o início do processo erosivo estudos em laboratório e em campo, passam a subsidiar as tomadas de decisões quanto ao uso do solo.

Guerra (1999) apontou que com conjunto de acontecimentos sincronizados ou iniciados em decorrência do anterior, iniciam os processos que desencadeiam a erosão hídrica.

A entrada de água no sistema de forma mais direta e em contato com os solos desnudos ou recobertos com tipos vegetais de reduzida capacidade em dissipar a energia despreendida pelas gotas das chuvas, possibilitam a ação do “splash”, também conhecido por erosão por salpicamento, preparam as partículas que compõem os solos, para serem transportadas pelo escoamento superficial.



A ação das gotas de chuvas carregadas de energia cinética, que bombardeiam a superfície dos solos, poderá levar a ruptura dos agregados, disponibilizando partículas para serem transportadas pela ação do escoamento em superfície e ainda gerando as crostas de selamento no topo dos solos o que compromete a infiltração.

A energia cinética das chuvas determina a erosividade, sendo essa a capacidade que a mesma possui em causar erosão.

Segundo Goudie (1985) *apud* Guerra (1999) energia cinética é a energia resultante do movimento translacional de um corpo, e, do ponto de vista teórico, a energia cinética de uma chuva é altamente significativa para a erosão, porque envolve gasto de energia para ruptura dos agregados e para o “splash” de partículas.

Como mencionado anteriormente além do salpicamento de partículas do solo, a ação da gota da chuva, leva a formação de crostas de selamento no topo dos solos, gerando uma condição favorável ao início do “runoff”. Epstein e Grant (1967) observaram em experimentos sob chuvas simuladas a formação de crostas em apenas seis minutos após o início do ensaio, avaliando que a densidade aparente dos solos aumentou de  $1,1/\text{cm}^3$  para  $1,54 \text{ g}/\text{cm}^3$ , depois da formação das crostas.

Guerra (1999) avaliou que esse aumento de densidade de forma significativa é responsável pelo início do processo erosivo, pois diminui a porosidade, dificultando a infiltração de água no solo, formando poças, que se interligam e iniciam o processo de escoamento.

O início do escoamento do superficial está relacionado com as taxas de infiltração e a saturação dos solos, quando a saturação ocorre, há a formação de poças, podendo iniciar a partir das mesmas, o escoamento.

Pruski (2011) avaliou que o escoamento superficial corresponde ao segmento do ciclo hidrológico relacionado ao deslocamento das águas sobre a superfície do solo. O conhecimento acerca do mesmo é de fundamental importância para o dimensionamento de projetos que apropriem de forma direta dos solos.

O escoamento superficial é responsável pelo transporte de partículas pela superfície. A água que se acumula nas depressões do terreno começa a escoar pelas vertentes quando o solo está saturado, e as poças não conseguem mais conter a água. Inicialmente o fluxo é difuso, provocando a erosão entressulcos. O fluxo linear é o estágio seguinte, quando começa a concentração do fluxo de água. O desenvolvimento de microrravinas é o terceiro estágio da evolução do escoamento superficial. O quarto estágio é a formação de microrravinas com cabeceiras, as ravinas podem evoluir para

um processo erosivo de maior proporção, as voçorocas. Horton (1945) avaliou que o conceito de evolução de ravinas baseia-se no fato de que, quando a precipitação excede a capacidade de infiltração do solo, inicia-se o escoamento superficial.

Para Guerra (1999) é importante chamar a atenção que a partir do conhecimento mais detalhado acerca do escoamento superficial, conhecendo sua gênese e evolução ao longo da encosta é possível prever as consequências que o mesmo impõe ao uso do solo, sendo nestes casos de suma importância a adoção de técnicas e estratégias de conservação dos solos, com o objetivo mais amplo de um desenvolvimento sustentável nas áreas agropastoris brasileiras.

### **3.4 Gestão ambiental**

A gestão de ambientes, torna-se uma das formas mais eficazes do planejamento e uso de recursos disponíveis em uma dada área ou região. O conhecimento dos limites e a capacidade de suporte dos empreendimentos facilita a tomada de decisões.

Aspectos ligados à questão ambiental vêm ganhando cada vez mais espaço e, a exigência de produtos que atendam essas características cresce na sociedade. Os interesses de governos e de consumidores estão se tornando cada vez mais presentes nas empresas dos setores mais importantes da economia.

A necessidade de tomada de decisões, em que a variável ambiental é cada vez mais latente, trouxe à tona, e fez com que as discussões pertinentes a essa questão entrassem nas agendas e pautas de governos, pesquisadores, instituições de ensino e agências de investimento, resultando em esforços como a Conferência de Estocolmo, a Rio 92 e a Agenda 21.

Durante a década dos anos de 1990, foi que o setor agroindustrial percebeu que a preocupação com os recursos naturais e seu uso racional poderia proporcionar ganhos em um mercado cada vez mais competitivo e globalizado. As normas ambientais voluntárias surgiram como uma resposta do setor produtivo frente às discussões e proposições quanto ao desenvolvimento sustentável, durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento no ano de 1992.

Segundo Piacente (2005) durante a década dos anos de 1990, ocorreu um gradativo incremento na demanda por sustentabilidade da agricultura, fomentado pelos movimentos ambientalistas, desde a busca pela preservação dos recursos naturais, pela demanda de produtos saudáveis e “ambientalmente corretos”. Desta forma, sistemas de qualidade, de responsabilidade social e de gestão ambiental estão sendo crescentemente implantados nas unidades sucroalcooleiras de todo o país. Por se tratar de um setor tradicional e economicamente importante do país, a agroindústria canavieira tem se modernizado e acompanhado essas novas tendências gerenciais.

A Gestão ambiental em bacias hidrográficas ganhou um espaço maior, principalmente pela praticidade de delimitação e espacialização geográfica a partir de levantamentos para a coleta de dados e informações, que possam subsidiar a tomada de decisões.

A bacia hidrográfica é uma unidade ecossistêmica e morfológica que integra os impactos das interferências antrópicas sobre os recursos hídricos, constituída como um sistema aberto, condutor do fluxo energético de entrada e saída de sedimentos e materiais realizados, pela atuação do clima e dos agentes geológicos, geomorfológicos, pedológicos, uso da terra e cobertura vegetal (CBH–TB, 2006).

Mudanças significativas no comportamento das condições naturais de uma bacia hidrográfica, causadas por processos erosivos naturais ou antrópicos, podem gerar alterações no fluxo energético, desencadeando desequilíbrio ambiental, por consequência a degradação da paisagem.

O artigo IV da Lei nº9.433, de 8 de janeiro de 1997, apresenta a bacia hidrográfica como a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

A forma de ocupação e o gerenciamento da mesma, leva a um melhor aproveitamento do potencial natural da área, de forma a prever os impactos diretos e indiretos que a exploração dos recursos naturais pode levar.

### 3.5 Características fisiográficas regionais

#### 3.5.1 Geologia

Segundo Baccaro *et al.* (2001) em quase a sua totalidade, a região do Triângulo Mineiro está inserida na morfoestrutura da Bacia Sedimentar do Paraná, apresentando litologias do Grupo Bauru (Cretáceo), com as Formações Uberaba, Marília e Rio do Peixe, sobrepostas as rochas alcalinas do Grupo São Bento (Mesozóico) Formação Serra Geral.

O conjunto geológico regional, foi moldado as forças intempéricas em condições climáticas distintas, criando compartimentos geomorfológicos.

Soares (2002) considerou acerca dos possíveis acontecimentos que se sucederam durante a evolução da paisagem na região do Triângulo Mineiro, área da Bacia do Paraná demonstrando que a área em estudo é resultado de um longo processo evolutivo, e que o conhecimento da história geológica e climática é a base para o entendimento da estruturação das paisagens.

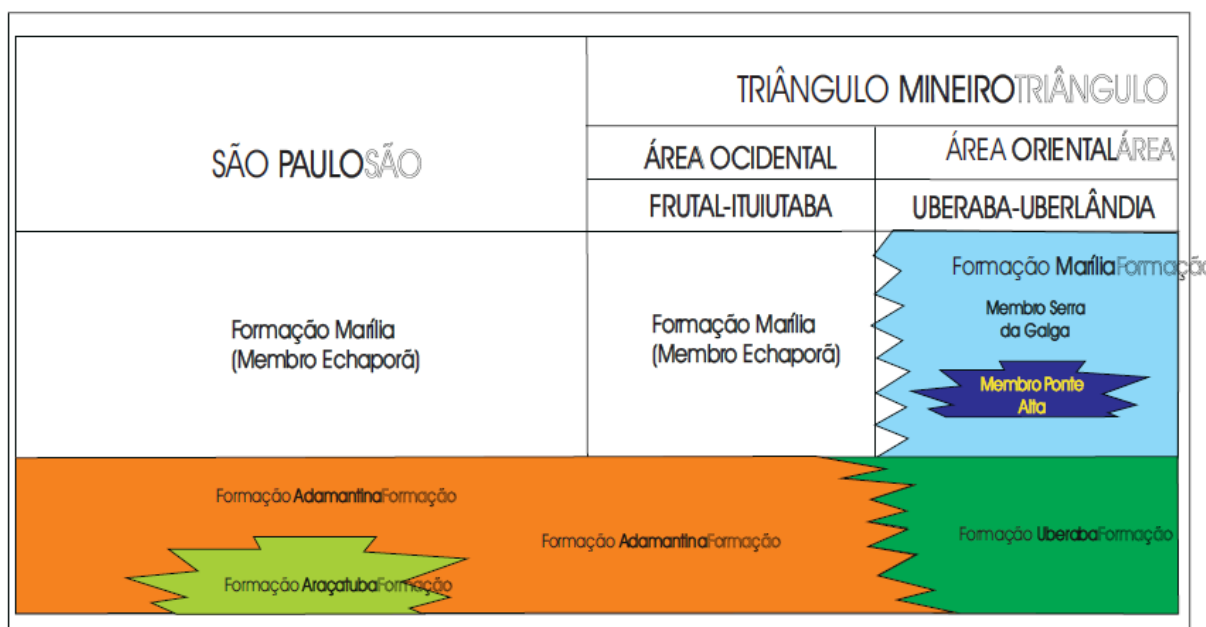
Assim, é a Geologia e as condições climáticas, que direcionam a evolução das formas, a pedogênese, a distribuição e organização da rede de drenagem, os diferentes processos erosivos e sua dinâmica, a formação dos aquíferos subterrâneos, a distribuição da vegetação e outros elementos físicos que interferem na organização e ocupação das paisagens.

Hassui (1969) e Barbosa (1970) realizaram estudos na região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba no estado de Minas Gerais, e, enumeraram uma sucessão de eventos que teriam ocorrido no oeste mineiro: sedimentação das camadas Araxá; metamorfismo e deformação das camadas Araxá; sedimentação das camadas Ibiá-Canastra; deformação e metamorfismo do Grupo Canastra; primeira fase de sedimentação das camadas Bambuí; deformação do rebordo ocidental da bacia. Segunda fase de sedimentação das camadas, contínua erosão até o Cretáceo, início da evolução do deserto Botucatu; início do vulcanismo Paraná com extravasamento de lavas vulcânicas em forma de derrames basálticos e intrusões em forma de domo.

Segundo os autores, quando se iniciou o vulcanismo Paraná, já estava formada a terça parte do Deserto Botucatu. A partir daí, derrames e depósitos de areias eólicas sucederam-se alternadamente; bem como a sedimentação de tufos vulcânicos (Formação Uberaba) e o início da sedimentação Bauru.

Após a sedimentação da Formação Uberaba, um grande lago de água doce formou-se no Triângulo Mineiro e inicia-se a sedimentação da Formação Marília - Membros Ponte Alta e Serra da Galga.

O Grupo Bauru na área de estudo é constituído pelas formações Marília e Uberaba, essa a primeira dividida nos membros Ponte Alta e Serra da Galga, conforme Figura 1.



**Figura 1.** Coluna litoestratigráfica do Grupo Bauru no Triângulo Mineiro e São Paulo. Fonte BATEZELLI (2003), modificado de (BARCELOS & SUGUIO, 1987)

Almeida e Barbosa (1953) apresentaram a designação Formação Marília para os sedimentos clásticos grossos da parte superior do Grupo Bauru, caracterizados pela presença de nódulos e de cimentação carbonática. Essa unidade é composta por arenitos grossos a conglomeráticos, conglomerados, com grãos angulosos e teor de matriz variável. Os arenitos ocorrem na forma de estratos, com espessura média entre 1 e 2 metros, maciços ou em acamamento incipiente, subparalelo e descontínuo.

Conforme apresentou Batezelli (2003) uma das principais características da Formação Marília no Triângulo Mineiro é a alta concentração do conteúdo de cimento carbonático ( $\text{CaCO}_3$ ) presente como cimento micrítico disperso na rocha ou concentrados em níveis ou zonas de fratura. É comum a substituição/corrosão de grãos e clastos siliciclásticos por  $\text{CaCO}_3$ .

Barcelos (1984) subdividiu a Formação Marília em três membros: Ponte Alta, Serra da Galga e Echaporã. Os dois primeiros afloram na parte leste do Triângulo Mineiro (MG), enquanto que o Membro Echaporã está presente na porção oeste.

Segundo Alves (1995) o Membro Ponte Alta é constituído pela alternância de arenitos conglomeráticos e conglomerados com clastos milimétricos a centimétricos de quartzo e quartzito, associados lateralmente e verticalmente a calcretes e silcretes. Via de regra, esses litotipos apresentam-se intensamente cimentadas por carbonato de cálcio.

A presente tese admite como constituinte básico do Membro Ponte Alta, os depósitos calcários economicamente explorados na região de Ponte Alta, Uberaba e Uberlândia. Tratam-se de arenitos calcíferos finos, esbranquiçados, com espessura máxima da ordem de 7 metros, que ocorrem em camadas contínuas com até 3 km de extensão em subsuperfície.

Para diversos autores, como por exemplo Barcelos (1984) Fulfaro e Barcelos (1991) o contato basal do Membro Ponte Alta se dá de forma gradacional com a Formação Uberaba.

Em estudos realizados por Batezelli (2003) foi constatado que os depósitos calcários dessa unidade se comportam como lentes dentro do conjunto areno-conglomerático que compõe o Membro Serra da Galga. O mesmo autor *op cit* em estudos mais detalhados apresenta a seguinte descrição para esse Membro da Formação Marília, sendo:

- Conglomerados polimíticos, clasto-sustentados, brancos a amarelados na base passando para conglomerados sustentados por matriz arenosa com clastos subangulosos a subarredondados e mal selecionados;
- Arenito conglomerático gradando para arenito grosso, amarelado, com estratificações cruzadas acanaladas e tabulares e plano-paralelas, com intraclastos de calcretes, nódulos carbonáticos e feições pedogenéticas; e
- Argilitos e siltitos marrom-avermelhados, subordinados aos ciclos de granodecrescência ascendente.

Por possuir uma grande quantidade de cimento carbonático (calcretes), e subordinadamente, cimento silicoso (silcretes), as rochas do Membro Serra da Galga conferem à região um relevo de serras tabulares (chapadas), constituindo umas das feições geomorfológicas mais marcantes na parte leste do Triângulo Mineiro.

Quando alteradas, as rochas do Membro Serra da Galga dão origem a solo arenoso, que favorece o aparecimento de grandes boçorocas.

Batezelli (2003) apontou que a Formação Uberaba é constituída por arenitos e, subordinadamente, por lamitos, siltitos e conglomerados. Os arenitos apresentam-se

na forma de corpos lenticulares, com espessuras que variam de 20 cm a 1,5 m, podendo estar intercalados por níveis centimétricos de siltito/lamito. Em alguns pontos, essas barras arenosas encontram-se amalgamadas. As estruturas sedimentares presentes são basicamente estratificações cruzadas acanaladas e tabulares de pequeno a médio porte, estratificação plano-paralela, feições acanaladas e algumas estruturas deformacionais e de injeção de argila, na forma de estruturas em chama e dobras convolutas.

Em termos texturais, os arenitos dessa formação apresentam seleção moderada, sendo freqüentes intraclastos de argila e de rocha basáltica com tamanhos submilimétricos a centimétricos. É comum também a presença de nódulos carbonáticos ou de níveis cimentados por carbonato de cálcio.

Batezelli (2003) após análises petrográficas realizadas, demonstrou que as rochas da Formação Uberaba são classificadas como litoarenitos a litoarenitos feldspáticos e sublitoarenitos. A composição mineralógica básica é formada por quartzo (40%), feldspato (15%) e fragmentos de basalto (40%). Minerais acessórios como calcita, olivina, piroxênio, titanita, apatita, biotita, granada e opacos, perfazem um total de 5%.

O contato basal da Formação Uberaba com os basaltos da Formação Serra Geral se dá de forma abrupta, erosiva. Os dados de subsuperfície indicam a presença de uma camada argilo/siltoso com 5 metros de espessura na base da Formação Uberaba. O contato superior se dá de forma abrupta com as rochas da Formação Marília, ao contrário do que foi postulado por diversos autores que advogam contato gradacional.

### 3.5.2 Geomorfologia

As formas atuais apresentam uma íntima relação entre as interações de equilíbrio das forças modeladoras e seus processos esculturais e as forças criadoras da estrutura geológica e sua petrografia. Para o entendimento das formas atuais é de suma importância o entendimento destas relações estabelecidas ao longo do tempo geológico. Uma série de estudos na região do Triângulo Mineiro, descreveram a organização da morfoescultura dentre eles podemos citar, Del Grossi (1991) que analisou a geomorfologia regional a partir da proposta por analítica de Ab'Saber (1967) como sendo a área inserida nos “Domínios dos Chapadões Tropicais do Brasil Central”, constituindo a subunidade Planalto Setentrional da Bacia Sedimentar do Paraná.

Esta avaliação morfoestrutural, indica que o relevo regional é resultado da evolução da Bacia do Paraná, mostrando-se relativamente homogêneo, cuja morfologia encontra-se caracterizada por chapadas.

Já Baccaro (1991) fez apontamentos que as formas desse relevo vêm sendo trabalhadas desde o período Terciário (o termo “Terciário” não integra mais o Quadro Estratigráfico Internacional da Comissão Internacional sobre Estratigrafia, sendo substituído e apontado atualmente pela literatura como Paleógeno).

No transcorrer desses períodos, através de alterações climáticas e implicações tectônicas, o relevo regional sofreu extenso processo de pediplanação, laterização e dissecação, evidenciada por King (1962) e Barbosa (1970) o que resultou nas formas atuais.

Essas superfícies antigas, cujos testemunhos são encontrados na paisagem atual e que evidenciam uma superfície de erosão, são, provavelmente, resultado do aplainamento Sulamericano que terminou no Paleógeno Superior (provavelmente Oligoceno-Mioceno).

King (1956) apontou que os depósitos de espigão e de cimeira são representantes da superfície de aplainamento Sulamericana, que atuou durante Cretáceo Inferior e Paleógeno Médio, promovendo um aplainamento do relevo e formando uma vasta planície que posteriormente foi soerguida, sendo reduzida a um planalto dissecado.



Quanto a dissecação do relevo, Baccaro (1991) propôs uma avaliação das formas, a partir de uma análise da compartimentação topográfica e a estrutura geológica, sendo:

- Área de relevo intensamente dissecado – correspondendo à borda da extensa chapada Araguari-Uberlândia, estendendo-se entre os rios Paranaíba e Grande, que vem sendo intensamente dissecada, entalhada pelos seus afluentes. As feições morfológicas desse compartimento estão relacionadas a litologia, representada pelo basalto e pelas rochas do Grupo Araxá, predominantemente, com uma presença menos significativa dos arenitos do Grupo Bauru e dos sedimentos do Cenozóico;
- Área de relevo medianamente dissecado – apresenta topos nivelados entre 750 e 900 metros, com formas convexas e vertentes entre 3° e 15° de declividade. A Formação Adamantina é a mais representativa na área, recoberta em grandes porções pelos sedimentos inconsolidados do Cenozóico, sobreposta ao basalto da Formação Serra Geral;
- Área de relevo residual – caracteriza-se por bordas escarpadas, erosivas, de até 150m, em contornos irregulares, com declividades que podem atingir 45°. Corresponde às porções mais elevadas em topos de divisores de água das principais bacias entre 800 e 900m. Apresenta relevo intensamente dissecado com formas convexas nas vertentes. Apresenta uma litologia vinculada aos arenitos da Formação Marília, mantendo as bordas escarpadas, sustentadas pela intensa cimentação carbonática e/ou silicosa;
- Áreas elevadas de cimeira entre 950 e 1050 m, com topos planos, amplos e largos – baixa densidade de drenagem e vales com pouca ramificação de drenagem, vertentes com baixas declividades entre 3° e 5°, sustentadas pelos arenitos da Formação Marília, recoberta pelos sedimentos do Cenozóico.

A evolução destas estruturas geomorfológicas, estão relacionadas há uma série de acontecimentos geológicos e climáticos, como descritos por Feltran Filho (1997) que apontou algumas hipóteses relativas a origem das chapadas, em uma síntese geológica, climática e geomorfológica. Para este autor a evolução percorre desde o Devoniano e o Jurássico, onde a bacia do Paraná sofreu grandes transformações, em função do arqueamento no País. Essa situação de arcos formou um embaciamento onde se depositaram no cretáceo, os sedimentos do Grupo Bauru. O basculamento da

região do Triângulo e Alto Paranaíba teriam orientado a drenagem no sentido do rio Paranaíba.

O Paleógeno na Região Centro-Oeste do Brasil passou de um clima árido, predominante no Cretáceo, para um clima mais úmido, no Cenozóico inferior. Criaram-se condições de aprofundamento dos canais fluviais e um desnivelamento topográfico e acentuando o recuo paralelo das vertentes. Esse ambiente propiciou o rebaixamento das cotas altimétricas e a continuada remoção de sedimentos dos topos para o fundo de vale.

Segundo Ab'Saber (1977) dentro do Plioceno, a região passou por uma mudança climática associada a uma reativação tectônica, o clima passou a ser mais seco e frio. O lençol freático passou por oscilações e rebaixamento lento e os canais fluviais provocam uma incisão mais pronunciada, redefinindo o nível de base local.

No Holoceno as condições do clima na região, formularam uma alternância entre estação chuvosa e estação seca, acelerando o intemperismo químico e a erosão superficial. Com uma maior quantidade de água no sistema a denudação prevalece e a evolução topográfica segue seu rumo com intensa lixiviação e formação de camadas detríticas – lateríticas.

Feltran Filho (1997) ainda fez análises nas chapadas e caracterizou os topos, como uma área importante para as atividades (urbanas e rurais), sendo por isso mesmo, cada vez mais requisitadas. Os topos das chapadas juntamente com as vertentes. Segundo King (1956) as formas dos topos e vertentes representam os testemunhos mais preservados de um processo erosivo generalizado, ocorrido Paleógeno, da superfície “ Sulamericana ”. Segundo proposta apresentada pelo autor, foi possível identificar, ainda no Oeste mineiro, mais duas superfícies de aplainamento: uma delas, mais elevada e mais velha que a “ Sulamericana ”, foi chamada de “ Pós-Gondwana ”; a outra, em compartimento morfológico mais baixo que a “Sulamericana”, corresponderia ao ciclo “Velhas”.

Dada a importância que a análise climática representa na estruturação das paisagens influenciando na determinação do tipo de meteorização dominante e interferindo nos processos morfoclimático, na cobertura vegetal e na esculturação das vertentes, são muito relevantes as informações da dinâmica atmosférica geral da América do Sul e do Brasil, para entender como as massas de ar determinam as condições climáticas regionais.

Ab'Saber (1977) e Novaes Pinto (1990) destacaram que no Paleógeno, a região do Triângulo Mineiro passou de um clima árido, predominante no Cretáceo, para um clima mais úmido no Cenozóico Inferior. A presença de maior umidade proporcionou erosão vertical provocou o aprofundamento dos vales, e a erosão horizontal promoveu um desnivelamento topográfico. Segundo estes autores as oscilações climáticas no Cenozóico, associadas às oscilações epirogenéticas, deram origem a novos sistemas naturais, com a evolução das vertentes e dos vales.

Nesse período, ocorreu uma reorganização da rede de drenagem e a instalação dos principais rios da região em falhamentos preexistentes. Nesta avaliação conforme os autores acima, a região passou por outra mudança climática no Plioceno. Com a reativação tectônica e o clima passa a ser mais seco e mais frio. O lençol freático passa por rebaixamento lento e os canais fluviais aprofundam seus leitos e redefinem o nível de base local e a rede de drenagem já organizada.

Já no Pleistoceno, com o clima semiárido e chuvas torrenciais, as rochas mais resistentes deram origem aos relevos residuais dos topos planos (chapadas) mais elevados e residuais mais rebaixadas topograficamente. No Pleistoceno Superior, o clima úmido e quente retrabalhou as vertentes e promoveu a deposição de grande quantidade de sedimentos nos cursos d'água, originando os terraços fluviais.

Para Novaes Pinto (1990) as condições do clima atual, com maior umidade, teriam se iniciado no Holoceno.

A sazonalidade climática orientada entre estações seca e chuvosa, acelerou o intemperismo químico, a verticalização do relevo e a erosão superficial. A maior quantidade de água no sistema favoreceu, através da denudação, o rebaixamento topográfico e a intensa lixiviação, com a formação de camadas lateríticas.

Neste aspecto, é a geologia que controla a evolução das formas, os tipos de solo e sua variabilidade espacial, a distribuição e organização da rede de drenagem, os diferentes tipos de processos erosivos, a formação de aquíferos subterrâneos e outros elementos que interferem na evolução e na ocupação das superfícies geomórficas. Apesar do importante papel dos processos geológicos na estruturação das paisagens, outros processos também são importantes nesse processo, tais como: a dinâmica climática, a morfogênese, a pedogênese e a ação antrópica.

### 3.5.3 Solos e usos

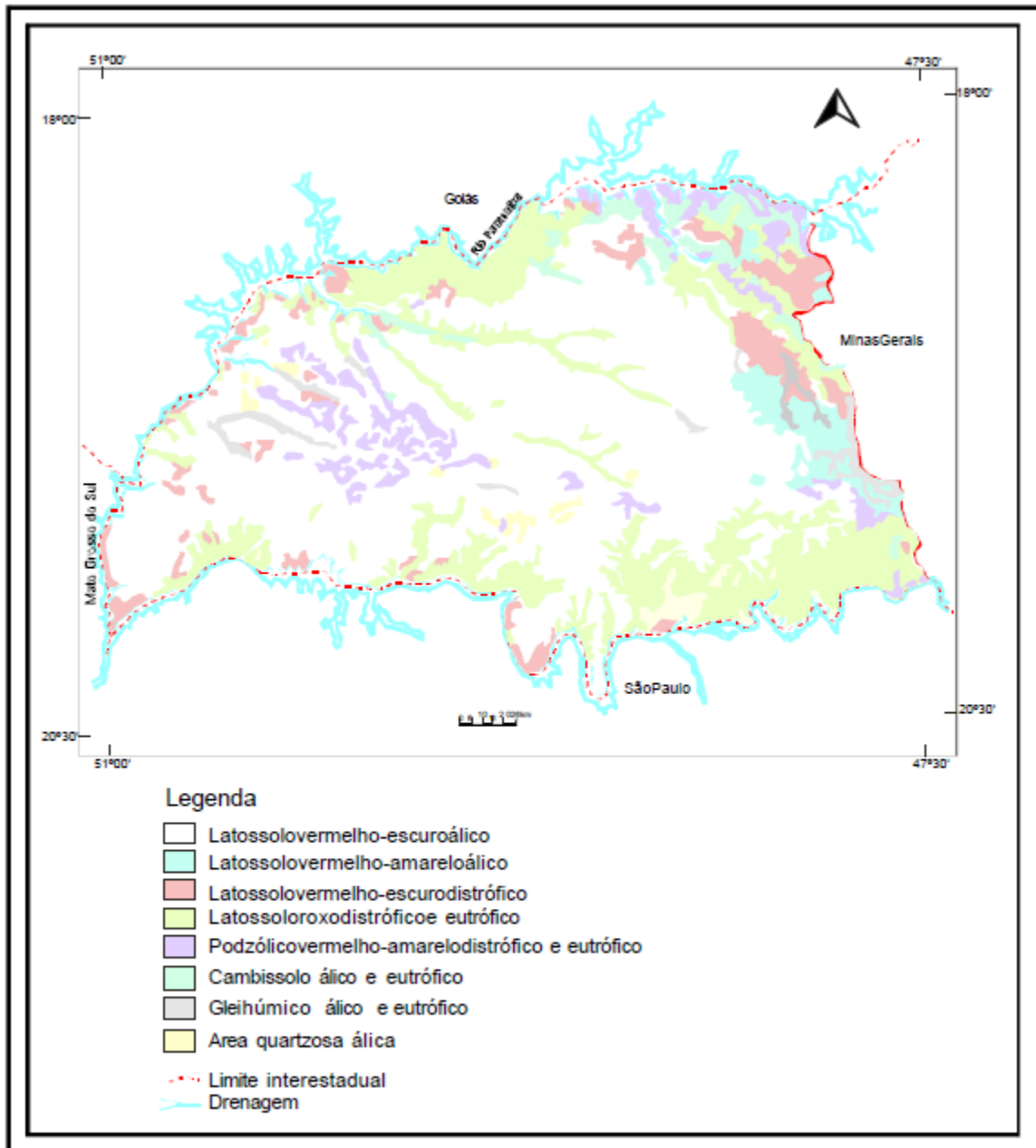
Na região do Triângulo Mineiro-MG, foram identificadas por Corsi (2003) oito categorias de solos: Latossolo vermelho escuro álico, Latossolo Vermelho Amarelo álico, Latossolo vermelho-escuro distrófico, Latossolo Roxo distrófico e eutrófico, Podzólico Vermelho Amarelo distrófico e eutrófico, Cambissolo álico e eutrófico, Gleí húmico álico e distrófico, e Areia quartzosa álica. Conforme Tabela 1.

**Tabela 1.** Áreas ocupadas pelos diferentes grupos de solos

<b>Categoria</b>	<b>KM<sup>2</sup></b>	<b>%</b>
Latossolo Vermelho – escuro álico	32.253	61,1
Latossolo Vermelho Amarelo álico	1.661	3,2
Latossolo Vermelho Escuro distrófico	3.189	6,0
Latossolo Vermelho distroférico	10.188	19,3
Argissolo Vermelho Amarelo distrófico e eutrófico	3.016	5,7
Cambissolo Álico e distrófico	1.278	2,4
Gleí Húmico Álico e distrófico	797,00	1,6
Areia Quartzosa álica	378,00	0,7
<b>Total</b>	<b>52.760</b>	<b>100,0</b>

Fonte: Adaptado de (SIQUEIRA; ROSA ,1998)

A distribuição dos solos na Região do Triângulo Mineiro, pode ser observada na Figura 2.



**Figura 2.** Área ocupada pelos diferentes grupos de solos na Região do Triângulo Mineiro -MG  
 Fonte: (SIQUEIRA; ROSA, 1998)

Na Bacia hidrográfica do Rio Uberaba, os solos foram descritos por (Candido 2008; Valle Júnior 2008; Cruz 2003; Abdala 2012 e Silva 2016), estes trabalhos descreveram os solos e suas relações com os aspectos de usos. As características apresentadas são variadas, a maioria apresenta textura média, variando de arenoso a argiloso e foram classificados, de forma geral, como Latossolos com diferentes graus de fertilidade, com predominância do Latossolo Vermelho distroférico, textura média, Latossolo Vermelho típico e Argissolo Vermelho Amarelo, conforme Tabela 4 abaixo.

Tabela 2 - Classes de solos na bacia do rio Uberaba

<b>Classificação Embrapa (1999)</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>(%)</b>	<b>Relevo</b>
Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd)	104,02	4,31	Plano e suave ondulado.
Latossolo Vermelho distrófico (LVdf)	1.521,86	62,91	Suave ondulado
Latossolo Vermelho distrófico típico (LVdt)	600,94	24,84	Suave ondulado
Argissolo Vermelho Amarelo (PVAd)	174,05	7,19	Ondulado e forte ondulado.
Gleissolos Melânicos Tb distrófico (GMd)	9,95	0,41	Plano
Neossolos Quartzarênicos hidromórficos (RQg)	8,22	0,34	Plano e ondulado
<b>Total</b>	<b>2.419,04</b>	<b>100,00</b>	

Fonte: Adaptado de Valle Júnior (2008).

Segundo Abdala (2012) existe uma grande diversidade de solos na bacia do rio Uberaba, os quais apresentam textura média, sendo classificados de uma forma geral como Latossolos de diferentes graus de fertilidade, predominando Latossolo Vermelho distroférico, textura média, Latossolo Vermelho típico e Argissolo Vermelho Amarelo.

A diversidade de solos e compartimentos do relevo encontrados na bacia do rio Uberaba, permitiram ao longo do tempo, uma acentuada mudança nas relações de uso dos solos, fatores esses somados ao uso de técnicas que permitiram a inserção de áreas com alguma restrição natural, ao contexto de produção. As modificações do uso dos solos, impulsionaram uma nova dinâmica, provocando fortes alterações nos usos tradicionais (pecuária) e o avanço da agricultura cada vez mais tecnificada.

Desta forma as paisagens foram retrabalhadas e traduzem a evolução das sociedades e da ocupação e exploração dos recursos do meio físico ao longo dos tempos, sob a influência e/ou oportunidades estabelecidas pelo ambiente natural e pelas sucessivas forças sociais, econômicas, culturais e de ordem interna ou externa.

A intensa supressão de tipos vegetais das diferentes fitofisionomias do Bioma Cerrado relaciona-se com a resolução do problema da não produtividade dos Latossolos para fins agrícolas, na década de sessenta do século XX. Este fato que

permitiu transformar grande parte do domínio do Cerrado, adaptado para a produção de grãos. A localização destes solos, quase sempre associados às áreas de baixas declividades com características de boa drenagem e profundos, permitiram a expansão da agricultura especializada em grãos pela facilidade que oferecem a mecanização. Devido a essas características, o Cerrado transformou-se nas últimas duas décadas na nova fronteira agrícola do País, a ponto ser hoje uma das maiores regiões produtoras de grãos do Brasil e, ser reconhecido como a última grande fronteira agrícola do mundo.

A medida que os meios técnicos científicos permitem o aniquilamento do espaço pelo tempo, as inovações tecnológicas vão ao mesmo tempo homogeneizar e fragmentar o espaço dependendo dos interesses de reprodução do capital. Com base no princípio da divisão, fundamento do desenvolvimento capitalista, as bases para uma nova divisão espacial do trabalho e da produção são estabelecidas.

Segundo Pessoa (1989) no início dos anos da década 70, com o objetivo de abastecer centros urbanos e de incentivar a exportação de produtos não tradicionais, o governo brasileiro colocou em ação programas que impulsionaram o desenvolvimento que se iniciava no Brasil Central, desencadeando uma política que visava o aumento da produção e da produtividade em atividades agropecuárias que se vinculava ao Programa de Corredores de Exportação.

Tendo em vista propiciar a ocupação das áreas de cerrado, o Governo Federal criou o Programa de Desenvolvimento dos cerrados-POLOCENTRO, através do Decreto n.º 75320, de 21/01/75, com área de atuação nos Estados de Goiás, Mato Grosso e Minas Gerais, onde se concentraram 80% dos Cerrados brasileiros. A ação do POLOCENTRO pautou-se na integração entre pesquisa, assistência técnica, crédito rural orientado e apoio à infraestrutura (armazenagem, estrada e eletrificação).

O Cerrado é o segundo maior bioma do país, ficando atrás somente do Bioma Amazônico. Mas devido a sua ocupação predatória este bioma corre o risco de se extinguir e ficar somente nas nossas lembranças, dadas as práticas de uso desorganizadas.

Em estudos realizados por Lima *et al.* (1998) no estado de Minas Gerais, foi constatou-se que em áreas do Estado, o Cerrado está sendo devastado em uma velocidade muito grande.

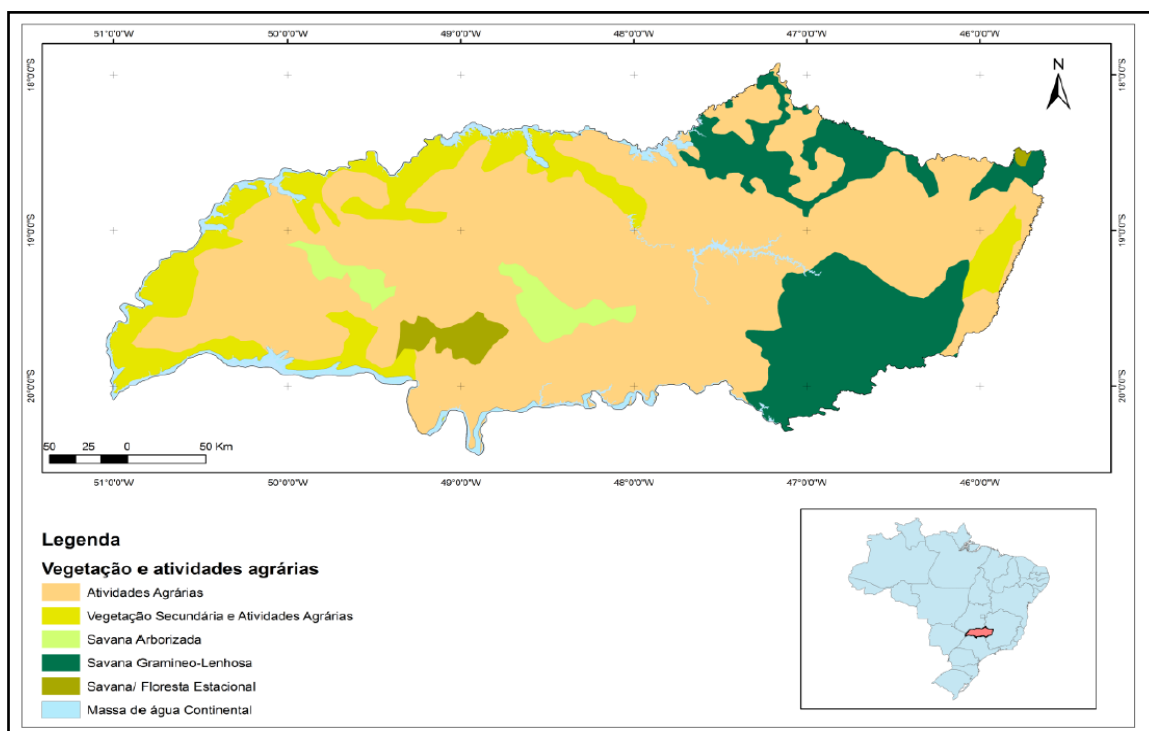
Os Cerrados formam uma unidade ecológica típica da zona tropical, caracterizado por vegetação de fisionomia e flora própria, fisionomicamente

relacionada a savanas. É importante ressaltar que este ecossistema ocupa 25% do território brasileiro.

A ocupação dos Cerrados gerou uma grande degradação e redução da sua área original. A agricultura moderna impactou não somente o campo, mas também a cidade através do êxodo rural.

O uso dos solos na região do Triângulo mineiro e Alto Paranaíba, Figura 6, foram descritos por Pedrosa e Souza (2014) os quais apontaram que a paisagem no Triângulo Mineiro foi amplamente alterada pelo conjunto de ações impostas pelo homem, na atualidade. Fica evidente neste estudo que é profundamente marcante e é indiscutível que, o “Cerrado”, tal e qual como era conhecido nos finais do século XIX e início do século XX desapareceu, no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba.

A paisagem de “cerrado”, historicamente construída, quer pela civilização indígena, quer pelos colonizadores, escravos e comunidades quilombolas, encerrava em si, transformações importantes, advindas de modos culturais distintos, mas mantinha um manejo equilibrado, fruto da interdependência que se gerou entre os seus habitantes e o bioma que os sustentava. Essa paisagem deixou de existir em função de várias outras totalmente remodeladas, seja pela tecnologia avançada, seja pelas novas normas impostas sobre o território por forças econômicas e políticas que o transformam abruptamente. (PEDROSA; SOUZA 2014) p.365.



**Figura 3.** Uso dos solos no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Fonte: Pedrosa e Souza (2014).



### 3.5.4 Clima

Os aspectos relacionados aos tipos climáticos impõem condições específicas, que atuam na estruturação das paisagens e no seu modelado, tipos predominantes de intemperismo, regime hídrico das águas superficiais e subsuperficiais, processos que atuam na formação dos solos e na sua evolução. Desta forma, conhecer as características do clima regional é de sua importância para pesquisas ambientais.

Segundo Soares (2008) o clima é outro fator importante na estruturação das paisagens. O clima da região em estudo é tropical semiúmido, com duas estações bem definidas: a seca no inverno e a chuvosa no verão; característica mais marcante que define o clima da região como tipicamente tropical. Feltran Filho (1997) analisou o clima do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba com base nos dados de temperatura e de precipitação de 15 anos, em diferentes localidades e altitudes. Com base nos seus relatos, as massas de ar que exercem maior influência na região são a Tropical e a Polar Atlântica.

Segundo Feltran Filho (1997) a massa de ar Tropical Atlântica domina a região no verão, quando ocorre a concentração das precipitações graças ao aquecimento continental, que causa instabilidade do tempo na região e que, ao mesmo tempo, inibe o avanço da massa polar. No inverno, o tempo fica estável, com céu limpo e intensa radiação solar, a umidade do ar nesta estação é baixa, os dias são quentes, as noites mais frias, além disso, ocorre o avanço e a penetração da massa Polar, provocando chuviscos ocasionais.

Feltran Filho (1997) apontou que as massas de ar interferem na distribuição das chuvas e caracterizam o caráter tropical do regime pluviométrico, com chuvas mais concentradas nos meses mais quentes, de setembro a março, e menos concentradas nos meses mais frios, de abril a agosto.

Nos estudos realizados por Silva (2016) o autor considerou a classificação, para o município de Veríssimo como inserida dentro do subtipo denominado de Quente, semiúmido com 4 a 5 meses secos, conforme proposta de Novaes (2011). Em uma análise proposta por Novaes (2011) o qual apresentou uma reclassificação climática para a Região do Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba e Entorno da Serra da Canastra. Esse trabalho foi desenvolvido com base em amplo uso dos bancos de dados da ANA (Agência Nacional de Águas), INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), análise de

imagens SRTM, análises estatísticas e várias interpolações. Além disso, o referido autor também baseou sua análise nas características das massas de ar que atuam sobre a região e em dados de temperatura, pluviosidade, umidade relativa, velocidade e direção dos ventos.

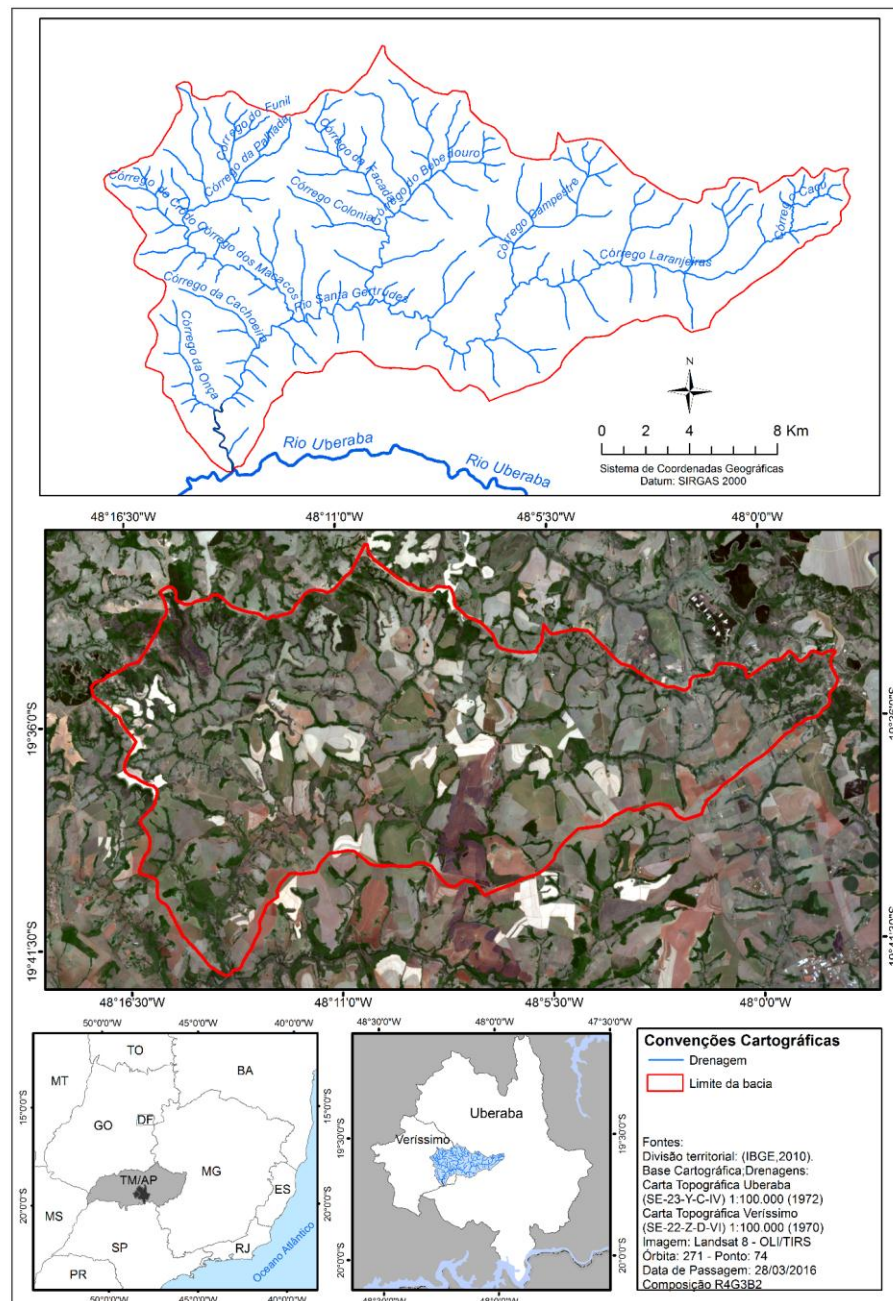
Silva (2016) considerou que o resultado da pesquisa propiciou uma série de interpretações que balizaram a produção de grande quantidade de cartogramas climáticos. Além disso, originou uma reclassificação dos tipos climáticos atuantes na região do Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba e Entorno da Serra da Canastra - a título de proposta - em que o autor os descreve da seguinte forma: Tropical Úmido, Tropical semiúmido, Tropical Ameno e Subtropical.

Em estudos realizados por Soares (2008) no alto curso do Rio Uberabinha, entre as cidades de Uberaba e Uberlândia, este avaliou que outro aspecto importante está relacionado à intensidade das chuvas, que foram registradas em meses que normalmente o volume de precipitação é menor. Os volumes mais intensos de chuvas ocorrem no início do período chuvoso, causam graves danos ao meio ambiente, pois é nessa época que os solos estão sendo preparados para o plantio. Com os solos expostos, as chuvas torrenciais desencadeiam e aceleram processos erosivos, com destaque para a intensificação da dinâmica erosiva.

Segundo Abdala (2012) a qual trabalhou com os dados gerados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) obtidos na estação climatológica de Uberaba, e seguindo a classificação climática segundo Köppen, o clima da região é do tipo Aw-Tropical quente úmido, com inverno frio e seco, sendo o domínio climático conceituado como semiúmido com 4 a 5 meses secos. A precipitação média anual varia entre 1300 e 1700 mm, em que o período chuvoso corresponde ao período mais quente do ano. Período este que se caracteriza por um regime chuvoso de outubro a março e a estação seca de abril a setembro, considerando os meses de dezembro e janeiro os mais chuvosos.

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

A sub-bacia do ribeirão Santa Gertrudes localizada nos Municípios de Uberaba e Veríssimo na Região do Triângulo Mineiro, no Estado de Minas Gerais, com as coordenadas geográficas delimitada entre os paralelos  $19^{\circ}33'33''$  S;  $19^{\circ}42'13''$  S e os meridianos  $47^{\circ}57'15''$  W;  $48^{\circ}17'36''$  W, conforme Figura 4. Sendo a mesma, tributária direta do rio Uberaba, e que vem apresentando, uma forte evolução de ocupação pela agricultura, sendo o uso do solo representado pelas grandes lavouras.



**Figura 4.** Mapa de localização da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Gertrudes-MG

## 4.1 Mapeamentos

### 4.1.1 Mapa geológico

As informações pertinentes aos aspectos litoestruturais foram obtidas inicialmente em caráter exploratório no mapeamento realizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM, na escala de 1:500.000. Para aumentar a escala, foram realizados trabalhos de campo na área de estudo para reconhecimentos das unidades geológicas e sua espacialização, com auxílio de geólogo e do uso das cartas topográficas e imagens de satélite.

- Mapa geológico elaborado pela Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais-CODEMIG e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM, escala 1:500.000;
- Trabalhos de campo com o uso de sistema de posicionamento global-GPS (Etrex 30x Garmin, com precisão de 1 m), para a obtenção de pontos de controles e afloramentos rochosos;
- Consulta a bibliografia de estudos regionais (Triângulo Mineiro);
- Uso de cartas topográficas de Uberaba Folha SE-23-Y-C-IV, Escala 1:100.000, IBGE, 1972 e Veríssimo Folha SE-22-Z-D-VI Escala 1:100.000, IBGE, 1972 ambas no formato digital;
- Uso de Imagens do satélite Landsat 8, órbita/cena 271/74 de 28/03/2016. Satélite-Landsat, escala 1:100.000;
- Imagens de radar (“Shuttle Radar Topography Mission”) - SRTM para obtenção de curvas de nível com equidistâncias variadas, sendo a cada 50 m, 30 m e 10 m;
- Uso de um Sistema de Informações Geográficas-SIG sendo o software o ArcGis® 10.1, para interpolar a base digital de informações existentes com a atualização das novas informações e gerar o mapa geológico na escala 1:100.000.

Crepani *et al.* (2008) em estudos realizados para a obtenção de dados geológicos para a produção de mapas temáticos, avaliou que as informações de pequenas escalas dos mapeamentos geológicos já existentes, as quais podem subsidiar a produção de mapas mais pontuais, sendo necessário a interpolação de informações com o uso de imagens de satélites e radar para a obtenção da rugosidade topográfica, visitas de campo para levantamentos dos limites das unidades geológicas,

e consulta a bibliografia de trabalhos realizados como os de: (Batezzelli 2003; Barison 2003; Corsi 2003; CPRM2003; Almeida 1986; Barcelos 1984 e Barbosa 1970).

Desta forma, os procedimentos adotados atenderam aos recursos disponíveis para os levantamentos da fase de copilação de informações e a geração de novas e atualizadas na escala desejada para a pesquisa, 1:100.000.

#### 4.1.2 Mapa do modelado do relevo

O mapa geomorfológico, foi elaborado seguindo os mesmos preceitos apontados por Crepani *et al.* (2008) com uma maior intensidade de trabalhos de campo.

Na geomorfologia da bacia, as unidades do modelado foram definidas e mapeadas a partir da análise das curvas de nível e da fotointerpretação de imagens de satélites. Para vetorização das curvas de nível foram utilizadas como base, as cartas topográficas de Uberaba e Veríssimo, ambas na escala de 1:100.000, submetidas a processamento básico de georreferenciamento e ajuste de *datum* horizontal. Dados de altitudes foram acrescentados na edição das curvas de nível. As imagens usadas foram do satélite Landsat 8, órbita/cena 271/74 de 28/03/2016. Ferramentas de ajuste de *datum*, “rescale” e “image classification” foram aplicadas nas imagens com a finalidade de realce das bandas espectrais, cuja finalidade foi o reconhecimento do modelado do relevo.

A base da morfologia do terreno foi obtida a partir das cartas topográficas e das imagens de Radar (SRTM), o que permitiu a geração do mapa de declividades, com classes previamente definidas conforme EMBRAPA (1979) Tabela 3.

**Tabela 3.** Classes de declividade adotadas

Declividades (%)	Relevo
0-3	Plano
3-8	Suave –Ondulado
8-20	Ondulado
20-45	Forte –Ondulado
45-75	Montanhoso
75	Forte Montanhoso

Fonte: EMBRAPA (1979).

As declividades da bacia do ribeirão Santa Gertrudes foram obtidas ainda em laboratório e essas informações sobre o terreno, subsidiaram os demais levantamentos em campo, dentre eles a classificação geomorfológica do modelado do relevo existentes na área, e essas formas foram classificadas conforme o Manual Técnico de Geomorfologia, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE (2009).

Após as observações das declividades e imagens de satélites, os trabalhos de campo foram fundamentais para a interpretação das feições morfológicas (unidades do modelado do relevo) visualizadas. Desta forma a interpretação do mapa geológico e sua associação as classes de declividades estabelecidas para a área, permitiu a confecção do mapa geomorfológico.

Posterior ao trabalho de gabinete para gerar as informações cartográficas básicas, as visitas de campo e a confecção do mapa geomorfológico foram retomados os trabalhos com o uso de um Sistema de Informação Geográfica-SIG, para a inserção do mapa no meio digital.

Essa proposta metodológica, conforme o manual de Técnico de Geomorfologia do IBGE (2009) foi utilizado até o seu quarto nível de avaliação, sendo que este nível aborda o modelado do relevo a partir de unidades de compartimentos da paisagem.

#### **4.1.3 Mapa de solos e mapa de perda de solos**

O mapa de solos foi obtido a partir dos levantamentos bibliográficos acerca das informações pedológicas existente em escala de 1: 500.00 elaborado em 2010, pelas Universidades Federais de Lavras e Viçosa, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais-CETEC e Fundação Estadual do Meio Ambiente-FEAM-MG. Alguns estudos mais pontuais como os realizados por: (Cruz 2003; Corsi 2003; Soares 2008; Valle Júnior 2008; Candido 2008; Abdala 2012 e Silva 2016), subsidiaram as observações mais pontuais dos grupos de solos existentes e sua atualização.

Os procedimentos adotados para a confecção do mapa de solos da área, seguiram os mesmos adotados para o mapa geológico e geomorfológico, sendo a fase de coleta de informações disponíveis em mapas digitais FEAM (2010) com a extração das informações básicas para o reconhecimento em campo e posterior trabalho de

gabinete com o uso de um SIG, para compatibilização das informações em escala desejada, sendo a mesma 1:100.000.

O levantamento das informações pertinentes a perda de solos na área de estudos, foi pautado em estudos realizados por Valle Júnior (2008) na bacia hidrográfica do Rio Uberaba, localizada na região do Triângulo Mineiro, no estado de Minas Gerais. Conforme este estudo mencionado, o referido autor, utilizou o modelo da equação universal de perda de solos (EUPS).

Os dados gerados pelo autor foram compilados a partir de seu banco de dados digitais, os quais foram reorganizados em classes de perdas de solos, de forma a atender as necessidades da presente pesquisa.

#### **4.1.4 Mapa potenciométrico**

Na elaboração do mapa potenciométrico simplificado foi utilizada as imagens de radar da missão SRTM (“Shuttle Radar Topography Mission”) obtidas da área da bacia hidrográfica de Santa Gertrudes. Posteriormente foram inseridas no banco de dados com ajuste de datum, submetidas a geração do mosaico “raster to new mosaic” e correção dos valores anômalos para os dados altimétricos inconsistentes “fill”. Uma máscara foi criada para recorte de todas as drenagens da área da bacia e entorno, seguido da conversão da drenagem em semiologia de ponto, conservando assim, os valores altimétricos de afloramento da água. De posse a malha de pontos georreferenciadas aplicou ao tratamento geoestatístico de “Krigagem” com o intuito de criar uma superfície teórica do freático livre.

O mapa potenciométrico simplificado final foi confeccionado com o auxílio do SIG ArcGis® 10.1 com o uso da ferramenta “map álgebra” para subtrair dos valores altimétricos de superfície real dos valores altimétricos da superfície teórica do freático livre. No novo plano de informação gerado, os valores obtidos em metros representam a profundidade relativa do freático livre em relação à superfície terrestre. Estudos de caso com uso de imagens SRTM na confecção de mapa potenciométrico tem sido avaliado positivamente em Baraúna, RN e na bacia do Rio do Peixe, PB (DEMÉTRIO *et al.*, 2006).

Seguindo a mesma proposta metodológica do mapa potenciométrico foram elaborados os mapas de classe textural. A base de dados para cada mapa teve como

referência a confecção de uma matriz com os dados de coordenadas geográficas e os resultados obtidos após a manipulação dos dados de granulometria em campo e laboratório.

#### 4.1.5 Mapas de potencialidade ambiental, susceptibilidade/vulnerabilidade de contaminação do freático e fragilidades ambientais

O mapa de potencialidades ambientais, susceptibilidade de contaminação do freático livre e o de fragilidades foram confeccionados a partir de uma análise de multicritério ponderada. Constitui uma importante ferramenta de SIG utilizada com o objetivo de avaliar o ambiente quando diferentes variáveis ou condicionantes contribuem na sua ocorrência/formação. Nesses casos, a ferramenta permitiu determinar o grau de importância ou relevância que uma determinada variante possui em relação a outras.

A ferramenta aplicada na elaboração desses mapas foi o “Analytic Hierarchy Process” (AHP) no ArcGis®10.1, cujos cruzamentos dos mapas temáticos estão sumarizados na Quadro 1. Ainda, a ferramenta possibilita atribuir pesos para cada classe, cujos critérios foram baseados por Crepani *et al.* (2008) e Ross (2000).

Mapa (análise multicritério)	Mapa fisiográfico/temático
Mapa de Potencialidade Ambiental	Mapa de Geomorfologia
	Mapa de Geologia
	Mapa de Solos
	Mapa de Perda de Solos
Mapa de Susceptibilidade Natural de Contaminação do Freático Livre	Mapa de Classe Textural
	Mapa de Infiltração
	Mapa potenciométrico
Mapa de Fragilidades	Mapa de Uso do Solo
	Mapa de Susceptibilidade Natural de Contaminação do Freático Livre
	Mapa de Potencialidade Ambiental

**Quadro 1.** Mapas temáticos e mapas de análise de multicritério ponderada.

De acordo com cada mapa temático foi possível definir o grau de influência relativa em porcentagem, atribuindo-se ainda, um peso para cada classe mapeada.



Os valores atribuídos variaram em uma escala de 1 a 4 e representam critérios qualitativos que também variam de baixo a elevado, conforme Quadro 2.

Peso	Critério
1	Baixo
2	Médio
3	Alto
4	Elevado

**Quadro 2.** Critérios qualitativos para definição de pesos.

Para a aplicação da ferramenta de análise multicritério foi necessária converter os mapas temáticos do tipo vetor em mapas temáticos do tipo “raster”. Todos os mapas foram submetidos ao processamento de reclassificação dos valores de “pixels”. O cruzamento dos mapas temáticos citados na Quadro 01 com o intuito de confeccionar o mapa de potencialidade ambiental recebeu os seguintes pesos de influência e grau de influência, conforme os Quadros 3, 4 e 5.

Mapas temáticos	% Influência	Classes	Peso
Geomorfologia	25	Dissecado Estrutural de topo convexo	2
		Dissecado Homogêneo de topo convexo	3
		Dissecado em Ravina	4
		Pediaplano Degradado Inumado	2
		Rampa de Colúvio	1
Geologia	25	Formação Marília	1
		Formação Uberaba	2
		Formação Serra Geral	3
Solos	25	Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (LVAd11)	1
		Latossolo Vermelho Amarelo (LVD1)	4
		Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVD11)	4
		Latossolo Vermelho Distroférico (LVDf2)	2
		Argissolo Vermelho-amarelo (PVAe17)	3
Perda vs. Tolerância	25	Sem perda	1
		0 – 15 ton/ha/ano	2
		15 – 50 ton/ha/ano	3
		> 50 ton/ha/ano	4

**Quadro 3.** Grau de influência e peso de classes para os mapas temáticos na elaboração do mapa de potencialidade ambiental.

Mapas temáticos	% Influência	Classes	Peso
Mapa de Classe Textural	33,33	< 58 Baixa	1
		58 – 62 Média	2
		62 – 66 Alta	3
		> 66 Muito Alta	4
Mapa de Velocidade de Infiltração	33,33	13,00 cm/h (cana) - alta	2
		10,87 cm/h (pastagem) – alta	1
		26,50 cm/h (florestais) - alta	4
Mapa potenciométrico	33,33	<5 m	4
		5-16 m	2
		16-29 m	1
		29-48 m	1
		>48 m	1

**Quadro 4.** Grau de influência e peso de classes para os mapas temáticos na elaboração do mapa de susceptibilidade natural de contaminação do freático livre.

Mapas temáticos	% Influência	Classes	Peso
Mapa de Susceptibilidade Natural de Contaminação do Freático Livre	30	Baixa susceptibilidade	1
		Média susceptibilidade	2
		Alta susceptibilidade	3
		Elevada susceptibilidade	4
Mapa de Potencialidade Ambiental	30	Baixa potencialidade	1
		Média potencialidade	2
		Alta potencialidade	3
		Elevada potencialidade	4
Mapa de Uso do Solo	40	Agricultura	3
		Pastagem	2
		Fragmentos Florestais	1

**Quadro 5.** Grau de influência e peso de classes para o mapa de fragilidades ambiental

## 4.2 Análise da paisagem

Na perspectiva do entendimento da fisiologia e morfologia da paisagem estudada o presente estudo foi pautado na linha teórico-metodológica proposta por Ab'Saber (1969) através da obra "Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário" que, em poucas palavras, contribuiu de forma decisiva para um novo encaminhamento das pesquisas geomorfológicas no Brasil, por permitir ao pesquisador trabalhar desde as macro escalas até os processos pontuais.

O primeiro nível de abordagem referiu-se ao entendimento da compartimentação da topografia regional, assim como da caracterização e descrição tão exata quanto possíveis, das formas de relevo de cada um dos compartimentos estudados.

O segundo nível de tratamento proposto foi baseado no estudo da Estrutura Superficial, onde através desses estudos "*obté*m-se ideias da cronogeomorfologia". (AB'SABER, 1969).

Já num terceiro nível buscou entender os processos morfoclimáticos e pedogênicos atuais em sua plena atuação, através da dinâmica climática e de observações mais demoradas e sob controle de equipamentos de precisão. "

Para a determinação das unidades de análises, foi aplicado o recurso das interpolações de mapas temáticos (geologia, geomorfologia, solos, vegetação, distribuição das precipitações, uso dos solos, cartas de declividades) como realizado por: (Campos 2005, 2004; Silva 2016, 2006 e Ross 1994, 1990).

Através do acompanhamento e da análise de algumas pesquisas já desenvolvidas na Região do Triângulo Mineiro que utilizaram a metodologia proposta por Ab'Saber (1969), como os trabalhos de: (Baccaro 2000,1990; Soares 2008, 2002; Campos 2005, 2004; Silva 2016, 2006) e outros pesquisadores que abordam a questão dos recursos hídricos associados ao uso dos solos como: (Meis *et al.* 1982; Keller e Pinter 1996 e Corsi 2003) foi possível verificar que os resultados atenderam a classificações quanto a morfologia do terreno.

Na elaboração das zonas homogêneas do modelado do relevo, seguiu-se o critério de máxima igualdade de cotas topográficas, geologia, pedologia e declividades.

### **4.2.1 Análise da estabilidade dos meios**

A análise dos aspectos das estabilidades dos meios, seguiu a proposta metodológica de Tricart (1977) a qual avaliou o nível de estabilidade em um balanço morfogenético entre a pedogênese e a morfogênese.

A morfogênese refere-se à origem e ao desenvolvimento das de relevo, as quais são resultantes de fatores externo e internos. Esse conjunto de forças modeladoras e criadoras dentro de seu antagonismo, produz as feições do modelado.

Mediante aos aspectos do morfogenético e seu balanço positivo (predomínio do componente paralelo ou escoamento superficial) ou negativo (predomínio do componente perpendicular ou infiltração), estabelece relações entre a morfodinâmica da área.

Segundo Florenzano (2008) a morfodinâmica refere-se aos processos atuais ativos, endógenos e exógenos que atuaram nas formas de relevo. Os aspectos pertinentes aos processos morfodinâmicos, foram registrados no mapa das unidades do modelado do relevo, a partir das observações das imagens de satélites, cartas topográficas, análise da morfometria, análise de laboratório (solos e seus atributos físicos), testes de infiltração e trabalhos de campo.

No que tange a avaliação dos recursos hídricos a pesquisa aplicou métodos de ensaios diretos em campos e complementos em laboratórios, com o intuito de compreender as taxas de infiltração, permeabilidade, porosidade, capacidade de campo e vulnerabilidade de contaminação.

## **4.3 Densidade de amostras de solos e análises granulométricas**

### **4.3.1 Densidade de amostras de solos**

A densidade de amostras seguiu a proposta elencada pela EMBRAPA (1995) e adaptada em estudos realizados por Kraemer (2007) na delimitação de unidades de mapeamento de solos, em levantamentos de reconhecimento de média intensidade e com objetivos de avaliação quantitativa e qualitativa aproximada dos solos visando elaboração de projetos de desenvolvimento agrícola. A confiabilidade do mapeamento das unidades foi de 80%. Segundo esse estudo as observações de campo podem ser a

intervalos médios e com a complementação de observações entre as relações estabelecidas entre solos e paisagem.

Para a área de estudo foram utilizadas as referências dos grupos de solos contidos no interior das unidades do modelado do relevo, desta maneira as relações ficaram da seguinte forma, conforme a Tabela 4.

**Tabela 4.** Coletas de amostras de solos por unidades do modelado do relevo

Unidade do Modelado do Relevo	Área (ha)	Área (km <sup>2</sup> )	Quantidade de Amostras
Dissecado em Ravina	1.001,05	10,01	4,00
Dissecado Estrutural - DEc	3.655,85	36,55	14,62
Dissecado Homogêneo - Dt	14.332,33	143,32	57,32
Pediaplano Degradado Inumado- Pgi	3.474,65	34,74	13,89
Rampa de Colúvio - ARC	9.848,69	98,48	39,39
Total	32.312,59	323,12	129,25

#### 4.3.2 Análise granulométrica do solo

Para a realização da análise de textura do solo, a partir das amostras coletadas em campo, utilizou-se o método da pipeta (EMBRAPA, 1979). Os materiais utilizados no procedimento foram: balança analítica, mesa agitadora, recipientes pequenos de vidro para mesa agitadora, reagente (solução de NaOH), provetas de 1000 ml, termômetro, peneiras n.º 272 e 0,053 mm, cronômetro, pipeta de 10 ml.

Os procedimentos para análise foram:

- Pesar 10 g de solo de cada amostra, lembrando que para tabulação de dados estáticos do resultado e mais exatidão desses dados, os testes foram feitos em triplicata, ou seja, para cada amostra de solo foram realizadas três análises.
- O solo pesado foi colocado, com o auxílio de um funil, nos recipientes pequenos de vidro;
- Adicionar reagente, 10 ml de NaOH 1N, e deixar em repouso por 15 minutos;
- Completar o recipiente com água destilada, adicionando água suficiente para atingir 2/3 da altura do copo de vidro;
- Tampar o recipiente e colocar na mesa agitadora, deixar a solução na mesa agitadora durante 16 horas;
- Após passado esse tempo, retirar da mesa agitadora e despejar o conteúdo de cada vidro em provetas de 1000 ml;

- Medir a temperatura e anotar o tempo correspondente para a decantação;
- Agitar cada uma das provetas por 1 minuto e esperar o tempo de decantação;
- Após decorrido esse tempo, para a obtenção do teor de argila, pipetar uma quantidade de 10 ml da solução em suspensão a uma profundidade de 5 cm de cada proveta e transferir para um béquer identificado, com a tara conhecida, e levar para secar em uma estufa por um período de 24 horas, depois pesar e anotar;
- Para a obtenção do teor de areia, passar o conteúdo da proveta para conjunto de duas peneiras, uma com o n.º 272 (para areia grossa), e outra de n.º 53 (para areia fina), transferir o conteúdo retido em cada peneira para cadinhos identificados e previamente pesados para identificação da tara. Levar para secar na estufa por um período de 24 horas, posteriormente pesar e anotar. O valor de areia grossa e areia fina são somados para a obtenção do valor de areia total;
- Com os resultados da areia total e da argila, o valor da porcentagem do silte é obtido pelo cálculo da diferença.
- Para cálculo dos dados e facilitação da análise dos dados, os mesmos foram lançados em planilhas do *Excel*®.

### 4.3.3 Testes de infiltração

Foram realizados 8 testes de infiltração na área de pesquisa. Os testes foram feitos em compartimentos distintos nas unidades elencadas do modelado do relevo (compartimentos). Para tais testes, foram utilizados cilindros, infiltrômetro de anéis duplos, com 40 cm de altura e 10 e 20 cm de diâmetro para os anéis interno e externo, respectivamente. O cilindro do infiltrômetro teve dimensões padronizadas, altura de 40 cm, diâmetros externos e internos de 50 cm e 25 cm, respectivamente, conforme Figura 5. O anel externo teve por finalidade reduzir o efeito da dispersão lateral da água infiltrada do anel interno. Assim, a água do anel interno infiltra no perfil do solo em direção predominante vertical, o que evita super estimativa da taxa de infiltração, e durante a realização dos testes dentro do cilindro interno foi mantida uma carga de água inicial de 30 cm de em relação à superfície do solo, o registro das leituras de valores infiltrados no cilindro interno foram tomadas a cada 5 minutos e durante 30 minutos gerando seis leituras de valores por teste. O cilindro interno e o externo foram abastecidos manualmente. Os testes foram realizados até que a taxa de infiltração, observada no anel interno, permanecesse aproximadamente constante com o tempo.



**Figura 5.** Infiltrômetro de anéis duplos.

A infiltração da água no solo, foi determinada “in situ” através do método do infiltrômetro de anel e empiricamente por meio de modelo Kostiokov (1932):

$$I = K \times T^m \quad (1)$$

em que:

I = infiltração acumulada [cm, mm];

k = constante dependente do solo [adimensional];

T = tempo de infiltração [horas, min]; e

m = constante dependente do solo [adimensional], variando de 0 a 1 em valor absoluto.

#### 4.3.4 Método analítico

Para o método da regressão linear só pode ser aplicado para equações lineares, inicialmente a equação de infiltração, que é uma equação exponencial, deverá ser transformada em uma equação linear. Para isso, basta aplicar as operações logarítmicas correspondentes à equação de infiltração. Assim,

$$\text{Log } I = \log K + m \log T \quad (2)$$

Dessa forma, verifica-se que essa apresentação da equação de infiltração nada mais é que uma equação da reta do tipo:

$$Y = A + B X, \quad (3)$$

em que:

$$Y = \log I$$

$$A = \log k$$

$$B = m$$

$$X = \log T$$



No método da regressão linear, os valores de A e B são determinados pelas seguintes expressões:

$$A = \frac{\sum X \times \sum XY - \sum X^2 \times \sum Y}{(\sum X)^2 - N \times \sum X^2} \quad (4)$$

$$B = \frac{\sum X \cdot Y - \frac{\sum X \cdot \sum Y}{N}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}} \quad (5)$$

em que **N** é o número de pares de dados I e T.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Geologia

A geologia da área de estudo apresentou relação direta com os eventos que ocorreram na região Triângulo Mineiro, estado de Minas Gerais, onde uma sucessão de processos de sedimentação/deposição, conforme a dinâmica climática e as forças internas do planeta.

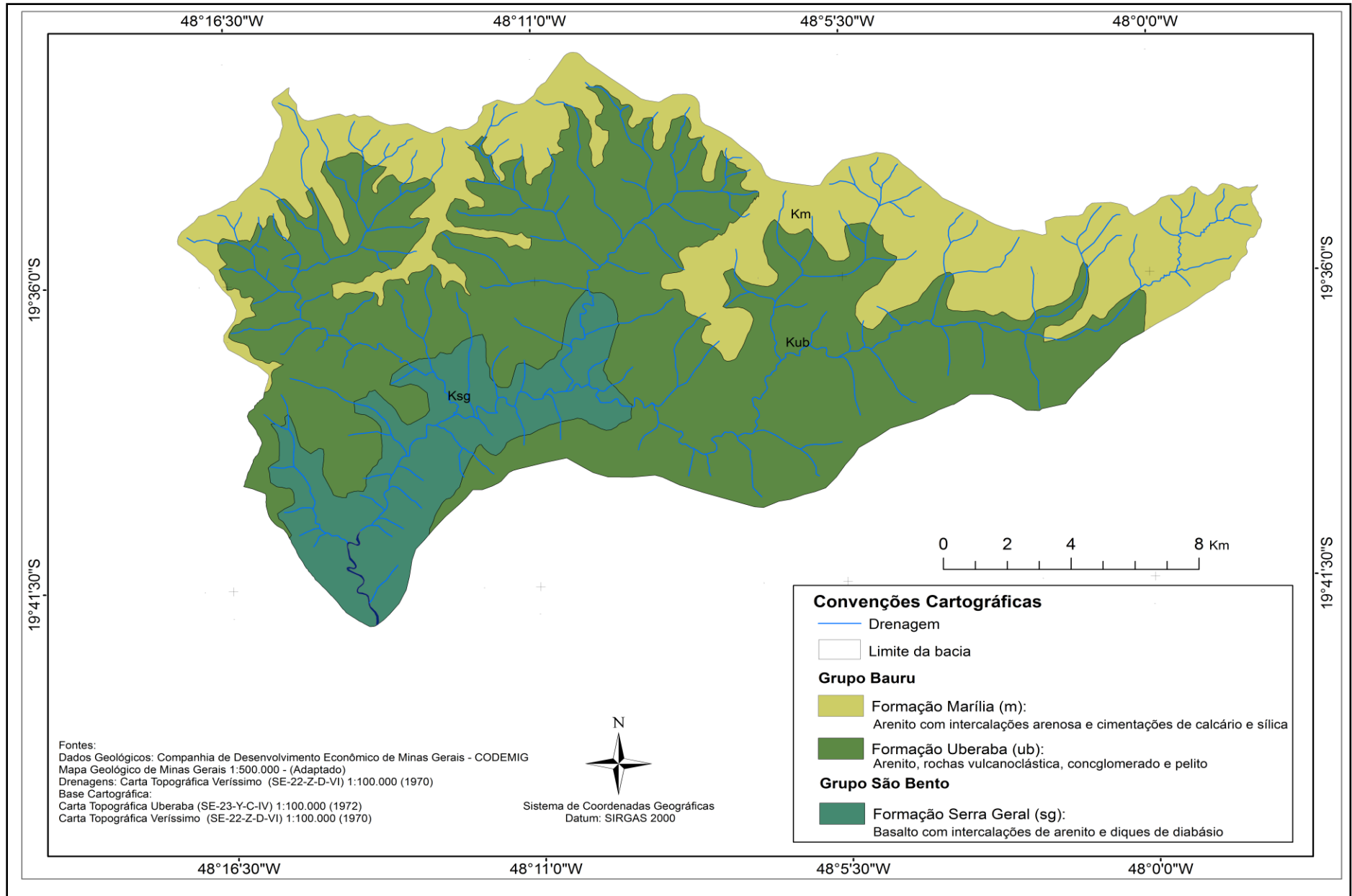
As litologias conforme observadas na Figura 6, apresentam relações diretas com a topografia e seus sobressaltos.

Nas porções mais elevadas da bacia, nas cotas topográficas entre (700 a 900 m) encontram-se as rochas do Grupo Bauru, representadas pela Formação Marília (800 a 900 m) e as rochas da Formação Uberaba (700 a 800 m).

Fernandes (2004) fez apontamentos que a Bacia Bauru se formou-se no início do Neocretáceo, após a ruptura do continente gondwânico, no centro-sul da Plataforma Sulamericana. Constitui uma bacia do tipo interior, desenvolvida por compensação isostática, decorrente do acúmulo de quase 2.000 m de lavas basálticas, ocorrido no Eocretáceo (magmatismo Serra Geral).

A bacia acumulou uma sequência sedimentar predominantemente arenosa, em clima semiárido a árido, que hoje tem espessura máxima preservada de cerca de 300 m e área de 370.000 km<sup>2</sup>. A sequência suprabasáltica neocretácea (SSN) tem como substrato rochas vulcânicas, principalmente basaltos, da Formação Serra Geral (Grupo São Bento), da qual é separada por não-conformidade. O limite superior da sequência é erosivo, demarcado pela Superfície Sul-Americana ou sua posterior dissecação.

Em estudos realizados por Batezelli (2003) acerca da sedimentação cretácea na Bacia Bauru na Região do Triângulo Mineiro, Estado de Minas Gerais, o pesquisador faz uma análise detalhada das formações acima mencionadas, e aponta a importância de estudos mais verticalizados, desta forma a precisão na determinação da gênese de uma rocha sedimentar depende da identificação dos processos geradores que atuaram no sítio deposicional. Essa identificação parte de uma descrição detalhada de todas as características texturais (composição, granulometria, esfericidade dos grãos, seleção, etc.) e das estruturas sedimentares presentes na rocha, em escala micro, meso e macroscópica.



**Figura 6.** Mapa da geologia da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.

Reconhecer as feições acima citadas requer um trabalho apurado de observação no campo, através da descrição de afloramentos, documentação fotográfica, coleta de amostras, medida de indicadores de paleocorrente, etc.

O conjunto de feições presentes em uma camada define uma fácies sedimentar. Uma vez identificada cada uma das feições isoladamente, é necessário que se associe a elas o processo responsável pela sua formação. Exemplo: um arenito com granulometria areia média, com estratificações cruzadas é indicativo de um sedimento transportado por corrente (água ou vento) unidirecional.

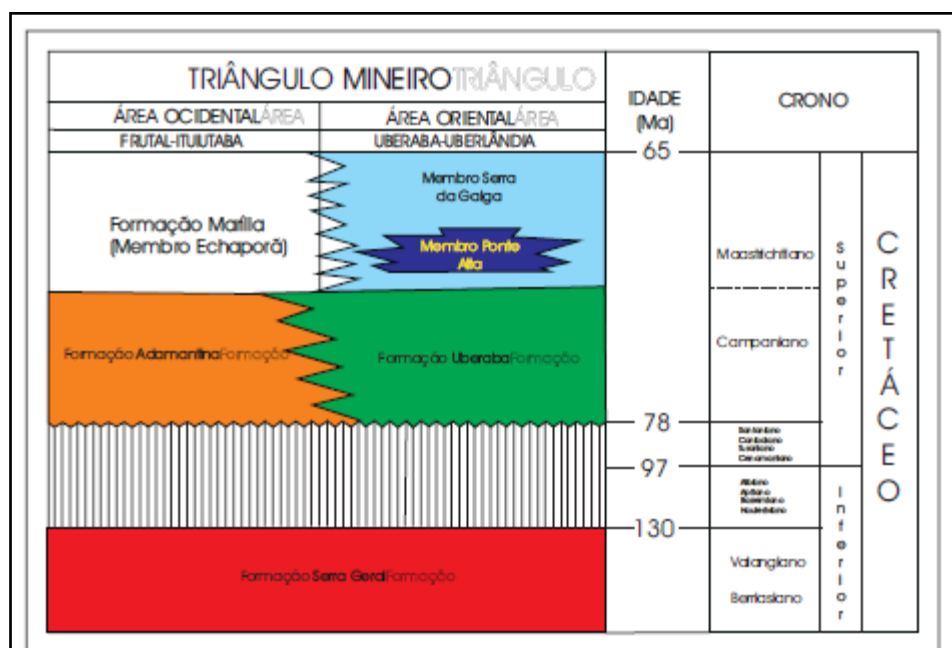
Um conjunto de fácies sedimentares associadas vertical e lateralmente, indica os vários processos que atuaram no sítio deposicional. A exemplo: um conglomerado com granodecrescência ascendente passando para arenito médio, com estratificações cruzadas acanaladas, que por sua vez, grada para um argilito com marcas de raiz no topo, indica que os processos deposicionais diminuíram de energia da base para o topo. Correntes aquosas unidirecionais de alta energia foram substituídas por processos de decantação, com eventual exposição subaérea dos sedimentos possibilitando desenvolvimento de vegetação.

A partir da identificação do conjunto de processos, buscou-se identificar os possíveis ambientes deposicionais.

Definidos os ambientes deposicionais, bem como sua distribuição lateral, esses foram correlacionados, permitindo uma visualização tridimensional, configurando assim um sistema deposicional.

O Grupo Bauru na área da bacia em estudo, é representado pelas Formações Marília e Formação Uberaba, sendo essas formações, constituídas de forma marcante, por arenitos com diferentes cimentações, já o Grupo São Bento é representado Pelos Basaltos da Formação Serra Geral.

A Figura 7 apresenta o perfil esquemático a organização das litologias mencionadas na região do Triângulo Mineiro-MG, que neste caso, contempla a área da bacia em estudo.



**Figura 7.** Coluna cronoestratigráfica do Grupo Bauru no Triângulo Mineiro-MG  
Fonte: Batezelli (2003).

### 5.1.1 Formação Marília

Conforme mencionado anteriormente, as rochas constituintes da Formação Marília, foram encontradas em cotas altimétricas entre 800 e 900 m na bacia do Ribeirão Santa Gertrudes, essas rochas apresentaram as seguintes características, conforme proposto por Almeida (1952) que utilizou a designação Formação Marília para os sedimentos clásticos grossos da parte superior do Grupo Bauru, caracterizados pela presença de nódulos e de cimentação carbonática. Essa unidade é composta por arenitos grossos a conglomeráticos, conglomerados, com grãos angulosos e teor de matriz variável. Os arenitos ocorrem na forma de estratos, com espessura média entre 1 e 2 metros, maciços ou em acamamento incipiente, subparalelo e descontínuo.

Os estudos realizados por Batezelli (2003) a Formação Marília, apresentou variações em essa fácies que distinguem a granulometria da rocha. Os conglomerados sustentados por clastos com estratificação cruzada acanalada ocorrem em camadas e lentes com até 80 cm de espessura, intercalados com fácies arenosas. Em alguns pontos atingem espessuras da ordem de 40 metros. Possuem pouca matriz, no

máximo 30% do volume total da rocha. Os clastos, na maioria das vezes, encontram-se imbricados segundo a inclinação dos “foresets” das estratificações cruzadas, que podem atingir até 3 metros de comprimento por 70 cm de altura (médio porte).

Os conglomerados sustentados por matriz, com estratificação cruzada acanalada são os mais frequentes na Formação Marília. Os clastos atingem no máximo 5 cm de eixo maior e são, predominantemente, de quartzo e quartzito, com alguns fragmentos de basalto subordinados. Normalmente estão associados às fácies arenosas. Sua matriz é constituída por arenitos finos a médios, mal selecionados, clastos angulosos a subarredondados compostos por quartzo, fragmentos de quartzito ou basalto, feldspato, cimentada ou não por CaCO<sub>3</sub> micrítico. Em alguns pontos esses conglomerados estão subordinados a pequenos níveis entre lentes métricas de arenitos na base de feições acanaladas.

As estruturas em fácies maciças podem chegar em alguns trechos a 30 m de espessura, gerando rupturas de 90° conforme a Figura 8, criando grandes paredões rochosos, sendo que estes, marcam o limite entre unidade geomorfológicas, com nítida visualização na porção norte da bacia.



**Figura 8.** Ruptura da estrutura nos limites entre a formação Marília e a Formação Uberaba, formando uma escarpa.

Essas estruturas, recobrem as porções mais elevadas da bacia do Ribeirão Santa Gertrudes, conferindo as formações superficiais um caráter mais grosseiro a sua granulometria, porém garantindo uma maior resistência a paisagem aos processos de denudação.

Os processos de intemperismo que ocorrem nestas estruturas, levam a formação de longos depósitos de talús com pedimentos mais grosseiros em sua base, já no contato com a Formação Uberaba, gerando um capeamento.

### **5.1.2 Formação Uberaba**

A Formação Uberaba é constituída por arenitos e subordinadamente, por lamitos, siltitos e conglomerados. Os arenitos apresentaram-se na forma de corpos lenticulares, com espessuras que variam de 20 cm a 1,5 m, podendo estar intercalados por níveis centimétricos de silito/lamito. Em alguns pontos, essas barras arenosas encontram-se amalgamadas. As estruturas sedimentares presentes são basicamente estratificações cruzadas acanaladas e tabulares de pequeno a médio porte, estratificação plano-paralela, feições acanaladas e algumas estruturas deformacionais e de injeção de argila, na forma de estruturas em chama e dobras convolutas.

Em termos texturais, os arenitos dessa formação apresentam seleção moderada, sendo freqüentes intraclastos de argila e de rocha basáltica com tamanhos submilimétricos a centimétricos. É comum também a presença de nódulos carbonáticos ou de níveis cimentados por carbonato de cálcio.

Os resultados da análise petrográfica realizados por Batezelli (2003) mostraram que as rochas da Formação Uberaba são classificadas como litoarenitos a litoarenitos feldspáticos e sublitoarenitos. A composição mineralógica básica é formada por quartzo (40%), feldspato (15%) e fragmentos de basalto (40%). Minerais acessórios como calcita, olivina, piroxênio, titanita, apatita, biotita, granada e opacos, perfazem um total de 5%.

Como na Formação Marília, a Formação Uberaba, também apresenta fácies, sendo essa fácies constituída por arenitos finos a médios, ora grossos, mal selecionados, constituídos basicamente por quartzo, feldspato e fragmentos de basalto. Quando conglomerático, os clastos são de quartzo, basalto e argilito, arredondados, podendo atingir até 5 centímetros de eixo maior.

Com relação ao tamanho, as estratificações cruzadas tabulares são geralmente de pequeno porte 50cm de comprimento por 40 cm de altura. Em alguns pontos podem atingir até 3 metros de comprimento por 70 cm de altura. Essa fácies está associada às

fácies arenito com estratificação cruzada acanalada, arenito com estratificação horizontal e conglomerado estratificado.

O ambiente de deposição destas rochas, foi em canais entrelaçados com forte alternância de fluxos e capacidades de transporte, o que pode explicar a variação de granulometria da fácies bem como as sequências de deposição.

A Formação Uberaba apresentou uma deposição típica de ambientes de leque aluvial de correntes torrenciais, o que colabora com a interpretação da sua granulometria que varia de areias a cascalhos mal selecionados.

Essa formação, está presente entre as cotas altimétricas de 700 e 800 m e está assentado sobre os basaltos da Formação Serra Geral, na porção central da área de estudo, gerando formas de relevo onduladas no topo.

### **5.1.3 Grupo São Bento Formação Serra Geral**

Os aspectos litoestruturais condicionam de formas interdependentes os elementos que estruturam as paisagens.

Segundo Sgarbi e Dardenne (1998) as manifestações magmáticas de caráter básico que afetaram amplas porções áreas de terras então emersas no Mesozóico, iniciando-se quando areias com espessuras locais de 120 metros já haviam sido depositadas. A Província Vulcânica do Paraná é representada pela Formação Serra Geral do Grupo São Bento, constitui uma única província magmática formada durante os estágios iniciais da abertura do Atlântico Sul, no Cretáceo Inferior. Ela constitui uma das maiores províncias magmáticas do planeta, sendo formadas por basaltos toleíticos e basaltos andesíticos, com significantes quantidades de riolitos e riodacitos também presentes.

A província cobre atualmente, na América do Sul, uma área de  $1,2 \times 10^6 \text{ Km}^2$  do Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai e provavelmente cobriu originalmente uma área de cerca de  $2,0 \times 10^6 \text{ Km}^2$ .

As áreas de máxima espessura basáltica ocorrem uma ao norte, no Estado de São Paulo (1800 m de espessura de basalto) e outra ao sul, na área do rio Uruguai, exibindo espessura de 1200 m de basalto. A espessura média é estimada em 650 m, com um volume total de  $1,3 \times 10^6 \text{ Km}^3$ . Os derrames basálticos, que sucederam aos basaltos Serra Geral, espalharam-se por uma superfície muito irregular, entulhando



depressões interdunas e os vales naturais escavados nos arenitos sotopostos. As idades mais recentes das lavas Serra Geral mostram valores para o vulcanismo situado entre 135-130 milhões de anos.

Brechas monomícticas basálticas mostrando matriz arenosa eólica ocorrem intercaladas a níveis de derrames na mesma região, formando “trapps”.

Segundo Almeida (1980) o tectonismo originado durante essa época, foi o responsável pela reativação de falhas pré-Cambrianas que apresentam compartimentações nas direções preferenciais NE, gerando soerguimentos e deformações locais para dar origem a “grabens” e “horts”.

Ferreira (1982) descreveu que esses alinhamentos que ocorrem na área são feições profundas e constituem-se nas principais fontes de lavas básicas da região centro-oriental da Bacia do Paraná, além de condicionarem rochas alcalinas.

Posterior a deposição dos basaltos, foram depositadas a partir de fluxos de detritos de leques aluviais e depósitos coluvionares, formando escarpas de falhas desenvolvidas nos níveis superiores do próprio basalto.

Os afloramentos basálticos estão presentes em pontos do baixo curso da bacia, sendo essas estruturas rochosas, na maior parte dos trechos, capeadas por sedimentos oriundos das porções mais elevadas.

Batezelli (2003) apontou que a constante atividade tectônica do Soerguimento do Alto Paranaíba (a leste e nordeste) forneceu um grande aporte terrígeno para a Bacia Bauru, gerando o avanço progressivo dos depósitos aluviais sobre os depósitos lacustres. Períodos de não-deposição, com retrabalhamento eólico dos sedimentos, geração de paleossolos, gretas de dissecação e formação de calcretes pedogenéticos, ocorriam em épocas mais quentes e secas.

O caráter cíclico da sedimentação dado por pulsos, ora mais intensos ora menos intensos das bordas norte e nordeste da Bacia Bauru, ficou marcado por várias superfícies erosivas e pelo empilhamento granocrescente ascendente dos depósitos do Grupo Bauru.

Com o avanço constante do sistema aluvial em direção ao nível de base, a bacia foi sendo progressivamente colmatada, até cessarem os processos sedimentares no final do Maastrichtiano.

Após algum tempo de soterramento e da atuação dos processos diagenéticos, os depósitos do Grupo Bauru no Triângulo Mineiro (MG) sofreram muitas modificações impostas por uma forte reestruturação tectônica da bacia durante o Terciário,

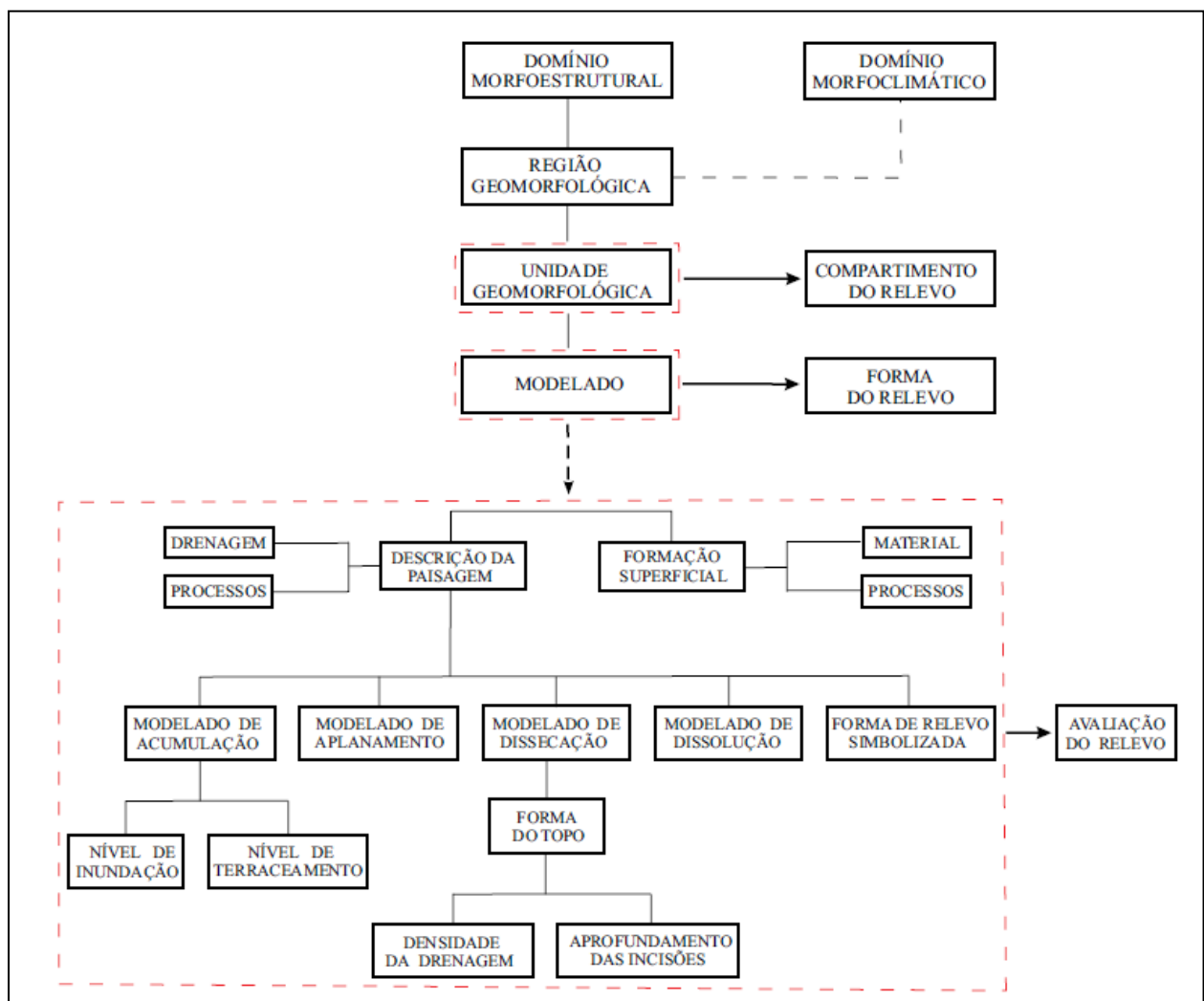
principalmente relacionada à reativação da Sutura de Itumbiara e lineamento do Rio Grande.

Essa reativação foi responsável por uma intensa compartimentação na borda nordeste da Bacia Bauru, segmentando-a em várias depressões nas quais se encontram preservados as suas unidades com espessuras e empilhamentos litoestratigráficos distintos (Depressões de Uberaba, Gurinhatã, Comendador Gomes, União de Minas). Nas regiões tropicais a ação do clima, impõem situações muito específicas ao intemperismo e sua velocidade, nos processos modeladores.

A geologia da bacia do Ribeirão Santa Gertrudes, apresenta litologias relativas ao Grupo São Bento, Formação Serra Geral, sendo as rochas representadas pelos basaltos, nas porções do baixo curso do canal principal, em cotas altimétricas entre 600 e 700 m.

## 5.2 Geomorfologia

O modelado das formas (compartimentos) na bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Gertrudes, apresenta feições correlatas a litoestrutura (morfoestrutura), a qual em função do tipo de intemperismo atual e sob as condições climáticas do presente, permitiram a individualização de 5 unidades do modelado geomorfológico. Sendo que estas, foram identificadas conforme mencionado na metodologia de confecção dos mapas e com o apoio do manual técnico do IBGE (2009), conforme o modelo descrito abaixo, na Figura 9.



**Figura 9.** Estrutura do mapeamento geomorfológico. Fonte: IBGE (2009).

Conforme o mencionado manual técnico de mapeamento geomorfológico, os conceitos utilizados na proposta, têm como princípio básico o ordenamento dos fatos geomorfológicos de acordo com uma classificação temporal e espacial, na qual se

distinguem os modelados como unidade básica e seus grupamentos hierarquicamente relacionados.

Para a individualização destes conjuntos de feições, são considerados como parâmetros fatores causais, de natureza estrutural, litológica, pedológica, climática e morfodinâmica, responsáveis pela evolução das formas do relevo e pela composição da paisagem no decorrer do tempo geológico. De acordo com a ordem decrescente de grandeza são identificados: Domínios Morfoestruturais, Regiões Geomorfológicas, Unidades Geomorfológicas, Modelados e Formas de Relevo Simbolizadas. (Manual Técnico de Geomorfologia, IBGE, 2009, p.25)

Os Domínios Morfoestruturais e Morfoclimáticos, compreendem os maiores níveis na compartimentação do relevo. Ocorrem em escala regional e organizam os fatos geomorfológicos segundo o arcabouço geológico marcado pela natureza das rochas e pela tectônica que atua sobre elas. Esses fatores, sob os efeitos climáticos variáveis ao longo do tempo geológico, geraram amplos conjuntos de relevos com características próprias, cujas feições embora diversas, guardam, entre si, as relações comuns com a estrutura geológica a partir da qual se formaram.

As Regiões geomorfológicas constituem o segundo nível hierárquico da classificação do relevo. Elas representam compartimentos inseridos nos conjuntos litomorfoestruturais que, sob a ação dos fatores climáticos pretéritos e atuais, lhes conferem características genéticas comuns, agrupando feições semelhantes, associadas às formações superficiais e às fitofisionomias.

As Unidades Geomorfológicas compõem o terceiro nível, e são definidas como um arranjo de formas altimétricas e fisionomicamente semelhantes em seus diversos tipos de modelados. A geomorfogênese e a similitude de formas podem ser explicadas por fatores paleoclimáticos e por condicionantes litológica e estrutural. Cada unidade geomorfológica evidencia seus processos originários, formações superficiais e tipos de modelados diferenciados dos demais. O comportamento da drenagem, seus padrões e anomalias são tomados como referencial à medida que revelam as relações entre os ambientes climáticos atuais ou passados e as condicionantes litológicas ou tectônicas.

A quarta ordem de grandeza constitui a dos Modelados. Um polígono de modelado abrange um padrão de formas de relevo que apresentam definição geométrica similar em função de uma gênese comum e dos processos morfogenéticos atuantes, resultando na recorrência dos materiais correlativos superficiais. Segundo a

metodologia definida no manual são identificados quatro tipos de Modelados: acumulação, aplanamento, dissolução e dissecação.

Os Modelados de acumulação foram diferenciados, em função de sua gênese, em fluviais, lacustres, marinhos, lagunares, eólicos e de gênese mistas, resultantes da conjugação ou atuação simultânea de processos diversos.

Os Modelados de aplanamento foram identificados pela definição de sua gênese e funcionalidade, combinadas ao seu estado atual de conservação ou degradação imposto por episódios erosivos posteriores à sua elaboração.

Os Modelados de dissolução, elaborados em rochas carbonáticas, podem ser classificados de acordo com sua evolução, identificados de acordo com o seu aspecto em superfície ou em subsuperfície.

Os Modelados de dissecação são os que ocorrem de forma mais generalizada na paisagem brasileira, sendo caracterizados como dissecados homogêneos, dissecados estruturais e dissecados em ravinhas. Os dois primeiros são definidos pela forma dos topos e pelo aprofundamento e densidade da drenagem.

As feições de topo do relevo são classificadas em: convexas (c), tabulares (t) e aguçadas (a). No estudo dos relevos dissecados constatou-se que, além das formas dos topos, dados morfométricos da densidade e do aprofundamento da drenagem, outro elemento essencial é a declividade, largamente utilizada na identificação e caracterização das unidades geomorfológicas.

Os modelados do relevo foram elencados para a área de estudo, foram gerados a partir dos mapas geológicos, declividades e compartimentação topográfica, sendo este nível de abordagem, analisado pela proposta metodológica apresentada por Ab Saber (1969), em seu 1º nível de abordagem, o qual propôs o entendimento da compartimentação da topografia regional, assim como da caracterização e descrição tão exatas quanto possíveis, das formas de relevo de cada um dos compartimentos estudados. A flexibilização desta proposta de análise, permitiu a individualização de unidade a partir das cotas topográficas e suas interações com os aspectos da litoestrutura.

Assim, são apresentados os seguintes modelados do relevo, para a área de estudo, no Quadro 6:

1º Nível Domínio Morfoestrutural/ Morfoclimático	2º Nível Região Geomorfológica	3ª Nível Unidade Geomorfológica	4ª Nível Modelado	
			Tipo	Unidade Mapeada
Bacia Sedimentar do Paraná/ Faixa de Transição	Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná - RADAM (1983)	Planalto do Rio Grande - Baccaro <i>et al</i> (2001)	Aplanamento	Pediaplano Degradado Inumado- Pgi
			Acumulação	Rampa de Colúvio – Arc
			Dissecação	Dissecado Homogêneo-com Topo Tabular – Dt21
				Dissecado Estrutural – Dec22
	Dissecado em Ravina – DR			

**Quadro 6.** Estrutura da individualização para a estruturação dos níveis de análise de categorias de níveis geomorfológicos da bacia Hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.

Na proposta desta pesquisa, foram adotados os quatro níveis de abordagem, conforme mencionado na metodologia.

Para a avaliação da estabilidade das unidades elencadas para o modelado do relevo, a proposta de análise foi pautada nos estudos propostos por Tricart (1977) na sua teoria ecodinâmica de análise dos meios.

Essa proposta de metodologia complementar permite uma melhor avaliação da dinâmica da unidade mapeada, de forma a possibilitar a compreensão da fisiologia da paisagem, bem como orientar na elaboração de projetos para zoneamentos e ordenamentos territoriais.

Silva (2016) apontou que apenas a descrição fisiográfica de uma dada área, não gera elementos suficientes para a elaboração de projetos que visam a exploração direta de recursos ecológicos, de tal sorte, que, as interações são de suma importância.

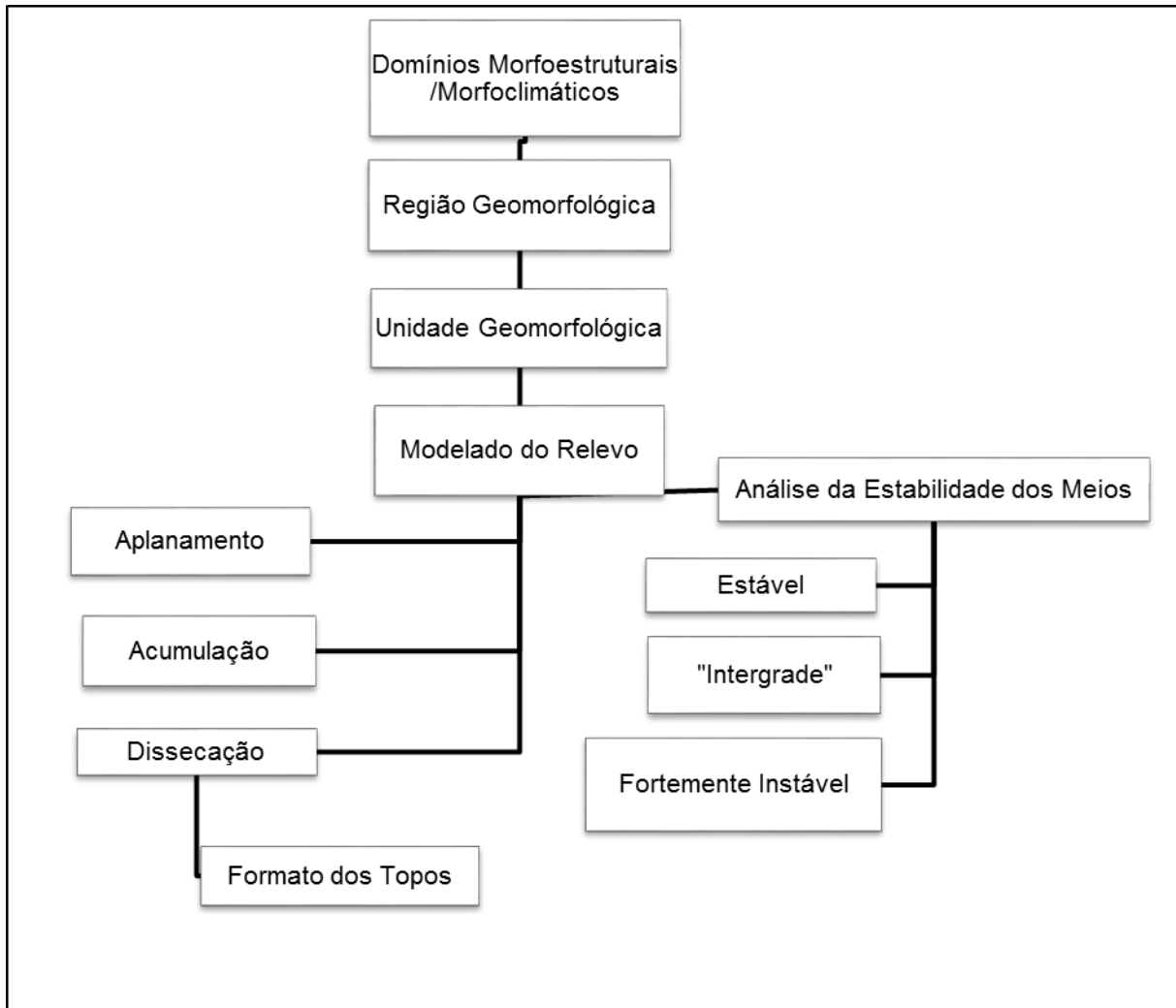
Em estudos realizados pelo autor *op. cit.*, no município de Veríssimo, no Estado de Minas Gerais, os quais versam acerca da análise dos meios para a elaboração de unidades geodinâmicas e de fragilidades ambientais, utilizando a proposta metodológica de análises de estabilidade dos meios, proposta por Tricart (1977). Esse último autor citou classificou os “meios ambientes” em três categorias: os meios estáveis, os meios “intergrades” e os meios fortemente instáveis.

A proposta de análise destes meios e suas respectivas características para a avaliação das estabilidades é descrita no Quadro 7.

<b>Classificação Ecodinâmica dos Meios</b>	<b>Características Básicas</b>
<b>Os Meios Estáveis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O modelado evolui lentamente; dificilmente perceptível;</li> <li>- Processos mecânicos atuam pouco e de modo lento;</li> <li>- O sistema morfogenético não comporta paroxismos violentos que resultem em catástrofes;</li> <li>- Dissecação moderada, sem incisão violenta dos rios, sem sapeamentos vigorosos dos rios, e vertentes de lenta evolução;</li> <li>- Cobertura vegetal suficientemente fechada para opor um freio eficaz ao desencadeamento dos processos mecânicos da morfogênese;</li> <li>- Ausência de manifestações vulcânicas suscetíveis de desencadear paroxismos morfodinâmico de aspectos mais ou menos catastróficos;</li> <li>- Regiões em estado de Fitoestasia.</li> </ul>
<b>Os Meios “intergrades” (Transição)</b>	<p>Morfogênese e pedogênese atuantes de maneira concorrente no meio;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- A cobertura vegetal no balanço pedogênese/morfogênese assume grande importância;</li> <li>- Esses meios são delicados e suscetíveis a fenômenos de amplificação, podendo se transformar em meios instáveis;</li> <li>- A preocupação principal deve ser a de facilitar a manutenção da vegetação;</li> <li>- É um ambiente que requer cuidados. Remete a implantação de ações estabilizantes (obras) para conter o avanço da instabilidade das vertentes.</li> </ul>
<b>Os Meios Fortemente Instáveis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A dinâmica natural sofre forte influência da geodinâmica interna, particularmente, o vulcanismo;</li> <li>- Alta presença da ação antrópica promovendo a morfogênese;</li> <li>- Forte presença da erosão (feições erosivas)</li> <li>- Presença das bad-lands (ravinamentos);</li> <li>- Predominância do escoamento difuso;</li> </ul>

**Quadro 7.** Os Meios e suas características de estabilidades .Fonte: TRICART (1977), organizado por SILVA (2016).

Com o uso desta proposta metodológica de forma complementar ao Manual Técnico de Geomorfologia do IBGE (2009) foi possível avaliar a estabilidade das unidades elencadas para o modelado do relevo. Com a inserção deste procedimento o mapeamento geomorfológico ficou com configuração conforme a Figura 10.



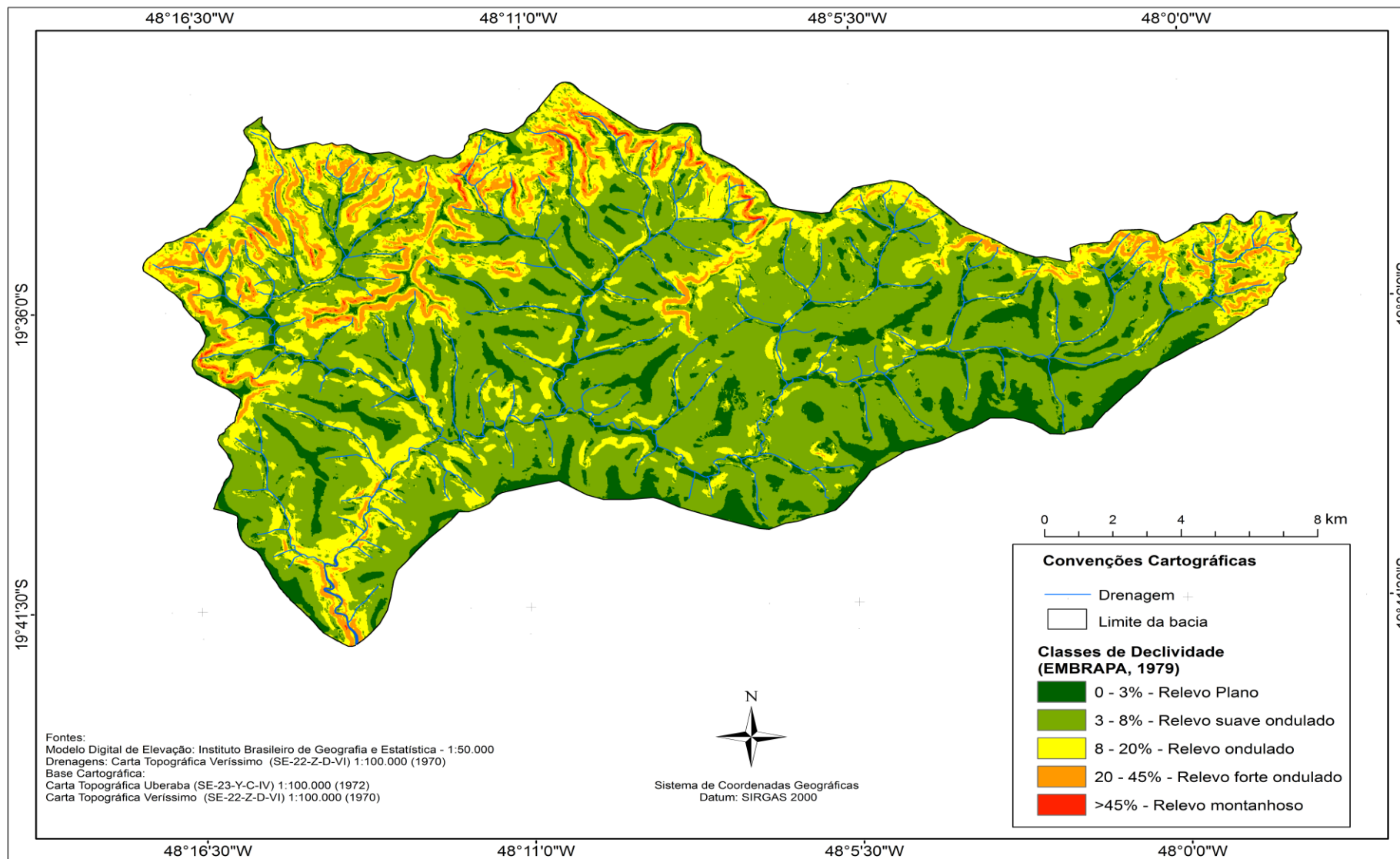
**Figura 10.** Organograma com adaptação da metodologia para a pesquisa.

### 5.2.1 O Modelado do relevo da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.

As feições apresentadas pelo relevo da área refletem bem as condições do ambiente modelador atual, e demonstra ainda, o papel e a atuação dos climas pretéritos.

As escalas abordadas e analisadas em trabalhos anteriores apresentavam informações de forma genérica, acerca das feições do relevo desta área. Desta forma e com o auxílio de cartas topográficas, imagens de satélites, uso de carta de declividades (Figura 11) e trabalhos de campo, foi possível individualizar as feições da paisagem de forma a atender os interesses do estudo. A escala de trabalho adotada foi 1:100.000, com a qual foi possível também compatibilizar o levantamento de solos, ficando ambas as escalas compatíveis com estudos de planejamento e ordenamento territorial.



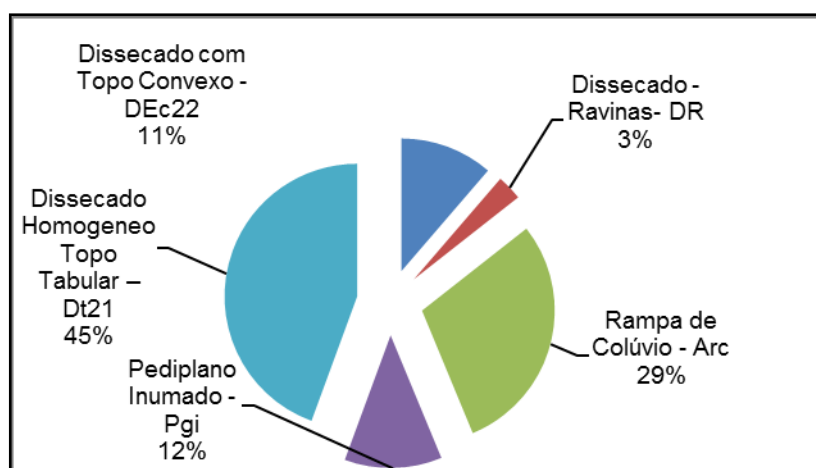


**Figura 11.** Mapa de classes de declividades da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes-Veríssimo-MG.

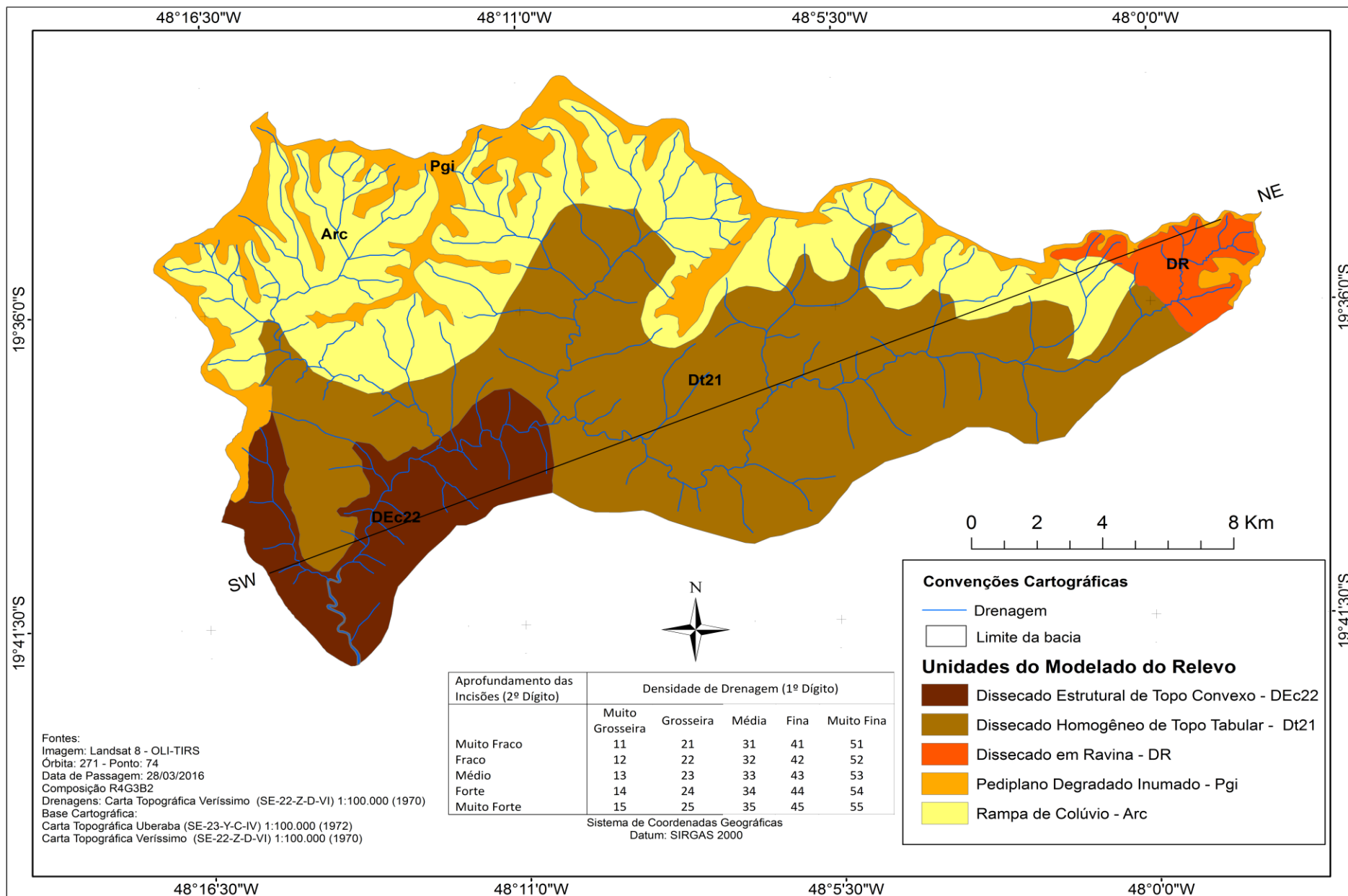
As classes encontradas apresentaram o predomínio do modelado dissecado homogêneo, e o de menor extensão o modelado dissecado em ravinas, conforme a Tabela 5 e Figuras 12 e 13.

**Tabela 5.** Unidades do modelado do relevo para a bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.

Unidades do Modelado do Relevo	Área (ha)	Área (km <sup>2</sup> )	%
Pediaplano Inumado–Pgi	3.833,17	38,33	11,9
Rampa de Colúvio – Arc	9.480,58	94,80	29,3
Dissecado Estrutural com Topo Convexo–DEc22	3.653,53	36,53	11,3
Dissecado Ravinas–DR	1.000,78	10,00	3,1
Dissecado Homogêneo–Topo Tabular – Dt21	14.344,51	143,44	44,4
<b>Total</b>	<b>32.312,586</b>	<b>323,126</b>	<b>100,0</b>



**Figura 12.** Unidades do modelado do relevo para a bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.



**Figura 13.** Mapa de unidades do modelado do relevo para a bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.

### 5.2.1.1 Unidade do modelado de aplanamento-pediaplano inumado-Pgi

Essa unidade é marcada por feições de topos convexos apresentando fortes declives na direção da ruptura estrutural, com variações de declividades na faixa de 3 a 20%, mas com 45% na área do limite da unidade (escarpas erosivas). As rochas da Formação Marília apresentam uma variação de fácies dada ao seu ambiente de formação, variando de uma textura fina a seixos com cimentações de silcretos e calcretes. Conforme Batezelli (2003) e Goudie (1973) a ocorrência de calcretes constituiu um indicativo plausível de condições semiáridas para o clima do local, sendo que a formação da mesma, ocorre pela acumulação de carbonato de cálcio nos solos, e devido a intensa evaporação, este enriquecimento corre sob a forma de cimentação e substituição, em áreas onde as águas subterrâneas encontram-se saturadas em carbonato de cálcio. Já o silcretos possui uma cimentação silicosa.

Essas fácies da Formação Marília condicionam um aspecto ao modelado geomorfológico apresentando feições de serras tabulares. As cotas altimétricas variam de 800 a 950 m com feições erosivas, conforme Figura 14.



**Figura 14.** Topo do Pediplano Inumado

Nesses topos as coletas deformadas de solos foram realizadas em alguns pontos, até 30 cm, devido a presença de cascalhos. O comportamento da água em superfície, inicialmente apresentou uma boa permeabilidade, dada as características texturais desta formação superficial, (Latosolos Vermelho-Amarelos distrófico típico com A moderado e textura franco arenosa) mas, ao contato deste fluxo vertical de água com o material mais grosseiro no interior do solo, ocorre uma linha de exudação da água, até então infiltrada, criando uma linha de nascentes de canais de 1ª ordem na direção dos declives.

O ambiente deposicional desta Formação geológica colabora para essa análise, sendo o mesmo do tipo proximal, caracterizado por deposições de sedimentos líticos com variações na sua textura.

Conforme relatado por Batezelli (2003) em seus estudos acerca da deposição da Formação Marília, a mesma ocorreu em leques proximal e intermediário, apresentando areias, seixos e calhaus na sua constituição granulométrica.

A evolução deste modelado, remonta a atual condição climática, sendo a paisagem os resquícios da superfície Sulamericana proposta por King (1956) que passou por amplo aplanamento, e sua base na atual condição climática, é acometida por dissecação, a partir de nascentes em anfiteatros alveolares, demarcando um rebaixamento desta antiga superfície. A superfície Sulamericana é a vasta planície produzida por denudação entre o Cretáceo Inferior e o Paleógeno Médio, quando foi soerguida e passou a ser dissecada pela erosão policíclica, desta forma as vertentes evoluem por recuo paralelo em ambientes áridos e semiáridos e ao recuarem geram superfícies aplanadas. Tais superfícies se definem através dos pedimentos e a coalescência destes define os pediplanos.

As atividades erosivas exercidas de um lado implicam na deposição dos sedimentos de outro, os chamados depósitos correlativos.

Daniels e Hammer (1992) reconheceram a existência de superfícies acumulativas formadas por processos de deposição sedimentar, e de superfícies erosivas, estas últimas formadas por processos erosivos eólicos, de movimentos de massa ou pela ação da água, onde a maioria das superfícies de erosão apresentam elementos deposicionais em declives de até 20%, sendo, entretanto, os sedimentos associados (e não o declive da vertente) que distinguem as superfícies erosivas das deposicionais.

Marques Neto (2014) avaliou que as superfícies de aplainamento configuram áreas de estruturas diversas que foram aplainadas ou cortadas indiferentemente pela erosão, o que repercute em uma forma topográfica discordante da estrutura, localizada acima do nível de base regional e modelada por processos de denudação subaérea, associados ou não a processos de acumulação. Para Geyl (1961) seria uma área relativamente plana formada por processos de erosão normal durante um período de estabilidade do nível de base.

Small (1986) ressaltou a importância do controle imposto pelos níveis de base locais na elaboração de uma superfície de aplainamento, cujo reconhecimento é feito pela análise destes níveis, responsáveis pela preservação ou dissecação e consequente destruição da superfície.

A ruptura estrutural marcada pelos conglomerados cimentados por silcretes e calcretes forma um bloqueio à erosão remontante, sustentando desta forma, esses topos residuais da superfície Sulamericana, que em função de processos de denudação, começam a exibir os afloramentos rochosos em seus maiores declives.

As condições morfogenéticas associadas aos diferentes usos do solo variando entre pastagem, mata e cultura de cana, geram condições para potencializar os fluxos de escoamento superficial e acentuar a erosão entressulcos e sulcos, levando há uma mobilização de sedimentos em direção as áreas das rupturas estruturais, contribuindo para ampliar os depósitos em talús, no sopé das escarpas erosivas.

A síntese da estrutura do modelado de aplainamento do relevo é apresentada no Quadro 8 e Figura 15, que representa o perfil na direção NE-SW da bacia.

Ambiente Depositional / Clima/ Idade	Geologia	Declividades %	Solos	Morfologia e Altitude	Uso	Estabilidade do meio
Leque aluvial / Semi-árido/ 66-72 milhões de anos- Cretáceo superior Maastrichtiana	Formação Marília	3-20%	LVA Latossolos Vermelho-Amarelos distrófico típico com A moderado e textura franco arenosa	Topos em Colinas / 800 a 950 m	Pastagem , Cana de açúcar, matas	Meio em Transição, conflitos entre morfogênese e Pedogênese

**Quadro 8.** Características da unidade do modelado de aplainamento do relevo-pediaplano inumado-Pgi.

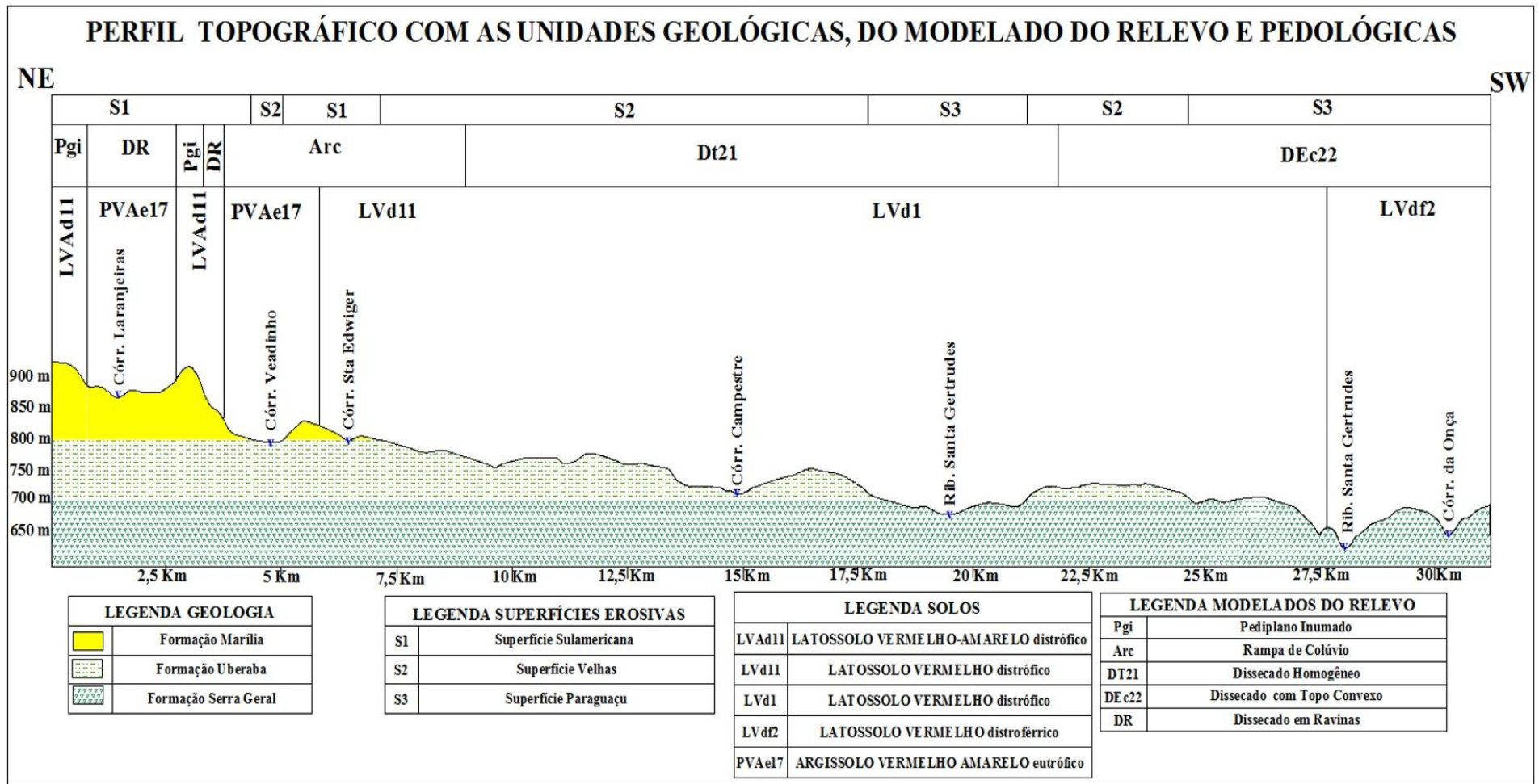
A transição entre os meios pode apresentar-se de uma forma suave, conforme ocorre a evolução natural do ambiente. A substituição da vegetação nativa, por outra

de menor eficiência em proteger a superfície leva a aceleração do processo de evolução da paisagem, gerando conflitos entre a infiltração e o escoamento superficial das águas pluviais.

Desta forma gerando um conflito no balanço morfogenético, onde as alterações levaram há uma busca por um novo padrão de equilíbrio, desencadeando transformações na paisagem e imprimindo um novo funcionamento do sistema.

Assim conforme mencionado por Christofolletti (1999) na sua avaliação para os sistemas ambientais, afirmando que estes se constituem de uma organização espacial resultante da interação dos componentes físicos da natureza funcionando através da interação dos fluxos de energia e matéria, porém acrescenta ainda que o desarranjo entre essas variáveis pode levar o sistema a buscar um novo ponto de equilíbrio.

Portanto, faz-se necessário a conceituação de aspectos importantes para o entendimento dos sistemas, tais como matéria, energia e estrutura. Por exemplo, no sistema vertente, as fontes primárias de matéria são a precipitação, a rocha subjacente e a vegetação. Já em relação à energia essa se corresponde às forças que fazem o sistema funcionar, gerando a capacidade de realizar trabalho, a exemplo os fluxos superficiais.



**Figura 15.** Perfil topográfico NE-SW com as unidades geológicas, do modelado do relevo e pedológicas



### 5.2.1.2 Unidade do modelado de acumulação rampa de colúvio - Arc

Essa unidade apresentou feições suaves a onduladas, com feições de escarpas erosivas no seu limite norte, o qual delimita com a unidade de relevo de pediplano Inumado-Pgi. As declividades variam entre 3 e 8%, poucos trechos, as declividades podem chegar entre 8 e 20 %, conforme o Quadro 9, sendo neste caso em direção as drenagens.

Como ambiente deposicional esse modelado recebe detritos da unidade de relevo pediplano, o qual possui como formação geológica a Formação Marília, sendo esta e suas formações superficiais as fornecedoras de sedimentos.

A drenagem neste ambiente, é caracterizada como dentrítica e com canais de 2ª ordem, e canais de 1ª ordem com nascentes em alvéolos. A ciclicidade climática e as intervenções em função das alterações das forças internas do planeta, podem gerar condições de alteração na evolução dos processos de denudação e agradação.

Ambiente Depositional / Clima/ Idade	Geologia	Declividades %	Solos	Morfologia e Altitude	Uso	Estabilidade do meio
Leque aluvial / Semi -árido/ 72-83 milhões de anos- Cretáceo Superior - Campaniana	Formação Uberaba	8-20%	LVd Latossolos Vermelho-distrófico típico com A moderado e textura franco arenosa	Topos em Colinas / 700 a 800 m	Pastagem , Cana de açúcar, matas ao longo da drenagem	Meio em Transição, conflitos entre morfogênese e Pedogênese Perdas de solos superiores a tolerância

**Quadro 9.** Características da unidade do modelado de acumulação-rampa de colúvio-Arc.

Nascimento (1993) avaliou que a coalescência de pedimentos, tanto no modelo de pediplanação de King (1956), como nos modelos de interpretação semiárida, compõem o pediplano que é o resultado de um ciclo de aplanamento. Esse ciclo erosivo pode ser interrompido por fatores tectônicos ou por mudanças climáticas. Desta forma, superfícies contemporâneas podem desenvolver-se em alvéolos a altitudes bastante variadas, sob a dependência de níveis de base locais e mantidos pela rede de drenagem.

As condições dos depósitos deste ambiente nas rampas de colúvio, demonstram as deposições relacionadas a denudação das escarpas erosivas e o tipo de material depositado no talús, conforme a figuras 16 e 17.



**Figura 16.** Material grosseiro (pedimento)



**Figura 17.** Depósitos correlativos

Independente da ciclicidade ser imputada aos agentes tectônicos ou climáticos, as superfícies de erosão relacionadas a cada ciclo, podem associar-se a depósitos correlativos que revelam as condições morfogenéticas da área fonte.

Na evolução da paisagem essa unidade do modelado está inserida em uma superfície de embutimento (superfície Velhas-KING, 1956) apresentando um ambiente que recebe sedimentação na sua porção superior e que também fornece sedimento a partir do trabalho da rede de drenagem que escava esses sedimentos coalescentes e friáveis.

Sob o trabalho e o retrabalho de denudação e agradação neste ambiente, vem sendo moldado desde o Paleógeno Médio (Eoceno entre 56 e 33 milhões de anos), entre fases úmidas e semiáridas. As fases úmidas criaram um ambiente favorável a alteração química das rochas da Formação Uberaba, elaborando um perfil profundo de intemperismo. Essa ação do intemperismo da estrutura rochosa vem se processando desde a deposição da Formação Uberaba, posterior a deposição das rochas alcalinas da Formação Serra Geral (Basaltos), que datam entre 135 a 130 milhões de anos.

As rochas da Formação Uberaba datam o Cretáceo Superior, já no fim do Mesozoico.

As formações superficiais variaram em função do processo de agradação e remoção de sedimentos, o que pode levar a ocorrência de deposição e sobreposição de materiais criando uma variabilidade textural na superfície dos solos, formando capeamentos, hora de materiais grosseiros, hora de materiais mais finos, dependendo da capacidade de transporte dos fluxos e do tipo de clima imperante.

Nos depósitos coluvionares na rampa mapeada, na área de estudo, os solos apresentam uma textura média a franco-arenosa. Esse material em superfície possui baixa resistência a erosão, e na condição climática atual, são bastante friáveis e facilmente erodidos.

O uso do solo neste ambiente requer cuidados específicos para evitar a potencialização dos processos erosivos, conforme a Figura 18, que demonstrou a capacidade de transporte do escoamento superficial em áreas sem a devida prática conservacionista para o uso agrícola do solo, gerando danos não só ao meio ambiente como também a produção agrícola.



**Figura 18.** Área de deposição de sedimentos. (Autor03/17).

### **5.2.1.3 Unidade do modelado de dissecação-dissecado estrutural com topo convexo-DEc22**

As formas nesta unidade apresentam topos convexos e longas rampas em direção ao fundo de vale, com declividades entorno de 3 e 8%. Nos trechos mais próximos ao talvegue/ fundo de vale, as declividades podem variar entre 20 a 45 %, nas áreas onde afloram os basaltos da Formação Serra Geral.

As feições com maiores declividades são marcadas por áreas nas quais ocorre o contato do material sedimentar que recobre os basaltos, formando entre essas duas litologias, concreções ferruginosas, com afloramento de água nas vertentes. Adjacente as concreções, ocorrem a formação de cascalheiras, que acompanham ao longo do

perfil destas vertentes. Nestas condições de declividades mais altas, os fundos de vales são mais encaixados e os topos apresentam formas convexas.

Os basaltos desta unidade morfológica, formatam a base da deposição da Formação Uberaba, ocorrendo neste caso, a deposição de material dos topos.

As altitudes desta unidade estão demarcadas entre as cotas 600 a 700 m, sendo a porção mais elevada desta unidade, conforme Quadro 10.

Ambiente Depositional / Clima/ Idade	Geologia	Declividades %	Solos	Morfologia e Altitude	Uso	Estabilidade do meio
Extrusão por fendas / úmido/ 139,8 milhões de anos- Cretáceo - Inferior - Valanginiense	Formação Serra Geral	0-3% (relevo plano) e 3-8% (relevo ondulado)	LVd1 Latossolos Vermelho-distrófico e textura franco arenosa	Topos Planos Colinas / 650 a 700 m	Cana de açúcar, matas ao longo da drenagem	Meio em Transição, conflitos entre morfogênese e Pedogênese Perdas de solos superiores a tolerância
		20-45% (relevo forte ondulado)	LVdf	Vertentes Convexas 600-650 m	Pastagens	

**Quadro 10.** Características da unidade do modelado de dissecação-dissecação estrutural com topos convexas-DEc22.

Essa análise, permite avaliar as condições das formações superficiais imperantes neste ambiente, de tal forma que, a variação entre os constituintes geológicos e a dinâmica geomorfológica impuseram pré condições aos processos pedogenético, conforme aponta Torrado *et al.* (2005) as superfícies geomórficas são produtos de uma história geológico/geomorfológica que guarda testemunhos de sua evolução, incluindo os aspectos dos próprios solos que podem ser sustentados por um ou mais substratos rochosos, alterados ou não, na relação/dependência de sua evolução pós-deposicional, além disso, diferentes declividades, morfologias e comprimentos das vertentes e extensões dessas superfícies.

Na avaliação das superfícies erosivas existe na área de estudo, a superfície denominada de Paraguaçu, a qual segundo King (1956) é o ciclo erosivo mais recente (Pleistoceno) e responsável pela abertura de gargantas e vales em frentes erosivas e ainda dissecando a superfície anterior. Já para Ab'Saber (1962) essa superfície corresponde à Superfície Jundiá que é um ciclo erosivo correlacionado ao mecanismo de (re) embaciamento da bacia do Paraná afetando o Oeste de São Paulo, Sul de Mato

Grosso, Triângulo Mineiro e o SW de Goiás, além do entalhamento da superfície dos baixos chapadões do Oeste de São Paulo.

Os solos nas áreas de topo são os Latossolos Vermelhos distróficos com textura média, já na direção da drenagem principal os solos são os do tipo Latossolos Vermelhos distroféricos com textura argilo-arenosa, sendo que em parte, esses solos são capeados por sedimentos oriundos do terço superior da vertente.

Neste ambiente ocorrem processos lineares nas drenagens o que leva há uma dissecação mais pronunciada dos vales e impõe uma dinâmica aerolar as vertentes, gerando processos dinâmicos de mobilização de sedimentos nas vertentes, levando um incremento das declividades e acelerando a velocidade do escoamento superficial. As perdas de solos nestes trechos das vertentes são elevados e ficaram acima das taxas de tolerância de perda de solos para a classe pedológica.

Nas áreas de declividades menores 0 a 3% (relevo plano) e 3 a 8% (relevo ondulado), o uso do solo é feito pela agricultura (cana), Figura 19, e onde as declividades elevam um pouco mais, 20 a 45% (relevo forte ondulado) o uso é feito pelas pastagens.



**Figura 19.** Topo convexo em direção a fundo de vale

### 5.2.1.4 Unidade do modelado de dissecação-dissecado em ravina-DR

Essa unidade do modelado apresenta formas convexas com declividades variando entre 15 e 35%. Os solos são os Argissolos com textura franco arenosa, sendo muito friáveis e apresentando taxas de perda de solos elevadas se comparadas a tolerância de perdas para essa classe. As cotas altimétricas desta unidade estão entre 800 a 930m, conforme Quadro 11, esse desnível topográfico associado às declividades elevadas, a fragilidades dos solos e aos volumes pluviométricos que recaem na região, potencializam os fluxos superficiais e sua capacidade de transporte de sedimentos, criando um ambiente favorável ao surgimento de sulcos, ravinas e algumas voçorocas, conforme Figura 20.



**Figura 20.** Voçoroca conectada.

Ambiente Depositional / Clima/ Idade	Geologia	Declividades %	Solos	Morfologia e Altitude	Uso	Estabilidade do meio
Leque aluvial / Semi-árido/ 66-72 milhões de anos- Cretáceo superior Maastrichtiana	Formação Marília	15 a 35 % (relevo ondulado a forte ondulado)	PVAe Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico com textura média arenosa	Topos convexos - 800 a 930 m	Pastagem	Instável - Perdas de solos superiores a tolerância.  Possível evolução para "bad lands"

**Quadro 11.** Características da unidade do modelado de dissecação em ravinas-DR

A textura franco-arenosa destes solos, associado a redução de valores de areias em profundidade e o aumento de partículas de argila, condicionam a uma drenagem interna do solo, o que leva a movimentação lateral da água, o que conseqüentemente potencializa os processos de remoção de partículas em subsuperfície.

Em estudos realizados por Arraes *et al.* (2010) em uma bacia hidrográfica na região de Jaboticabal e Monte Alto no estado de São Paulo, com ocorrências de Latossolo Vermelho distrófico (LVd), textura média e Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico (PVAe). Os autores avaliaram o fator de erodibilidade destes solos, apontando que ambas as classes de solos, apresentam valores elevados de erodibilidade. Em destaque para os Argissolos de textura média implantados sobre a formação geológica dos arenitos Vale do Rio do Peixe e Marília, apresentaram alta susceptibilidade ao desenvolvimento de erosão entressulcos em função de seu comportamento marcante em relação a organização estrutural e textural. A mudança textural abrupta nestes solos facilitou uma rápida saturação dos horizontes superiores favorecendo o fluxo paralelo pelas vertentes elevando as condições favoráveis para a formação de sulcos e ravinas.

A instabilidade neste ambiente é alta e que pode ser potencializada em função do uso do solo e pela substituição da vegetação nativa por práticas ligadas a agropecuária sem o uso de práticas conservacionistas.

As ravinas e voçorocas neste ambiente somadas podem chegar a mais de 30 em uma área de 10,008 Km<sup>2</sup>, ocupando 3,1% da bacia hidrográfica em estudada.

Segundo Filizola (2011) a redução da camada superficial é a principal forma de degradação dos solos, no Brasil. Em razão da ampliação da fronteira agrícola e do uso intensivo do solo, Hernani *et al.* (2002) estimaram perdas totais anuais de solo em áreas de lavoura da com valores de 750 milhões de toneladas e de 70 milhões de toneladas para as áreas de pastagens em todo o país.

O conhecimento das restrições em um ambiente, em função das suas condições naturais, pode evitar danos ao meio e ainda evitar prejuízos em projetos agrícolas.

### 5.2.1.5 Unidade do modelado de dissecação-dissecado homogêneo com topo tabular-Dt21

Essa unidade do modelado do relevo possui a maior área ocupada na área, sendo 44%, onde as declividades predominantes estão entre 3 e 8%, em alguns trechos em direção ao fundo dos vales as declividades podem variar entre 8 e 20%, Quadro 12. As cotas altimétricas estão entre 600 e 700 m.

Ambiente Depositional / Clima/ Idade	Geologia	Declividades %	Solos	Morfologia e Altitude	Uso	Estabilidade do meio
Leque aluvial / Semi -árido/ 72-83 milhões de anos- Cretáceo Superior - Campaniana	Formação Uberaba	03 a 8 % (relevo suave ondulado)  08 a 20 % (Relevo Ondulado)	Latossolo Vermelho distrófico com textura média	Topos Tabulares – 600 e 700 m	Cana-de-açúcar	Em transição – “Intergrade”

**Quadro 12.** Características da unidade do modelado de dissecação-dissecação homogênea com topo tabular-Dt21

Os solos são do tipo Latossolos Vermelho Amarelo distróficos, com textura média e com taxas de erosão superiores nas áreas declivosas à tolerância de perda de solo. Isso se deve em função do uso do solo, com predomínio da agricultura (cana-de-açúcar).

As vertentes são retilíneas e formam longas rampas com bases côncavas, as quais recebem sedimentos oriundos a montante das vertentes. Essas longas rampas já apresentam processos erosivos em forma de sulcos, devido à ação do escoamento pluvial, conforme Figura 21.



**Figura 21.** Processo erosivo



No limite inferior da unidade já em contato com os basaltos da formação Serra Geral, ocorre uma área de transição com deposição de sedimentos arenosos, que recobrem as formações pedológicas oriundas o basalto. Neste contato há a formação de uma cascalheira que impede a infiltração e promove uma linha de exudação de água nas vertentes.

### 5.3 Solos

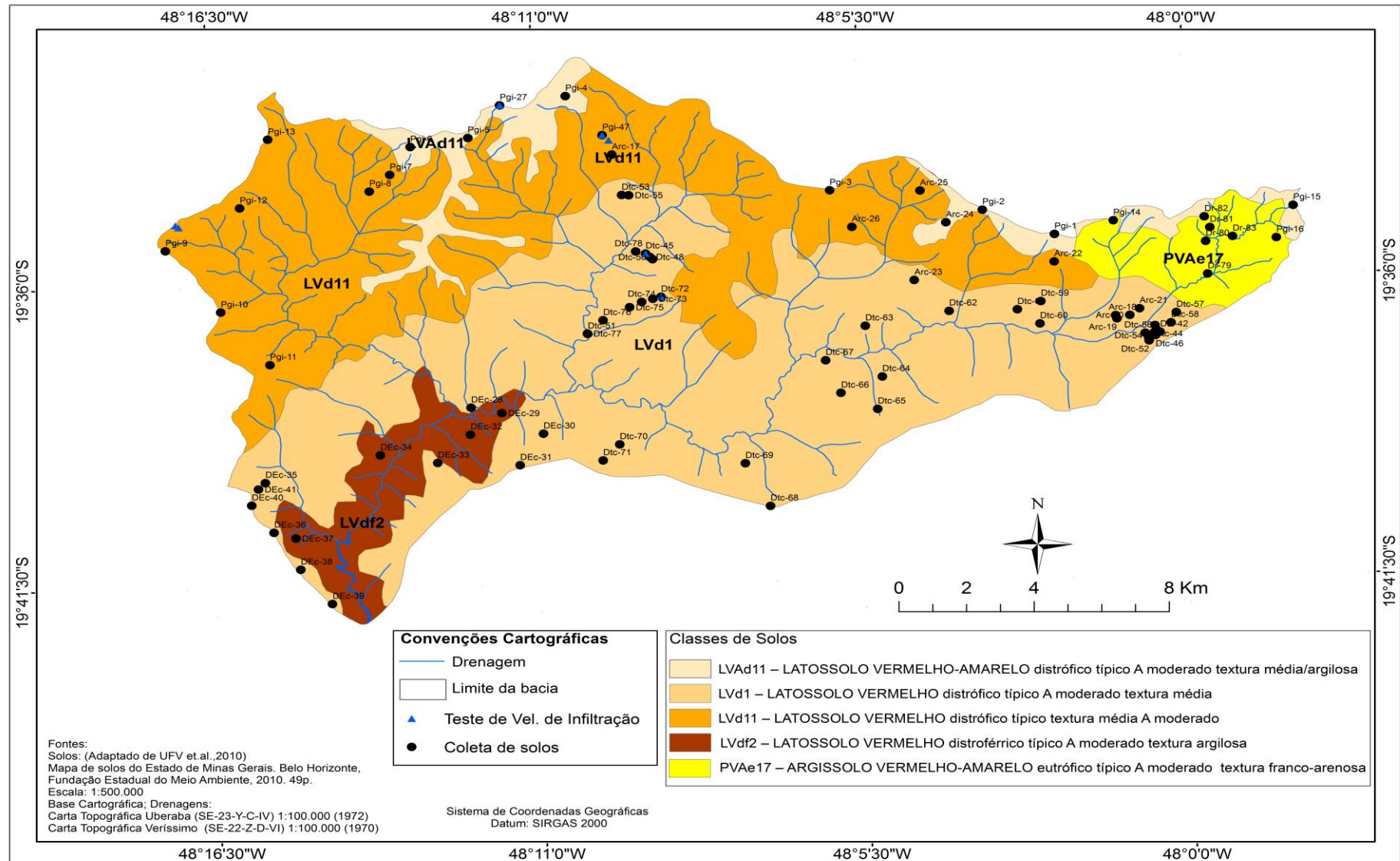
A área de estudo apresenta 5 classes de solos, com texturas variando de arenosa a argilosa e predominância da textura média; são classificados de forma geral como Latossolos de diferentes graus de fertilidade, com predominância do Latossolo Vermelho distrófico típico, ocupando 83,8% da área da bacia hidrográfica, conforme Tabela 6 e Figura 22.

Os levantamentos de campo foram feitos a partir da confecção do mapa de solos, com adaptação e adequação de escalas. Desta forma as coletas de amostras deformadas para caracterização da granulometria e textura dos solos foram realizadas. A escolha dos pontos de amostragens foi organizada, a partir das unidades do modelado do relevo, buscando a homogeneidade dos compartimentos do relevo e a densidade de amostras a pautada na proposta elencada pela EMBRAPA (1995) e adaptada em estudos realizados por Kraemer (2007) na delimitação de unidades de mapeamento de solos.

**Tabela 6.** Classes de solos

<b>Classe de Solos</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
LVA <sub>d</sub> 11	1.808,28	18,08	5,6
LV <sub>d</sub> 1	15.884,14	158,84	49,2
LV <sub>d</sub> 11	11.188,87	111,88	34,6
LV <sub>d</sub> f2	1.941,38	19,41	6,0
PVA <sub>e</sub> 17	1.489,90	14,89	4,6
<b>Total</b>	<b>32.312,58</b>	<b>323,12</b>	<b>100,0</b>

LV<sub>d</sub> – Latossolo Vermelho Amarelo distrófico; LV<sub>d</sub> – Latossolo Vermelho distrófico;  
LV<sub>d</sub>f – Latossolo Vermelho distroférico; PVA<sub>e</sub> – Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico.



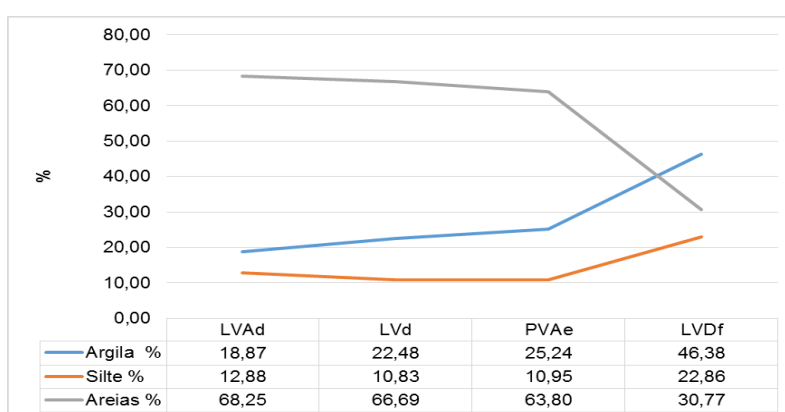
**Figura 22.** Mapa de classes de solos da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes

### 5.3.1 Granulometria

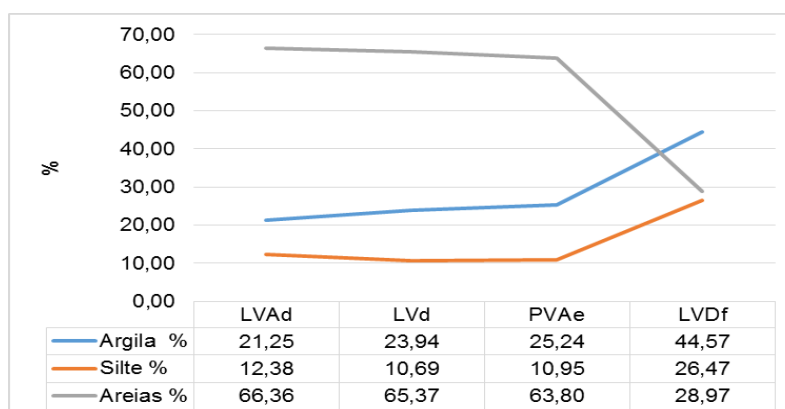
As características texturais apresentaram poucas variações, nas diferentes classes de solos analisadas, sendo uma exceção nos Latossolos Vermelhos distroféricos, com maior porcentagem de argila.

O predomínio da partícula areia foi visualizado em todos os pontos e amostras coletadas, evidenciando uma classe textural franco-areno-argilosa, indicando que na área há uma boa percolação de água no solo, permitindo uma boa velocidade de infiltração. Essa percolação pode ser alterada em função do uso e das práticas conservacionistas.

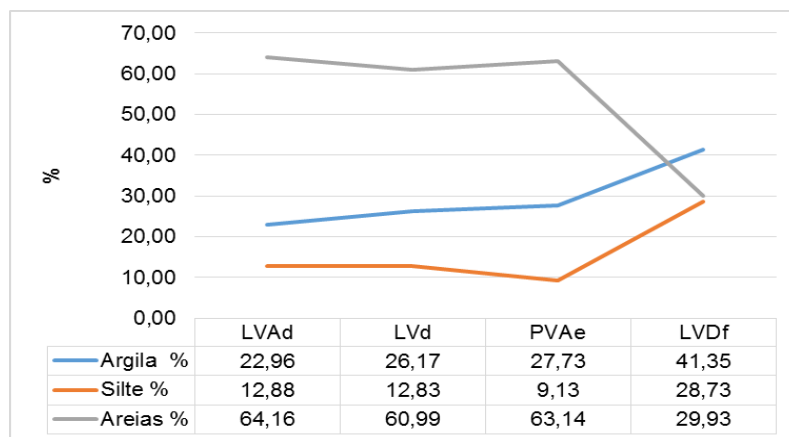
Os valores médios das características texturais em superfície, a 30 cm e a 50 cm de profundidade por classes de solos são apresentadas nas Figuras 23, 24 e 25.



**Figura 23.** Porcentagens de argila, silte e areias/tipos de solos, em superfície.



**Figura 24.** Porcentagens de argila, silte e areias/tipos de solos, em 30 cm.



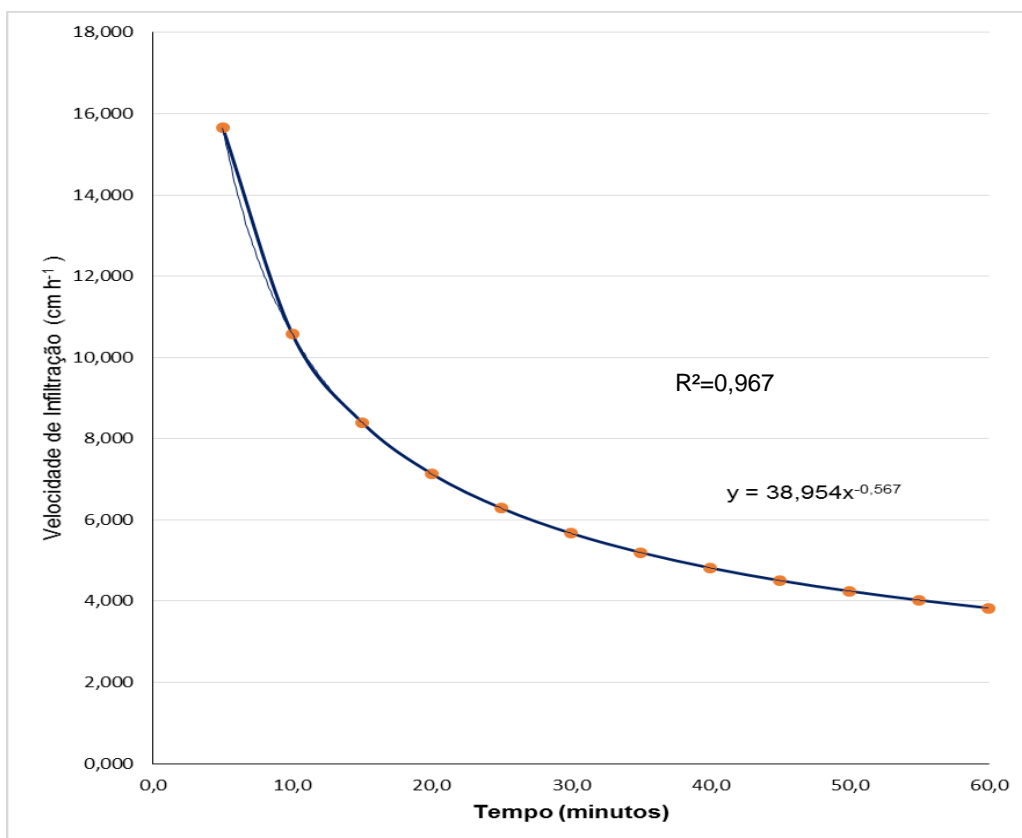
**Figura 25.** Porcentagens de argila, silte e areias / tipos de solos, em 50 cm.

### 5.3.2 Taxas de Infiltração

Os valores de infiltração acumulada e da sua velocidade obtidos com infiltrômetro de anéis concêntricos em áreas com usos distintos dos solos (cultura de cana-de-açúcar, mata e pastagem), são apresentados nos Quadro 13, 15 e 16 e nas Figuras 26, 27 e 28 ajustadas com a equação potencial de Kostiakov (1932).

Dados Extrapolados		
Tempo (T) (min)	Infiltração Acumulada, Cm <sup>3</sup>	Velocidade de Infiltração, Cm h <sup>-1</sup>
5,0	3,01	15,652
10,0	4,06	10,568
15,0	4,84	8,399
20,0	5,49	7,136
25,0	6,05	6,289
30,0	6,54	5,671
35,0	6,99	5,197
40,0	7,41	4,818
45,0	7,80	4,507
50,0	8,16	4,246
55,0	8,51	4,023
60,0	8,84	3,830

**Quadro 13.** Valores de infiltração acumulada e da sua velocidade na cultura de cana-de-açúcar.



**Figura 26:** Velocidade de Infiltração na cultura de cana de açúcar

Na área com cana-de-açúcar, com Latossolos Vermelhos distróficos textura franco-areno-argilosa, a velocidade de infiltração básica estabilizou-se em 3,8 cm h<sup>-1</sup> em 50 minutos, o que está próximo da ordem de grandeza, segundo Bernardo *et al.* (2006) para essa classe textural conforme Quadro 14.

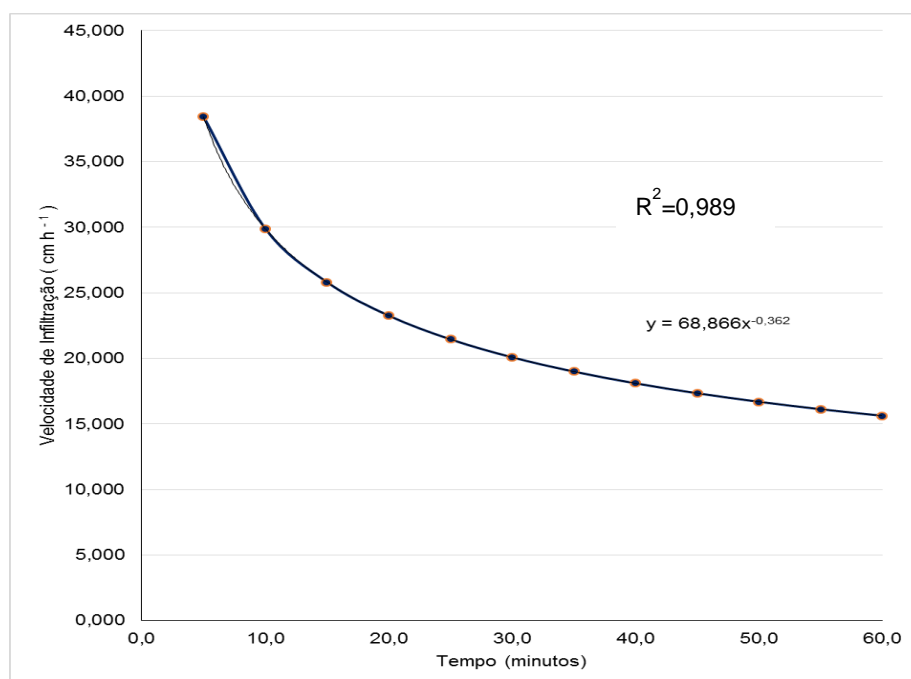
Textura do Solo	Velocidade de Infiltração Estável, cm h <sup>-1</sup>
Arenosa	2,5 a 25,0
Franco-arenosa	1,3 a 7,6
Franco-areno-argilosa	0,5 a 2,0
Franco-argilosa	0,25 a 1,5

**Quadro 14.** Velocidade de Infiltração Estável Fonte: Bernardo *et al.* (2006).

O teste de infiltração realizado na mata, em Latossolo Vermelho distrófico com textura franco-argilo-arenosa, também está em conformidade com o teste descrito anteriormente, demonstrando uma estabilidade na velocidade de infiltração em 15 cm h<sup>-1</sup> (Quadro 15 e Figura 27).

Dados Extrapolados		
Tempo (T) (min)	Infiltração Acumulada, cm <sup>3</sup>	Velocidade de Infiltração, cm h <sup>-1</sup>
5,0	5,02	38,439
10,0	7,82	29,903
15,0	10,12	25,818
20,0	12,16	23,262
25,0	14,02	21,456
30,0	15,75	20,084
35,0	17,37	18,993
40,0	18,92	18,096
45,0	20,39	17,341
50,0	21,81	16,691
55,0	23,18	16,125
60,0	24,50	15,624

**Quadro 15.** Valores de infiltração acumulada e da sua velocidade na mata.

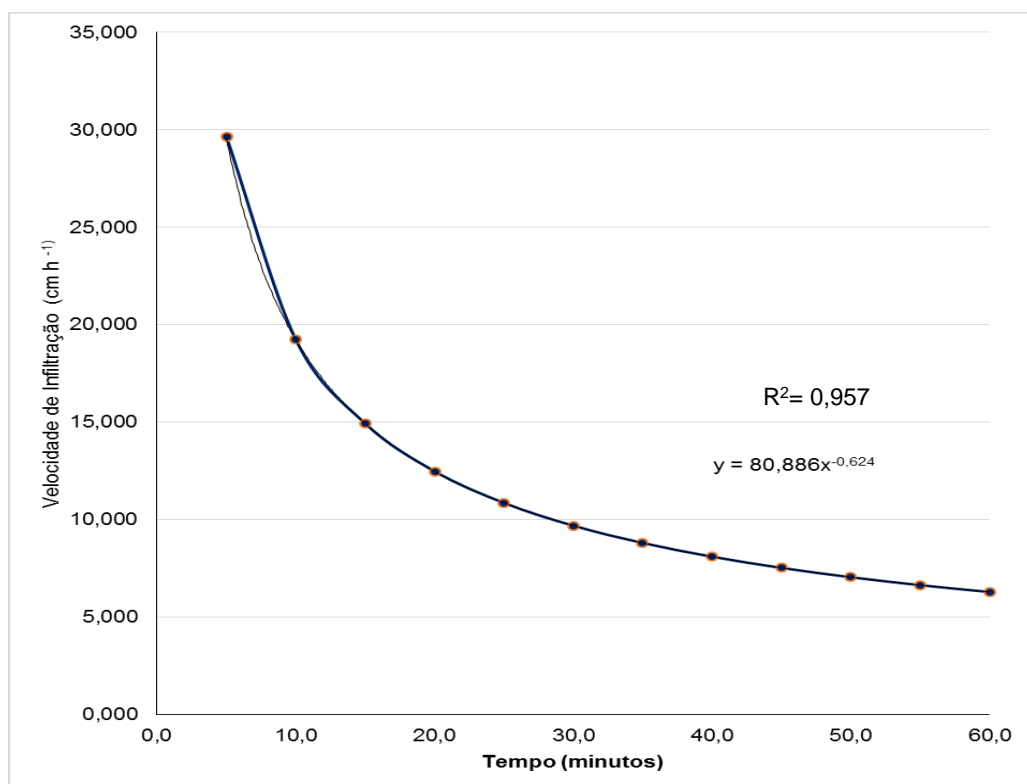


**Figura 27.** Velocidade de Infiltração básica na mata.

O teste de infiltração na área de pastagem, com Latossolo Vermelho distrófico textura média-arenosa, apresentou uma estabilidade de infiltração em  $6,4 \text{ cm h}^{-1}$  (Quadro 16 e Figura 28).

Dados Extrapolados		
Tempo (T) (min)	Infiltração Acumulada-cm <sup>3</sup>	Velocidade de Infiltração-cm h <sup>-1</sup>
5,0	6,57	29,636
10,0	8,52	19,232
15,0	9,93	14,934
20,0	11,06	12,480
25,0	12,03	10,858
30,0	12,88	9,691
35,0	13,65	8,802
40,0	14,35	8,099
45,0	15,00	7,525
50,0	15,61	7,046
55,0	16,18	6,640
60,0	16,72	6,289

**Quadro 16.** Valores de infiltração acumulada e da sua velocidade na pastagem.



**Figura 28.** Velocidade de Infiltração básica em pastagem

Os valores obtidos pelos testes de infiltração para a velocidade básica de infiltração e taxa de infiltração estável são apresentados de forma resumida no Quadro 17.

Uso	Solo	VIB*/TIE** cm h <sup>-1</sup>	Infiltração Acumulada- cm <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
Cana-de-açúcar	LVd-textura-franco-areno-argilosa.	3,8	8,84
Mata	LVd-textura-franco-areno-argilosa.	15,0	24,50
Pastagem	LVd-textura-média-arenosa	6,4	16,72

**Quadro 17.** Síntese dos valores de velocidade de infiltração\*/taxa de infiltração estável\*\* para os diferentes usos do solo.

O predomínio da textura areno-argilosa dos solos, direciona e permite uma alta taxa de infiltração nos mesmos, indicando que a área apresenta uma boa permeabilidade. Contudo, deve ser lembrado que o uso do solo, pode interferir de forma direta nos valores observados de infiltração. Observando-se as taxas de infiltração acumulada e as taxas de velocidade de infiltração na mata, e tomando-se como referência natural, o uso dos solos pelas pastagens e cultura da cana-de-açúcar demonstram haver uma ruptura no equilíbrio natural da bacia hidrográfica estudada, gerando indicativos que podem potencializar as taxas de escoamento pluvial e conseqüentemente as taxas de erosão.



### 5.3.3 Taxas de perda de solos

As taxas de perdas de solos para a bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes, estão de forma geral acima das tolerâncias estimadas para os grupos de solos presentes na área. Desta forma, os conflitos entre o potencial natural de resistência ao processo erosivo e os valores obtidos no estudo ficaram evidentes.

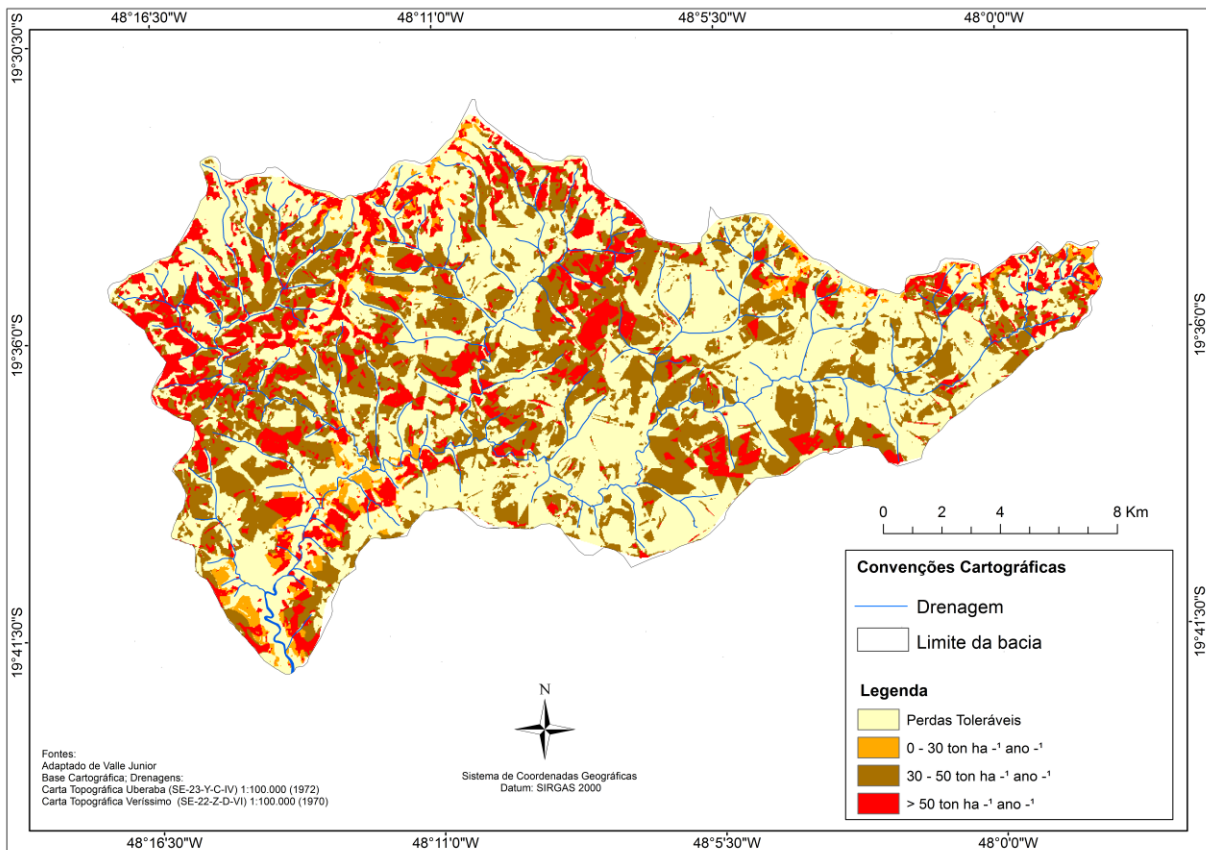
Os valores de referência para tolerância de perdas de solos foram descritos por Oliveira (2004) e podem ser observados no Quadro 18.

Solos	Tolerância Calculada (t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
Latossolo Vermelho distroférico –LVdf	22,98
Latossolo Vermelho Amarelo-LVA	25,87
Argissolo Vermelho Amarelo-PVA	17,78
Latossolo Vermelho distrófico-LVd	14,21

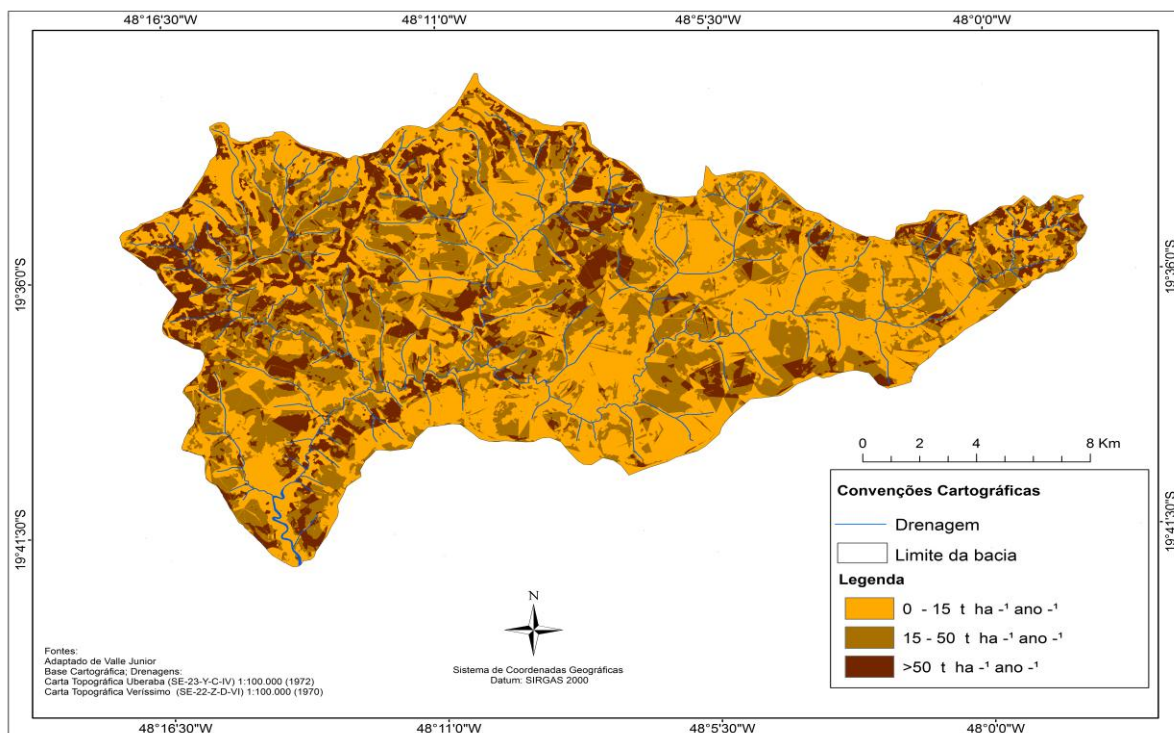
**Quadro 18.** Valores de tolerância de perda de solos por grupos de solos. Fonte: Oliveira (2004).

Em estudos realizados por Valle Júnior (2008) na bacia hidrográfica do Rio Uberaba, no estado de Minas Gerais, o referido autor observou para a bacia estudada que as taxas de erosão estão, em média, muito acima dos valores toleráveis para as classes de solos. Na bacia do ribeirão Santa Gertrudes, as taxas também estão bem acima das tolerâncias estimadas, indicando que as alterações impostas pelas atividades antrópicas estão potencializando as taxas de perda de solos.

O cruzamento das informações de tolerância de perdas de solo por grupo de solos e os dados de perdas de solos obtidas por adaptações de escalas e compilação de informações extraídas do trabalho de Valle Júnior (2008) permitiram o cruzamento de resultados, consubstanciando que as taxas de perda de solos estão acima dos limites de tolerância. Essas informações podem ser visualizadas nas Figuras 29 e 30.



**Figura 29.** Mapa de tolerância x perda de solos da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes-Veríssimo-MG.



**Figura 30.** Mapa de perda de solos da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes-Veríssimo-MG. Fonte: Adaptado de Valle Júnior (2008)

### 5.3.4 Uso dos solos

Com a expansão das atividades agropastoris, ocorreu uma alternância do uso dos solos, principalmente em função da dinâmica econômica. Na área de estudo, inicialmente a vegetação nativa foi substituída por pastagens. Com a expansão da atividade canavieira na Região do Triângulo Mineiro, dada também em função das condições topográficas favoráveis a mecanização, nos últimos 10 anos, as pastagens estão sendo gradativamente substituídas pela cultura da cana-de-açúcar, o que leva a uma nova transformação da paisagem.

A mecanização traz consigo alguns impactos diretos nos solos, como por exemplo, a compactação e conseqüentemente a alteração nas taxas de infiltração e na dinâmica dos fluxos superficiais de água. A inobservância de técnicas de conservação da água e solo gera grandes impactos e perdas econômicas.

Neste novo contexto de substituição de uso dos solos pela cultura da cana-de-açúcar na bacia do ribeirão Santa Gertrudes, as taxas de perda de solos superam a tolerância dos mesmos às perdas por erosão, e, somado a isso, a fragilidade de ambientes geomorfológicos potencializam o remanejamento de sedimentos ao longo das vertentes, descaracterizando fortemente os horizontes superficiais dos solos.

Conforme observado na Figura 31, o predomínio do uso dos solos pela agricultura gera um cenário de atenção quanto à nova dinâmica imposta a essas paisagens, e remete a uma análise aos níveis de alterações.

A vegetação nativa representa 22,4% da área da bacia, enquanto o espaço ocupado pelas atividades agropastoris representa 77,40% da área.

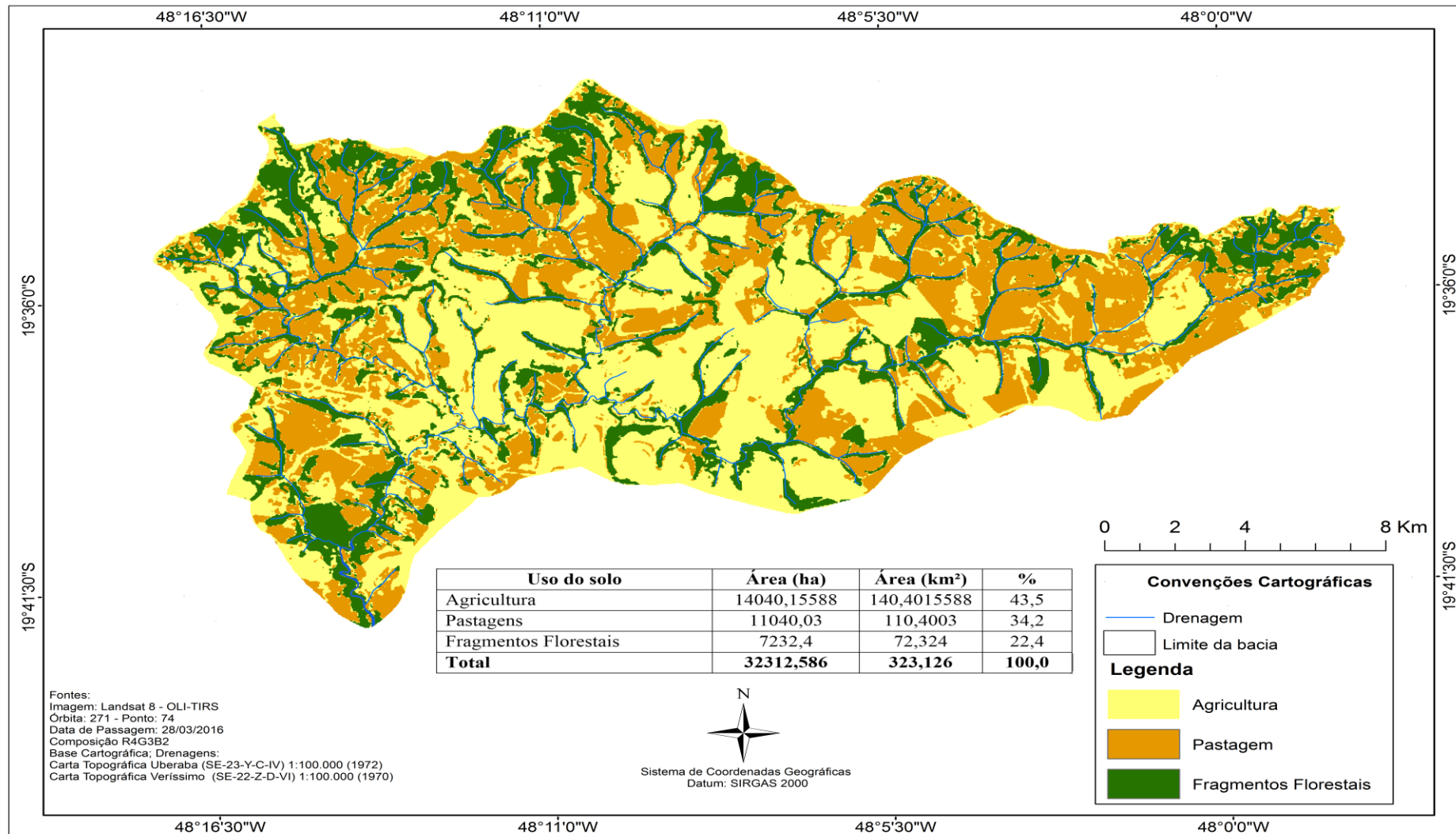


Figura 31. Mapa de uso dos solos na bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes (Dezembro-2016)

### 5.3.5 Susceptibilidade/vulnerabilidade de contaminação do lençol freático livre

As características dos solos influenciam diretamente a passagem da água pelos perfis dos mesmos, o que determina ainda a maior ou menor capacidade de retenção de água e a sua condução até o lençol freático. A qualidade da água que infiltra e fica armazenada nos lençóis freáticos está intimamente ligada ao uso dado aos solos. Para Souza (2009) os solos atuam como um filtro natural de poluentes podendo dada a suas características impedir que os poluentes atinjam o lençol freático. Mingoti (2016) verificou que o uso de agroquímicos, como fertilizantes e agrotóxicos na agricultura, tem alto potencial de impacto sobre a qualidade da água que infiltra no solo com esses tipos de usos agrícolas. A intensa utilização de agrotóxicos pelas grandes culturas e a ocorrência frequente de solos de textura arenosa e média no Cerrado e a utilização de água proveniente de aquíferos não confinados para abastecimento público, em áreas deste bioma, torna evidente a necessidade de critérios mais rigorosos de utilização de agrotóxicos, bem como a identificação de áreas com vulnerabilidade à contaminação.

A profundidade do lençol freático é uma informação de suma importância para a determinação da vulnerabilidade de contaminação

Em estudos realizados por Mingoti *et al.* (2016), com Latossolos Vermelhos distróficos, na região dos cerrados goianos, os referidos autores utilizaram o modelo “Height Above the Nearest Drainage” (Hand), ou Altura Acima da Drenagem mais Próxima, que utiliza a diferença entre a altitude extraída de modelos digitais de elevação (DEM) e a rede de drenagem de referência para calcular alturas relativas, que possuem correlação com a profundidade do lençol freático e com a topografia do terreno (SRTM). O uso da técnica descrita (Hand) foi implementada para a determinação do mapa potenciométrico da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes (Figura 32).

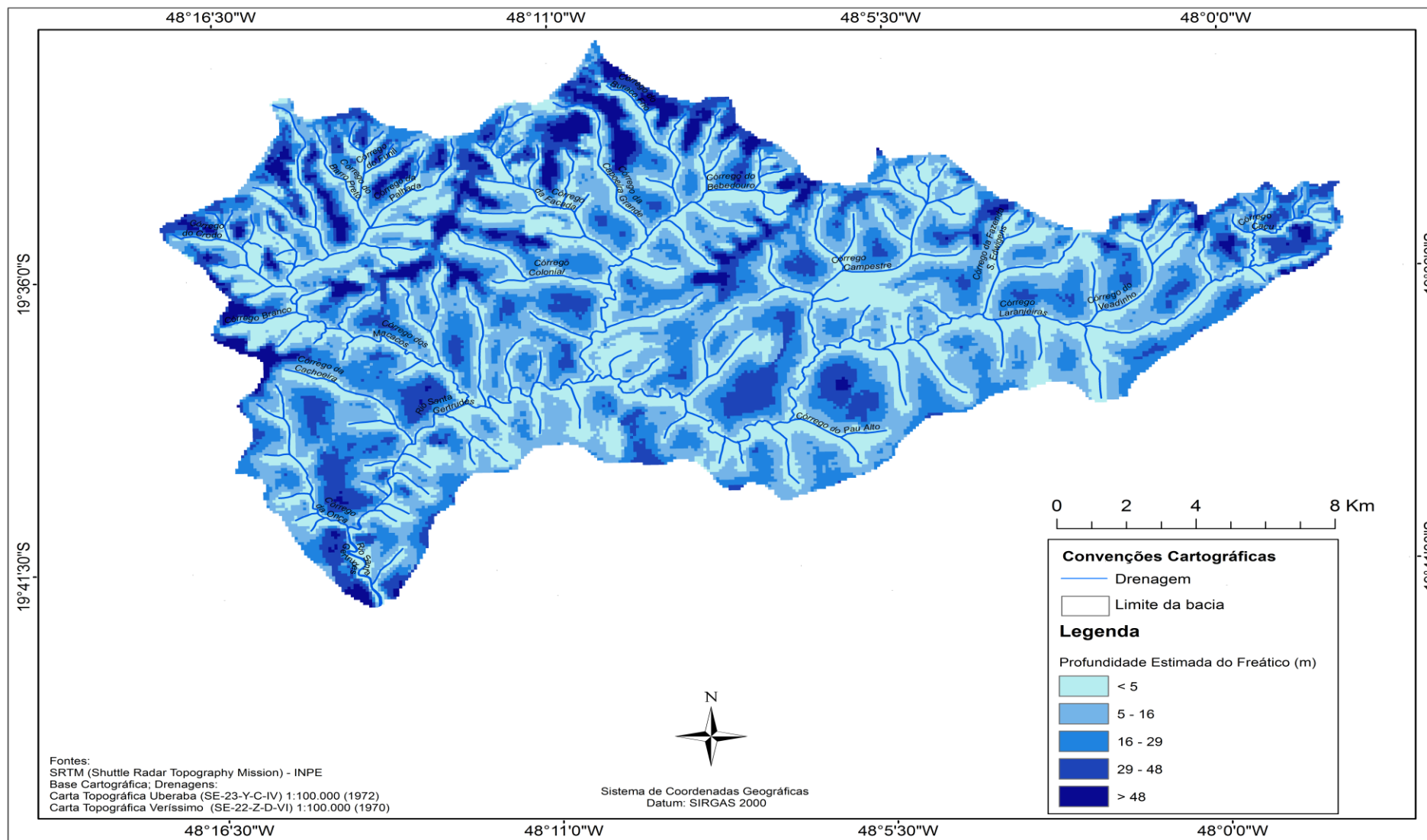


Figura 32. Mapa potenciométrico da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.

As áreas inseridas nas estruturas do modelado do relevo (compartimento) Pediplano Inumado e suas formas residuais apresentam as maiores profundidades do lençol freático. Já menores profundidades para o nível do freático são visualizadas nas proximidades dos canais de drenagem e nas vertentes com segmentos côncavos.

As maiores profundidades do lençol freático condicionadas aos usos dos solos podem gerar informações importantes, para o manejo e aplicação de técnicas conservacionistas mais pontuais. Os modelados do relevo (compartimentos) com profundidades em média de 5 a 15 m, dado ao uso dos solos, geram situações de risco de contaminação para as águas em subsuperfície.

Desta forma, o mapa potenciométrico, gera um bom parâmetro de referência para a profundidade do freático em relação a uma superfície hipotética. Somando-se a profundidade do freático, a textura média dos solos, as taxas de infiltração e o uso dos solos pode-se estimar o grau de vulnerabilidade do freático.

A profundidade média do lençol freático torna-se um instrumento de gestão em uma bacia hidrográfica para a tomada de decisão, quanto aos projetos a serem implementados no seu interior. Uma das maiores preocupações quanto ao freático é sua vulnerabilidade a contaminação. A contaminação do freático pode levar a contaminação por produtos agrícolas e/ou por produtos animais, havendo ainda a contaminação de consumidores humanos por tais produtos.

Segundo Foster (1993) o conceito de vulnerabilidade aplicado a aquíferos, particularmente para suas áreas de recarga direta, é naturalmente de alta fragilidade, e fundamenta-se em dois aspectos básicos: a) inacessibilidade hidráulica da penetração de contaminantes e b) capacidade de atenuação dos estratos ou pacote de rochas acima da zona saturada, uma vez que tais condições se tornam favoráveis à movimentação do produto contaminante ou poluidor até o aquífero, diz-se que o ambiente é de alta vulnerabilidade natural, o que, em outras palavras, pode ser entendido como uma área de alta fragilidade natural. Gomes *et al.* (2002) propôs um método simplificado de avaliação da vulnerabilidade natural do solo, como forma de subsidiar estudos relativos à movimentação de agroquímicos, sobretudo aqueles voltados à avaliação de riscos de contaminação da água subterrânea. Para tanto, considerou-se a relação entre condutividade hidráulica e declividade dos principais solos agrícolas brasileiros.

Para as classes de solos encontrados na bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes e em conformidade com a proposta Gomes *et al.* (2002), apresenta-se o Quadro 19, com as características elencadas para textura dominante, estrutura dominante, estabilidade dos agregados, profundidade e condutividade hidráulica.

Classe de Solos	Textura Dominante	Estrutura Dominante	Estabilidade dos Agregados	Profundidade	Condutividade Hidráulica
Latossolo Vermelho distroférico	Argilosa	Blocos Sub-angulares	Estável	Profundo	Alta
	Argilosa-Arenosa	Granular	Pouco Estável	Profundo	Média
	Arenosa	Granular	Pouco Estável	Profundo	Média
Latossolo Vermelho distróficos	Argilosa	Blocos Sub-angulares	Estável	Profundo	Alta
	Argilosa-Arenosa	Granular	Pouco Estável	Profundo	Média
	Arenosa	Granular	Pouco Estável	Profundo	Média
Latossolo Vermelho Amarelo distróficos	Argilosa	Blocos Sub-angulares	Estável	Profundo	Alta
	Argilosa-Arenosa	Granular	Pouco Estável	Profundo	Média/Alta
	Arenosa	Granular	Instável	Profundo	Alta
Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico	Argilosa	Blocos Sub-angulares	Estável	Pouco profundo	Média
	Argilosa-Arenosa	Blocos Sub-angulares	Estável	Pouco profundo	Média/Baixa

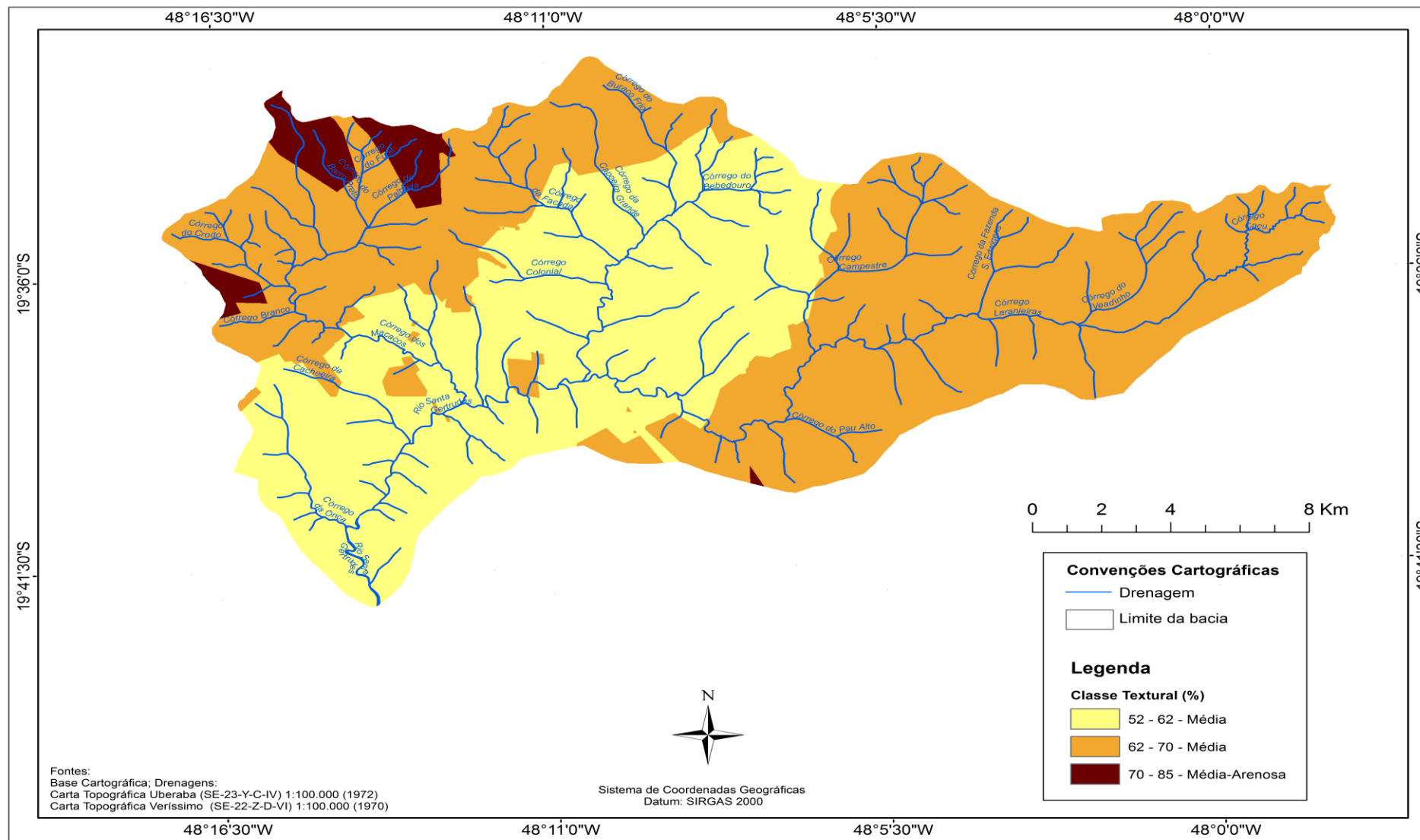
**Quadro 19.** Características dos grupos de solos.

Fonte: Adaptado de Gomes (2002).

Esses parâmetros acima elencados somados as características de declividade da área e as velocidades de condução de carga hidráulica via infiltração permitiram, conforme o uso do solo, a elaboração do mapa de susceptibilidade/vulnerabilidade de contaminação do freático para a bacia em estudo.

As classes de textura dos solos foram obtidas pela média e considerando a quantidade de areia total. A partir destas informações foi gerado o mapa de classes texturais para a areia e suas porcentagens média, conforme a Figura 33.





**Figura 33.** Mapa de classe textural para a areia total da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.

Para Gomes (2002) o potencial de infiltração é classificado como alto (em decorrência de alta condutividade hidráulica e da baixa declividade da área) indicando alta vulnerabilidade à contaminação do compartimento água do lençol freático, com possibilidade de chegada do produto contaminante até os corpos d'água mais profundos ou à zona saturada do aquífero.

Os dados obtidos pelos testes de infiltração nas áreas de pastagens, cana-de-açúcar e mata, foram usados como referência para a velocidade de infiltração de água nos solos, sob esses usos.

De acordo com Bernardo *et al.* (2006) o solo pode ser classificado de acordo com a sua velocidade de infiltração básica em: > 3,0 cm/h (VIB muito alta), de 1,5-3,0 mm/h (VIB alta), 0,5-1,5 mm/h (VIB média) e < 0,5cm/h (VIB baixa).

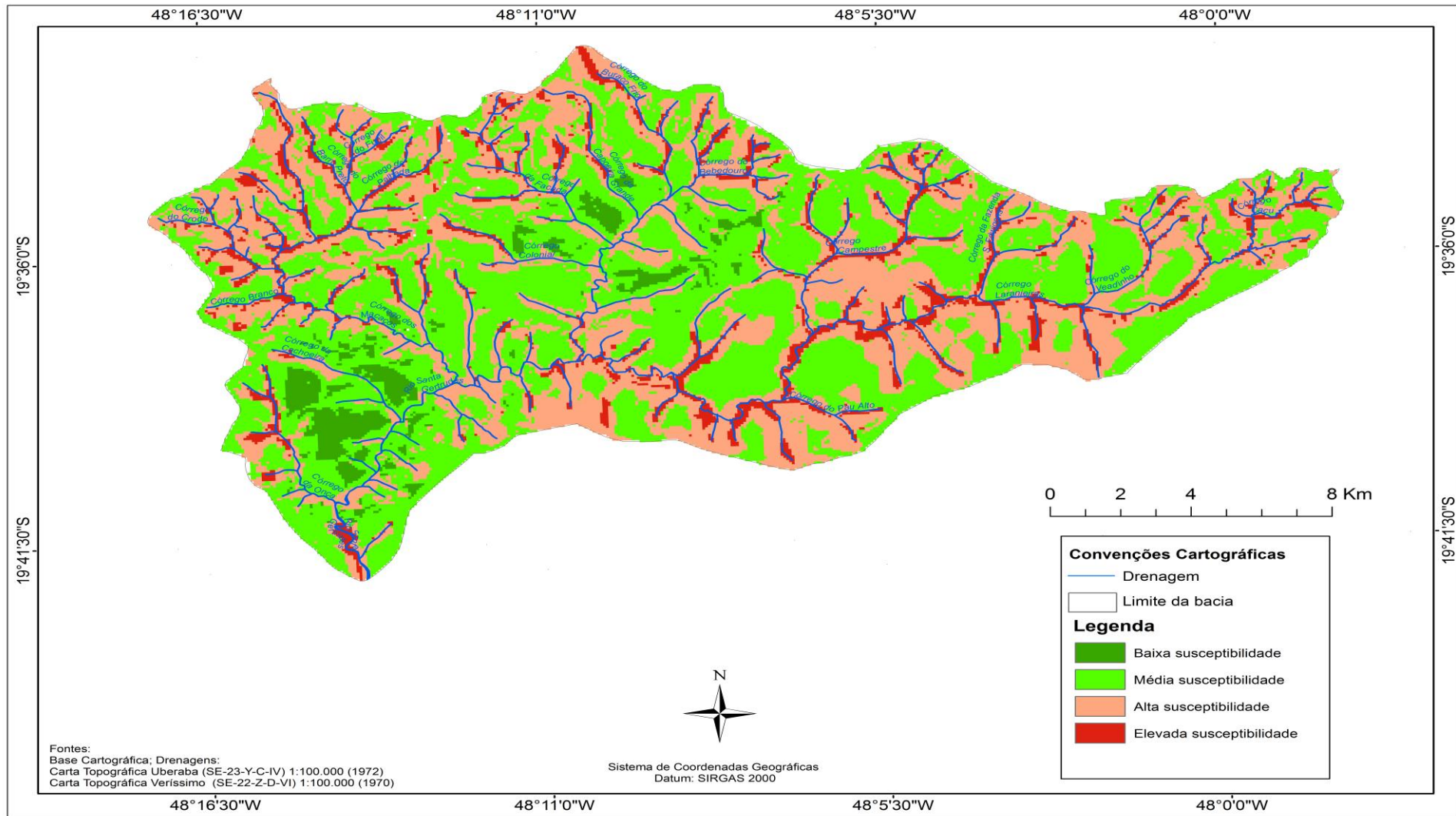
Os valores obtidos conforme o uso dos solos, classes dos solos, textura dos solos e velocidade de infiltração, são descritos no Quadro 20.

Uso do Solo	Classe do Solo	Textura	Velocidade de Infiltração
Pastagem	LVd	Franco-arenosa	Alta
Cana-de-açúcar	LVd	Franco-areno-argilosa	Alta
Mata	LVd	Franco-argilo-arenosa	Alta

**Quadro 20.** Velocidade de infiltração básica para as classes de solos e suas texturas

A velocidade de infiltração na área de estudo foi considerada alta segundo a classificação proposta por Bernardo *et al.* (2006), uma vez que a classe textural influenciou diretamente nos resultados obtidos nos testes.

Os resultados dos testes de infiltração por usos dos solos permitiram classificar a velocidade de infiltração da área de estudo. Esses dados somados as informações de textura dos solos, subsidiaram a elaboração do mapa de vulnerabilidade de contaminação do freático. O resultado deste cruzamento de dados pode ser observado na Figura 34.



**Figura 34.** Mapa de susceptibilidade/vulnerabilidade de contaminação do lençol freático na bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.

Conforme visualizado na Figura 34, a bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes apresenta média e alta susceptibilidade de contaminação do lençol freático (Tabela 7).

**Tabela 7.** Classes de vulnerabilidade/susceptibilidade a contaminação do lençol freático

<b>Susceptibilidade de Contaminação do Lençol Freático</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
Baixa Susceptibilidade	11.42,58	11,43	3,54
Média Susceptibilidade	15.677,10	156,77	48,52
Alta Susceptibilidade	12.842,11	128,42	39,74
Elevada Susceptibilidade	2.650,80	26,51	8,20
<b>Total</b>	<b>3.2312,59</b>	<b>323,13</b>	<b>100,00</b>

A soma das áreas com média e alta susceptibilidade a contaminação chega a 88,26% da área da bacia em estudo, indicado que cuidados específicos devem ser utilizados no manuseio de agroquímicos para evitar a contaminação e maiores danos ao meio ambiente. Considerando ainda, o uso da fertirrigação como a vinhaça, que pode apresentar alto poder contaminante, dada as características dos solos. Em pesquisas realizadas por Silva (2007) em solos dos cerrados, foram demonstrados que a vinhaça promove a alcalinização do solo e que, doses iguais ou superiores a 1200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> favorecem o aumento da concentração de potássio no efluente e a formação de complexos de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> com ânions de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> e matéria orgânica, o que facilita a dispersão e a lixiviação dos solos.

Segundo Ludovice (1996) os solos com alto teor de argila tendem a reduzir a demanda química de oxigênio produzida pela vinhaça, o que pode diminuir os impactos da vinhaça sobre as águas percolantes nos solos. Assim, as características dos solos como o tipo, posicionamento topográfico e capacidade de infiltração devem ser consideradas para fins de avaliação do potencial poluidor da vinhaça nos solos e águas, bem como para indicar a vulnerabilidade natural das terras a este tipo de poluente.

Lyra *et al.* (2003) verificou, em trabalhos de observação do escoamento superficial da vinhaça aplicada a diferentes tipos de solo, que após fertirrigação, os valores medidos no lençol freático não indicaram variações significativas, mas, sim, eficiência do sistema solo na retenção de íons contidos na vinhaça. Para esses autores a qualidade da água engloba uma série de parâmetros contemplados com as devidas concentrações permitidas pela legislação. Eles observaram, ainda, que o impacto sobre

a qualidade da água do lençol foi consideravelmente minimizado pelo solo, mas não o suficiente para garantir o atendimento de todas as exigências ambientais.

Os aspectos texturais dos solos da bacia em estudo, com predomínio da textura arenosa e dada as condições de profundidade do lençol freático, são decisivos nos usos dos solos. A observação quanto ao uso dos solos poderá determinar a maior ou menor vulnerabilidade de contaminação das águas em subsuperfície.

#### **5.4 Potencialidade ambiental**

O potencial ambiental de uma dada área pode ser entendido como as características naturais apresentadas pelo ambiente e sua condição de equilíbrio entre as variáveis que compõem o sistema natural. As variáveis envolvidas em uma bacia hidrográfica podem ser avaliadas de forma integrada e dentro condições de equilíbrio dinâmico. As perturbações sofridas em função de atividade antrópicas podem levar a uma nova condição de readaptação dos sistemas, em função das alterações de fluxos de matéria e energia. Christofollett (1999) com suas contribuições através da teoria sistêmica nos estudos ambientais, avaliou neste sentido que a paisagem é a resultante dos diversos elementos que a compõe, e tendo seu equilíbrio regulado pelos fluxos de matéria e energia.

Campos (2010) considerou ser necessário que haja o conhecimento da dinâmica do sistema ambiental e a percepção da importância das interações elementares, da organização espacial e do limite de carga sustentável pelo ambiente, tal que isto possa proporcionar a utilização dos recursos disponíveis no decorrer do tempo, com eficiência. Leff (2002) considerou a importância de identificar as vias pelas quais estes esforços possam desembocar em caracterizações operativas, para o estudo de casos atuais e no desenvolvimento de metodologias para a gestão ambiental, delimitando unidades ambientais de produção e manejo sustentável dos recursos naturais, que integrem os diversos processos naturais e sociais que conformam sua estrutura e determinam seu funcionamento produtivo.

Olszewski *et al.* (2011) considerou que a descrição de características morfológicas e hidrológicas de uma bacia hidrográfica, aliada ao conhecimento do uso do solo, auxilia o processo de avaliação de possíveis efeitos de perturbação das

características do ecossistema, em suas condições naturais de equilíbrio, visando estabelecer parâmetros adequados de exploração pelo homem.

Dentro das perspectivas de avaliação do potencial ambiental para a bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes, foram avaliadas as características físicas das variáveis ambientais no seu interior, como: geologia, geomorfologia, solos, perdas e tolerância de perdas por erosão conforme Quadro 21. Após as análises destas variáveis e com valores de pesos estabelecidos para as mesmas, e o uso de um sistema de informações geográficas (SIG), foi gerado o mapa de potencialidade ambiental para a bacia em estudo.

Mapa (análise multicritério)	Mapa fisiográfico/temático
Mapa de Potencialidade Ambiental	Mapa de Geomorfologia
	Mapa de Geologia
	Mapa de Solos
	Mapa de Perda de Solos x Tolerância a Perda

**Quadro 21.** Variáveis do meio físico que compõem os mapas temáticos e mapas de análise de multicritério ponderada.

De acordo com cada mapa temático foi possível definir o grau de influência relativa em porcentagem, atribuindo-se ainda, um peso para cada classe mapeada.

Os valores atribuídos variaram em uma escala de 1 a 4 e representam critérios qualitativos conforme Quadro 22.

Peso	Critério
1	Baixo
2	Médio
3	Alto
4	Elevado

**Quadro 22.** Critérios qualitativos para definição de pesos para elaboração do mapa de potencialidade ambiental

Vale destacar que para a aplicação da ferramenta de análise multicritério foi necessário converter os mapas temáticos do tipo vetor em mapas temáticos do tipo “raster”. Todos os mapas foram submetidos ao processamento de reclassificação dos valores de “pixels”. Desta feita, o cruzamento dos mapas temáticos citados no Quadro 01 com o intuito de confeccionar o mapa de potencialidade ambiental receberam os seguintes pesos de influência e grau de influência, conforme o Quadro 23.

Mapas temáticos	% Influência	Classes	Peso
Geomorfologia	25	Dissecado Estrutural de topo convexo	2
		Dissecado Homogêneo de topo convexo	3
		Dissecado em Ravina	4
		Pediaplano Degradado Inumado	2
		Rampa de Colúvio	1
Geologia	25	Formação Marília	1
		Formação Uberaba	2
		Formação Serra Geral	3
Solos	25	Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (LVAd11)	1
		Latossolo Vermelho Amarelo (LVD1)	4
		Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVD1)	4
		Latossolo Vermelho Distroférrico (LVDF2)	2
		Argissolo Vermelho-amarelo (PVAe17)	3
Perda vs. Tolerância	25	Sem perda	1
		0 – 15 ton/ha/ano	2
		15 – 50 ton/ha/ano	3
		> 50 ton/ha/ano	4

**Quadro 23.** Grau de influência e peso de classes para os mapas temáticos na elaboração do mapa de potencialidade ambiental.

Os valores estabelecidos para os pesos das variáveis que compõem cada mapa utilizado para o cruzamento das informações, foram referenciados a partir de estudos realizados por Crepani *et al.* (2008) e expressos nos quadros 24 a 25.

- Geomorfologia: conforme as Unidades do Modelado do relevo e seu grau de estabilidade do meio, conforme o Quadro 24.

Unidades do Modelado do Relevo	Estabilidade do Meio	Peso
Pediaplano Inumado–Pgi	Estável/Transição	2
Rampa de Colúvio–Arc	Estável	1
Dissecado Estrutural com Topo Convexo–Dec22	Estável/Transição	2
Dissecado Ravinas–DR	Instável	3
Dissecado Homogêneo–Topo Tabular–Dt21	Estável/Transição	2

**Quadro 24.** Valores dos pesos atribuídos as unidades do modelado do relevo para a bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes. Fonte: Adaptado de Crepani *et al.* (2008).

- Geologia: os valores dos pesos para as unidades geológicas mapeadas na área, conforme Quadro 25.

Geologia	Grau de Estabilidade	Peso
Formação -Marília	Média	1
Formação -Uberaba	Baixa	2
Serra Geral-Basalto	Alta	3

**Quadro 25.** Valores dos pesos atribuídos as unidades geológicas para a bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes. Fonte: Adaptado de Crepani *et al.* (2008).

- Solos: os pesos atribuídos as classes de solos, foram estabelecidos a partir da tolerância dos mesmos a perda de solos estão conforme o Quadro 26.

Classe de Solos	Tolerância a Perda	Peso
LVAd11	Baixa	1
LVd1	Elevada	4
LVd11	Elevada	4
LVdf2	Média	2
PVAe17	Alta	3

LVad-Latossolo Vermelho Amarelo distrófico; LVd-Latossolo; Vermelho distrófico; LVdf-Latossolo Vermelho distroférico; PVAe-Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico.

**Quadro 26.** Valores dos pesos atribuídos as classes de solos na bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes. Fonte: Adaptado de Oliveira (2004).

- O mapa de tolerância de perdas de solos foi cruzado com o mapa de perda de solos, gerando polígonos com valores do saldo entre o valor tolerado para a perda de solos conforme a classe de solo e a perda de solos encontrada. Os valores apresentados quantificaram a diferença entre o quanto se perde em relação ao quanto é tolerável. O saldo do resultado foi reclassificado em 4 classes conforme observado no Quadro 27.

Diferença entre a perda de solos e sua tolerância a perda	Peso
Sem perda	1
0-15 ton/ha/ano	2
15-50 ton/ha/ano	3
> 50 ton/ha/ano	4

**Quadro 27.** Valores dos pesos atribuídos para as perdas de solos na bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.



O resultado destes cruzamentos dos mapas e dados acerca das características fisiográficas elencadas para da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes, são apresentadas na Tabela 8 e na Figura 35.

**Tabela 8.** Classificação das potencialidades ambientais na bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.

<b>Potencialidade Ambiental</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
Baixa Potencialidade	538,66	5,39	1,67
Média Potencialidade	11.568,38	115,68	35,80
Alta Potencialidade	19.689,13	196,89	60,93
Elevada Potencialidade	516,41	5,16	1,60
<b>Total</b>	<b>32.312,59</b>	<b>323,13</b>	<b>100,00</b>

Verificou-se que médias e altas potencialidades ambientais predominam na área de estudo, as quais somadas chegam a 96,73%, indicando que naturalmente a bacia hidrográfica apresenta um bom potencial ambiental. Em meio a esse potencial ambiental, políticas de ocupação deveriam ter sido implementadas para um melhor aproveitamento destas áreas e, ainda, para evitar conflitos de uso dos solos. Dadas as características elencadas para essas paisagens, os solos e os usos destinados a elas, podem alterar de forma substancial as condições ambientais e dinâmicas deste sistema natural. Conforme mencionou Ratcliffe (1971) a fragilidade é inerente a um ecossistema frente às pressões ambientais sofridas, em combinação com a potencial ameaça que poderia alterar o equilíbrio existente. Desse modo, qualquer perturbação no relevo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos rescinde o equilíbrio dinâmico, podendo comprometer a funcionalidade do ecossistema.

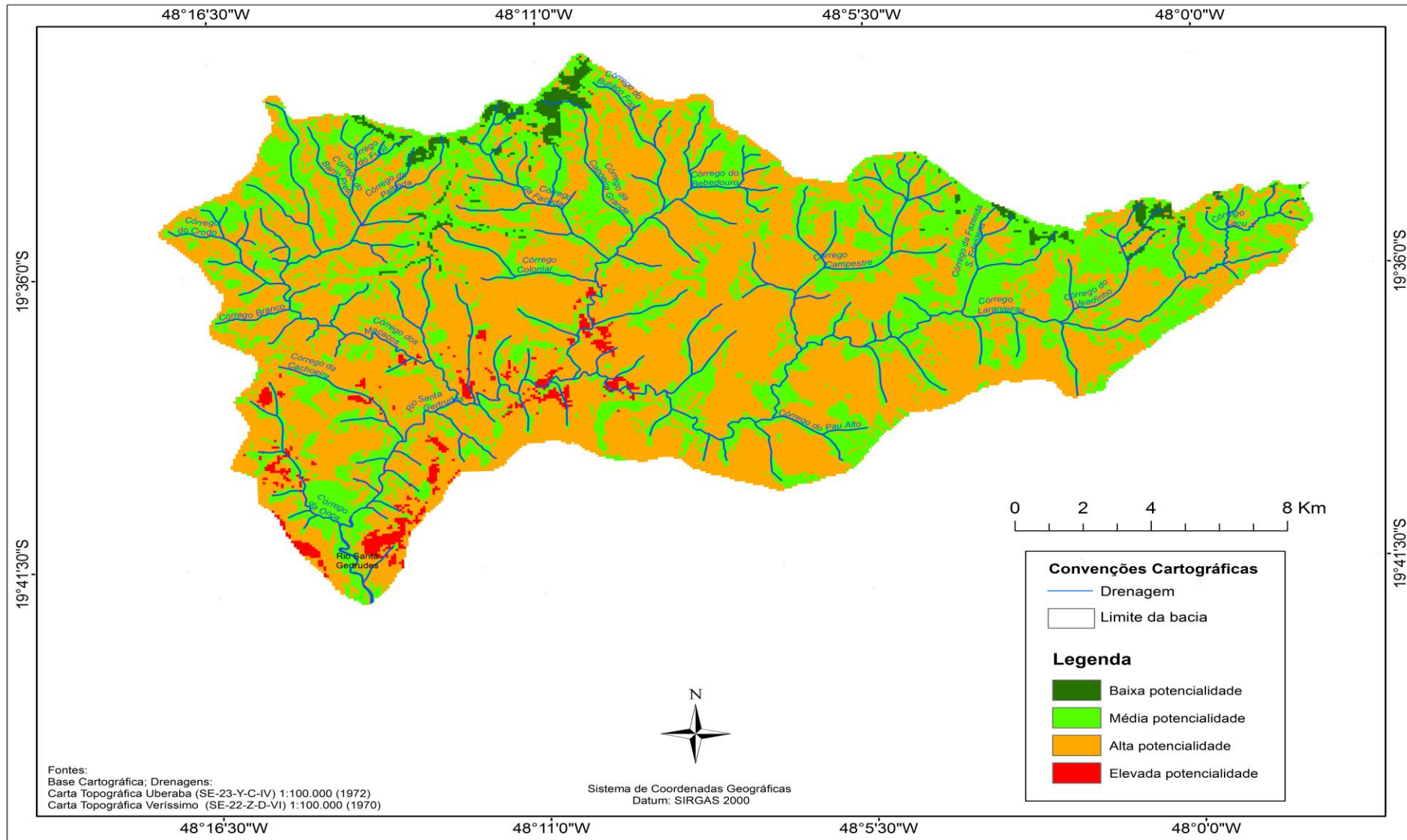


Figura 35. Mapa de potencialidade ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.

## 5.5 Fragilidade ambiental

Estudos ambientais voltados para a análises de fragilidades ambientais têm sido amplamente utilizados para o planejamento ambiental, zoneamentos e ordenamentos do território. Segundo Ross (2000), a análise integrada de um determinado território pressupõe, o entendimento da dinâmica de funcionalidade do ambiente natural com ou sem as intervenções humanas. Assim, a elaboração do zoneamento ambiental deve partir da adoção de uma metodologia de trabalho baseada na compreensão das características e da dinâmica do ambiente natural e do meio sócio econômico, visando buscar a integração das diversas disciplinas científicas específicas por meio de uma síntese do conhecimento acerca da realidade pesquisada.

A fragilidade dos ambientes naturais deve ser avaliada quando se pretende aplicá-la ao planejamento territorial ambiental. Baseando-se no conceito de Unidades Ecodinâmicas preconizadas por Tricart (1977), uma concepção ecológica, a qual o ambiente é analisado sobre o prisma da Teoria dos Sistemas que parte do pressuposto de que na natureza as trocas de energia e matéria se processam por meio das relações de equilíbrio dinâmico. Esse equilíbrio, entretanto, é frequentemente alterado pelas intervenções do homem nos diversos componentes da natureza, gerando estado de desequilíbrios temporários ou até permanentes. Diante disso Tricart (op. cit.) definiu que os ambientes, quando estão em equilíbrio dinâmico são estáveis, quando em desequilíbrio são instáveis. Esses conceitos foram utilizados por Ross (1990), oportunidade que inseriu novos critérios para definir as Unidades Ecodinâmicas estáveis e unidades Ecodinâmicas instáveis, as quais vão definir as fragilidades potenciais e emergentes do meio. Para a elaboração do mapa de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes, foram utilizados os mapas de uso dos solos, susceptibilidade/vulnerabilidade de contaminação do lençol freático e o mapa de potencialidade ambiental, conforme o Quadro 28.

Mapa (análise multicritério)	Mapa fisiográfico/temático
Mapa de Fragilidades	Mapa de Uso do Solo
	Mapa de Susceptibilidade/Vulnerabilidade Natural de Contaminação do Freático Livre
	Mapa de Potencialidade Ambiental

**Quadro 28.** Variáveis do meio físico que compõem os mapas temáticos e mapas de análise de multicritério ponderada

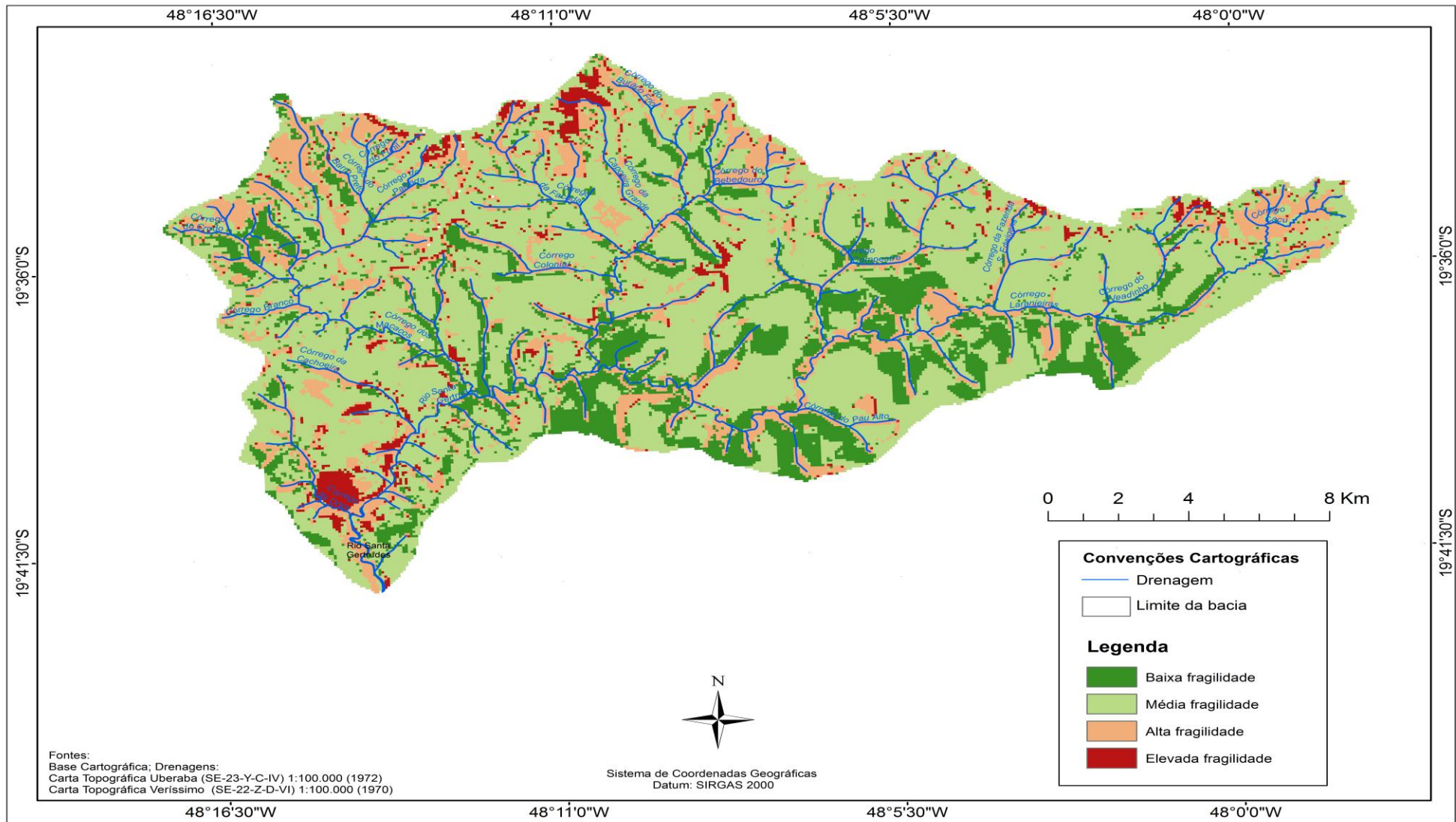
O uso dos referidos mapas pautou-se em atribuição de pesos para uma análise de multicritérios, conforme o Quadro 29 abaixo.

Mapas temáticos	% Influência	Classes	Peso
Mapa de Susceptibilidade Natural de Contaminação do Freático Livre	30	Baixa susceptibilidade	1
		Média susceptibilidade	2
		Alta susceptibilidade	3
		Elevada susceptibilidade	4
Mapa de Potencialidade Ambiental	30	Baixa potencialidade	1
		Média potencialidade	2
		Alta potencialidade	3
		Elevada potencialidade	4
Mapa de Uso do Solo	40	Agricultura	3
		Pastagem	2
		Fragmentos Florestais	1

**Quadro 29.** Valores dos pesos atribuídos aos mapas para a análise de multicritério

O peso maior atribuído ao mapa de uso dos solos justifica-se em função da estabilidade que a vegetação pode impor ao ambiente, e considerando o avanço da agricultura na bacia hidrográfica em estudo. Desta forma a maior ou menor estabilidade dos compartimentos elencados, está na dependência do uso dado aos solos da área.

As informações geradas tiveram como referência as unidades do modelado do relevo, que permitiram elencar os níveis de estabilidade de cada compartimento do modelado. Segundo Ross (2000, 1994) é importante ressaltar que o mapeamento geomorfológico inicial subsidia a elaboração da carta de fragilidade ambiental. A geomorfologia juntamente com o substrato rochoso e os tipos de solos, os quais são componentes da carta geomorfológica, definem, a priori, a fragilidade dos elementos que sustentam os usos e coberturas em determinados ambientes. As unidades de fragilidade ambiental para a bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes são apresentadas na Figura 36.



**Figura 36.** Mapa de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes.

A Figura 36 apresenta uma fragilidade considerável para a área em estudo, somadas as médias e altas fragilidades, ocupam 78% da superfície. Esses dados podem ser visualizados na Tabela 9. Se comparada com a potencialidade ambiental da área ocorre aparentemente uma incongruência, mas ao analisar de forma mais integrada as informações, nota-se que a alteração do uso do solo leva a uma maior instabilidade/fragilidade.

**Tabela 9.** Áreas e suas fragilidades ambientais na bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes-Veríssimo– MG

<b>Fragilidade</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
Baixa Fragilidade	5.646,19	56,46	17,5
Média Fragilidade	18.905,93	189,06	58,5
Alta Fragilidade	6.435,46	64,35	19,9
Elevada Fragilidade	1.324,99	13,25	4,1
<b>Total</b>	<b>32.312,58</b>	<b>323,12</b>	<b>100,0</b>

As fragilidades encontradas na bacia apresentam não só o quanto as mesmas são elevadas ou não a determinados usos do solo, mas apontam também a vulnerabilidade a contaminação das águas que percolam nos solos em função do uso de agroquímicos. Assim, o mapa de fragilidade deve acompanhar o mapa de potencialidade ambiental para uma análise de forma mais integrada das informações para subsidiarem as tomadas de decisões quanto ao uso dos solos.

Segundo estudos realizados por Valle Júnior (2008) na bacia do Rio Uberaba, a mesma apresenta severos conflitos de uso em relação aos solos, os estudos apontam que os principais conflitos estão sendo gerado entre o uso indicado segundo o autor e o uso dado. Os conflitos indicam a sobreposição da agricultura às áreas de uso indicado para as pastagens, o que está levando a uma forte degradação dos solos. A bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes sendo tributária direta da bacia do rio Uberaba, apresenta os mesmos conflitos postos pelo referido autor, o que está levando a uma redução do seu potencial de uso e degradando os solos.

## 5.6. Os Compartimentos da paisagem e a matriz ambiental

Conforme apresentado no mapa de geomorfologia da bacia do Ribeirão Santa Gertrudes, os compartimentos da paisagem e sua individualização apresentam as características da dinâmica dos mesmos e as suas fragilidades. Na porção norte da bacia a unidade ocupada pelo pediplano inumado, apresenta para fragilidade média/alta, as áreas onde as declividades aumentam, potencializam a ação do escoamento pluvial, ocasionando altas taxas de perda de solos, que em média estão próximas a  $50 \text{ ton}^{-1} \text{ h a}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  acima das taxas de tolerância para as classes de solos encontradas no compartimento. O uso dos solos pode influenciar nestas taxas e conseqüentemente permitir uma melhora nas taxas de infiltração. Os topos relativamente planos deste compartimento estão sendo ocupados pela cultura da cana-de-açúcar, o que pode alterar de forma significativa as taxas de infiltração e a reposição de água no lençol freático comprometendo as nascentes que estão localizadas na base da escarpa.

A unidade rampa de colúvio apresenta média fragilidade apresentando um meio em transição. Suas formações superficiais caracterizadas como deposições do compartimento pediplano inumado, são relativamente grosseiras e sobre postos as rochas da formação Uberaba, criando linhas de contato gradacional. A existência de material mal consolidado junto aos solos formados modifica a velocidade de infiltração, o que a torna mais lenta em profundidade, criando ambientes para a exudação do lençol freático e conseqüentemente nascentes nas encostas. Essa baixa profundidade do freático potencializa a contaminação das águas em subsuperfície, o que indica a necessidade de cuidados quanto ao uso dos solos.

Na porção noroeste da bacia o compartimento dissecado em ravinas, apresentou a maior instabilidade da área com predomínio dos meios em transição e instável, indicando a maior fragilidade ambiental da bacia. As ravinas e voçorocas apontam para a ruptura de equilíbrio dinâmico entre infiltração e escoamento. A substituição da vegetação nativa para o uso de pastagens adiciona a este meio uma grande instabilidade e fortes restrições ao uso por pastos.

O compartimento dissecado homogêneo com topo convexo está localizado na porção centro-oeste na área estudada, sendo o maior compartimento individualizado e com transição do meio, onde conflitos entre morfogênese e pedogênese são

observados, apresenta média fragilidade ambiental com uso predominante dos solos pela cultura de cana-de-açúcar.

Localizado na porção sul da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Gertrudes, o compartimento dissecado estrutural com topo convexo apresenta em suas vertentes em direção aos topos uma menor fragilidade ambiental, sendo a mesma mais alta em direção ao canal do rio principal, dada ao aumento das declividades e o pacote menor de material intemperizado. Nesta área do compartimento, as taxas de perda de solos se elevam e ficam acima das taxas de tolerância de perdas para a classe de solo.

A sistematização das informações em uma proposta de matriz auxilia na organização das informações elencadas para as áreas pesquisadas, e facilita a visualização de dados para a tomada de decisão em projetos de exploração dos recursos naturais inseridos em uma bacia hidrográfica.

Para a bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Gertrudes as classes de fragilidade ambiental ficam em média e baixa, sendo os compartimentos mais fragilizados os dissecados em ravina e pediplano inumado.

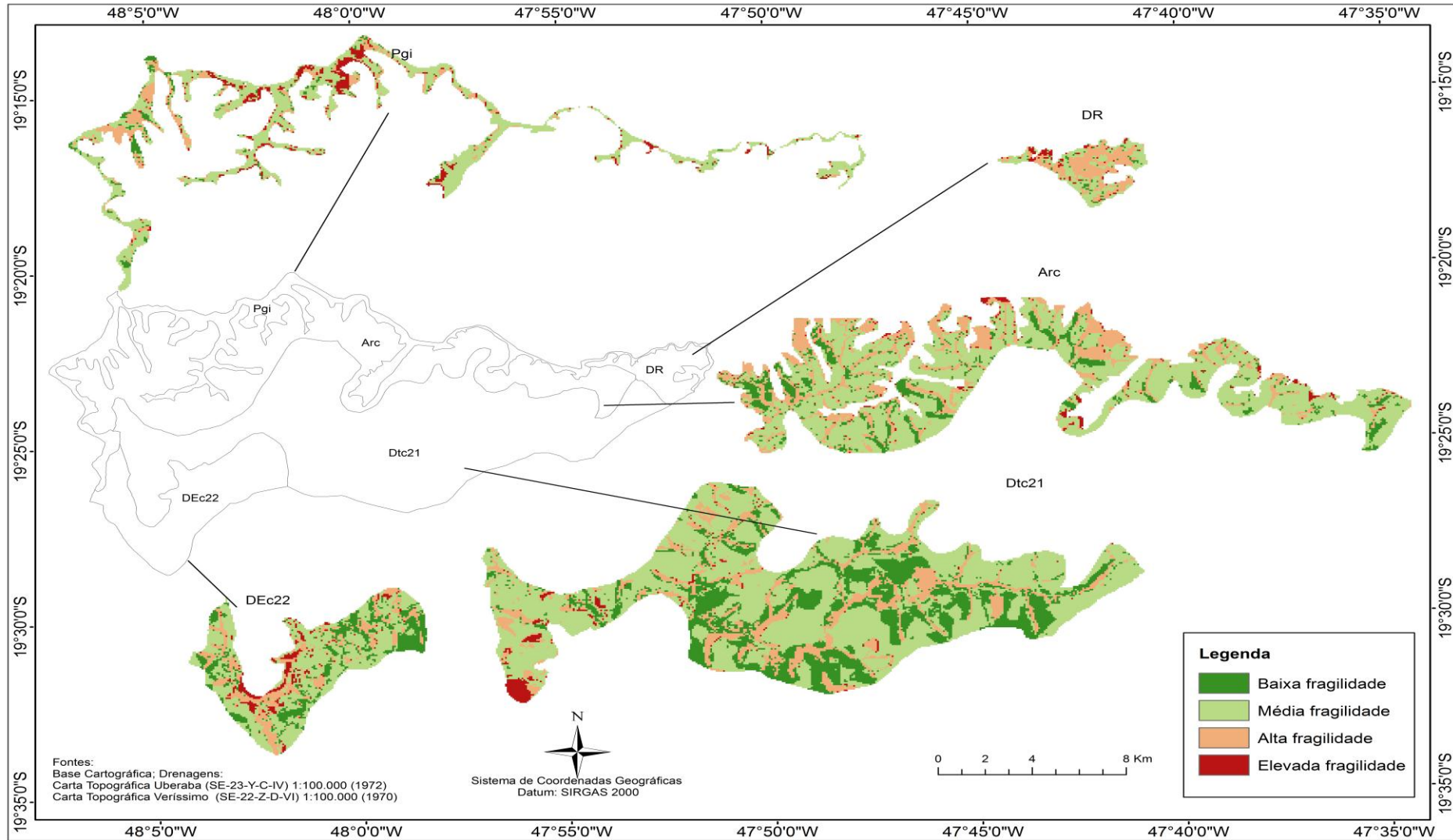
Para facilitar a interpretação das informações do mapa de compartimento da paisagem e suas classes de fragilidade, foi elaborada uma proposta de matriz.

Segundo IBAMA (2001) as matrizes de interações são técnicas bidimensionais que relacionam ações com fatores ambientais e, embora possam incorporar parâmetros de avaliação, são métodos basicamente de identificação. A interação entre os fatores dos eixos opostos permite estabelecer o impacto. As matrizes podem ser simples ou complexas, dependendo da quantidade de informações com que se trabalha.

Os dados obtidos através do presente estudo foram apresentados em forma de matriz, com o intuito de otimizar a visualização das informações.

Os compartimentos da paisagem seguiram a proposta da base geomorfológica obtida a partir do modelado do relevo e suas unidades mapeadas. Desta forma, a referência para a organização das informações foram as unidades do modelado do relevo e os diferentes elementos do meio físico inseridos no seu interior, conforme a Figura 37.





**Figura 37.** Mapa de fragilidade ambiental dos compartimentos da paisagem da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Gertrudes

A proposta da matriz ambiental para os compartimentos da paisagem foi estruturada de forma a facilitar a leitura das mesmas a partir de letras e números com seus respectivos significados, contendo seis casas a serem preenchidas, conforme demonstrado nos Quadros 30 e 31.

<b>1ª Casa Valor numérico Geologia</b>	<b>2ª Casa Valor numérico Solos</b>	<b>3ª Casa Letra Fragilidade Ambiental</b>	<b>4ª Casa Letra Uso dos solos</b>	<b>5ª Casa Letra Estabilidade do Meio</b>	<b>6ª Casa Valor numérico - Classe de Conflito</b>
Quando ocorrer mais de uma classe para essa unidade colocar entre parêntese e separar uma classe da outra por traço	Quando ocorrer mais de uma classe para essa unidade colocar entre parêntese (-) e separar uma classe da outra por traço	Quando ocorrer mais de uma classe para essa unidade colocar entre colchetes [-] e separar uma classe da outra por traço	Quando ocorrer mais de uma classe para essa unidade, colocar entre parêntese e separar uma classe da outra por traço, uso de letras maiúsculas	Quando ocorrer mais de uma classe para essa unidade colocar entre parêntese (-) e separar uma classe da outra por traço, uso de letras maiúsculas	Quando ocorrer mais de uma classe para essa unidade colocar entre parêntese (-) e separar uma classe da outra por traço

**Quadro 30.** Proposta de chave para interpretação da matriz

<b>Unidade do Modelado (Compartimentos)</b>	<b>Geologia</b>	<b>Solos</b>	<b>Fragilidade Ambiental Predominante (%)</b>	<b>Uso do Solo</b>	<b>Estabilidade do Meio</b>	<b>Classe do Conflito</b>
Pgi	1	(1-3)	[65 MF]	(M-P)	2	1
Arc	2	3	[62 MF]	(M-P)	1	1
DR	1	4	[46 MF]	(M-P)	3	2
Dtc21	2	3	[58 MF]	(P-CA)	2	1
DEc22	(2-3)	(2-3)	[53 MF]	(M-P-CA)	2	1

**Quadro 31.** Matriz ambiental proposta para a área de estudo.

A proposta de chave conta também com o significado dos números e/ou letras que compõem as casas da matriz ambiental, conforme Quadros 32 e 33.

Como pode ocorrer a presença de dois ou mais grupos de elementos em uma unidade avaliada, para não gerar conflito entre as informações o uso de parênteses e colchetes foram inseridos na segunda casa e na terceira casa respectivamente para evitar que o valor da porcentagem fique solto.

<b>Chave de Interpretação</b>		
<b>1ª Casa</b>	<b>Geologia</b>	<b>Valores de Referência</b>
	Formação Marília	1
	Formação Uberaba	2
	Formação Serra Geral	3
<b>2ª Casa</b>	<b>Solos</b>	<b>Valores de Referência</b>
	LVA <sub>d</sub> 11	1
	LV <sub>d</sub> f2	2
	LV <sub>d</sub> 1	3
	PVA <sub>e</sub> 17	4
<b>3ª Casa</b>	<b>Fragilidade Ambiental</b>	<b>Valores de Referência</b>
	Baixa	BF
	Média	MF
	Alta	AF
	Elevada	EF
<b>4ª Casa</b>	<b>Uso do solo</b>	<b>Valores de Referência</b>
	Mata	M
	Pastagem	P
	Cana-de-açúcar	CA
<b>5ª Casa</b>	<b>Estabilidade do Meio</b>	<b>Valores de Referência</b>
	Estável	1
	Transição	2
	Instável	3

**Quadro 32.** Significado para os valores alfa numéricos/qualitativos da matriz ambiental

	Classe do Conflito entre o Uso	Características	Recomendações
6ª Casa	<b>Conflito-Classe 1</b>	Apresentam riscos ou limitações significativas quando usadas para culturas anuais e pastagens, seu uso deve ser norteado pela implementação de técnicas conjuntas de conservação do solo (caráter vegetativo e mecânico).	<b>Plantio em nível:</b> visando a prevenção e ou diminuição da erosão entressulcos; resultando em maior absorção de água pelo solo; reduzindo a perda de terra, água e fertilizantes, além de otimizar as operações com máquinas agrícolas. <b>Adoção</b> de sistema de preparo do solo que não promovam a pulverização excessiva do solo (cultivo mínimo, uso de escarificadores, etc.), de forma a deixar todo o material residual na superfície ou parcialmente incorporado ao solo. <b>Manutenção e ou melhoramento</b> das condições físicas do solo: mediante adoção de rotação de culturas, incrementando-se a produtividade aliada à conservação dos solos. <b>Faixas de vegetação permanente:</b> promove uma cobertura vegetativa que previne a erosão hídrica; provê forragem e semente, além de comida e proteção para a fauna silvestre.
	<b>Conflito Classe 2</b>	Terras impróprias para cultivos intensivos, mas ainda adaptadas para pastagem, reflorestamento ou preservação ambiental.	<b>Plantio em nível:</b> visando a prevenção e ou diminuição da erosão entressulcos; resultando em maior absorção de água pelo solo; reduzindo a perda de terra, água e fertilizantes, além de otimizar as operações com máquinas agrícolas. <b>Terraços em nível ou gradiente:</b> em função dos solos é extremamente necessário nos solos declivosos, visto que reduz o comprimento de rampa, prevenindo a concentração de água, e transportando lentamente seu excesso. <b>Distribuição</b> de animais, por unidade de área, observando-se sua capacidade de suporte da pastagem e pastoreio rotacional. <b>Utilização</b> e trato das pastagens de acordo com o tipo de exploração pecuária
	<b>Conflito Classe 3</b>	Terras impróprias para cultivos intensivos e pastagens, mas ainda adaptadas para reflorestamento ou preservação ambiental.	<b>Plantio em nível:</b> visando a prevenção e ou diminuição da erosão laminar; resultando em maior absorção de água pelo solo; reduzindo a perda de terra, água e fertilizantes, além de otimizar as operações com máquinas agrícolas. <b>Adoção</b> de sistema de preparo do solo que não promovam a pulverização excessiva do solo (cultivo mínimo, uso de escarificadores, etc.), de forma a deixar todo o material residual na superfície ou parcialmente incorporado ao solo. <b>Manutenção e/ou melhoramento</b> das condições físicas do solo: mediante adoção de rotação de culturas, incrementando-se a produtividade aliada à conservação dos solos. <b>Faixas</b> de vegetação permanente: promove uma cobertura vegetativa que previne a erosão hídrica; provê forragem e semente, além de comida e proteção para a fauna.

**Quadro 33.** Significado para as classes de conflito

Fonte: Adaptado de Valle Júnior (2008).

## 6. CONCLUSÕES

Os compartimentos da paisagem geraram informações bem pontuais, as quais devem subsidiar os proprietários de terras e o poder público na elaboração de projetos integrados para o desenvolvimento regional.

O diagnóstico do potencial ambiental da bacia em estudo expõe o tipo de uso dos solos como um forte condicionador do equilíbrio e/ou estabilidade do sistema.

Há a necessidade de uma proposta de um sistema específico de conservação do solo e da água, em áreas com uma nítida substituição das pastagens por lavouras de cana-de-açúcar, principalmente em solos que apresentam fragilidades que são potencializadas com determinados usos destes recursos naturais.

O uso dos solos e as características texturais em associação com a profundidade do lençol freático geram condições favoráveis à contaminação da água do freático livre, em função da infiltração.

Uma matriz ambiental proporciona um melhor entendimento do ambiente em uma bacia hidrográfica, gerando bases para um uso mais racional dos recursos naturais disponíveis no seu interior.

Estudos em escalas de maiores detalhes possibilitam um melhor entendimento da dinâmica ambiental em espaços já alterados pelas atividades antrópicas.

## 7. REFERÊNCIAS

ABDALA, V. L. **Diagnóstico hídrico do Rio Uberaba-MG como subsídio para a gestão das áreas de conflito ambiental**. 2012. 64 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2012.

ABDALA, V. L. **Zoneamento ambiental da bacia do alto curso do rio Uberaba-MG, como subsídio para gestão do recurso hídrico superficial**. 2005. 87 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

ABREU, A. A. **Análise geomorfológica: reflexão e aplicação- uma contribuição ao conhecimento das formas de relevo do Planalto Diamantina-MG**. 1982. 250 f. Tese (Livre Docência em Geografia) - Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1982.

AB´SÁBER, A. N. **Potencialidades paisagísticas brasileiras**. São Paulo: IG-USP, 1977. (Geomorfologia, 55).

AB'SABER, A. N. Uma revisão do Quaternário paulista: do presente para o passado. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 4, p. 1-51, jan/mar. 1969.

AB'SABER, A. N. **Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário**. São Paulo: [s.n.], 1969. (Geomorfologia, 18).

AB'SABER, A. N. **Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas do Brasil**. São Paulo: IGEOG-USP, mar. 1967. p. 45-48 (Orientação, 3).

AB'SABER, A. N. **Participação das depressões e superfícies aplainadas na compartimentação do planalto brasileiro**. São Paulo: [S.n.], 1962. 20 p. (Geomorfologia, 28).

AB'SABER, A. N. Regiões de Circundesnudação PósCretácea no Planalto Brasileiro. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n. 1, p. 1-8, mar. 1949.

ALMEIDA, F. F. Marques de Contribuição à Geomorfologia da Região Oriental de Santa Catarina. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, v. 4, n. 10, p. 3-22, 1952.

ALMEIDA, F. F. M. de; BARBOSA, O. Geologia das quadrículas de Piracicaba e Rio Claro. **Boletim Divisão de Geologia e Mineralogia**, Brasília, DF, n. 143, p. 1-96, 1953.

ALMEIDA, N. O. Metodologias em geomorfologia ambiental. Geosul, Florianópolis, n. 1, p. 59-68, 1986.

ARRAES, C. L.; BUENO, C. R. P.; PISSARRA, T. C. Estimativa da erodibilidade do solo para fins conservacionistas na microbacia Córrego do Tijuco, SP. **The Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 849-857, nov./dec. 2010.

ASHMAN, M. R.; PURI, G. **Essential soil science: a clear and concise introduction to soil science**. Oxford: Blackwell Publishers, 2002. 198 p.

ASAE (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS). **ASAE standards 1996**: standards engineering practices data. St. Joseph, 1996. 719 p. [ASAE S313.3].

AZZONI, C. R. Formação sócio-espacial metropolitana: novas tendências ou novas evidências? In: GONÇALVES, M. F. (Org.). **O novo Brasil urbano: impasses/dilemas/perspectivas**. Porto Alegre: Mercado Aberto, 1995.

BACCARO, C. A. D. Mapa geomorfológico do Triângulo Mineiro: uma abordagem morfoestrutural-escultural. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 13, n. 25, p. 115-127, jan/dez. 2001.

BACCARO, C. A. D.; CAMPOS, C. A. A. Os Processos erosivos e a sustentabilidade ambiental em Área de Cerrado. In: SHIKI, S. (Org.). **Sustentabilidade do Sistema Agroalimentar nos Cerrados: entornos de Irai de Minas**. Uberlândia: EDUFU, 2000. p. 69-86.

BACCARO, C. A. D. Processos erosivos no domínio do Cerrado. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 195-228.

BACCARO, C. A. D. As unidades geomorfológicas no Triângulo Mineiro. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, n. 5/6, p. 37-42, jan/dez. 1991.

BACCARO, C. A. D. **Estudo dos processos geomorfológicos de escoamento pluvial em área de cerrado**. 1990. 195 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

BARBOSA O. **Geologia da região do Triângulo Mineiro**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Fomento da Produção Mineral, 1970. (Boletim, 136).

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**. 1984. 190 f. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, 1984.

BARISON, M. R. **Estudo hidrogeoquímico da porção meridional do sistema aquífero Bauru no Estado de São Paulo**. 2003. 152 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, 2003.

BATEZELLI, A. **Análise da sedimentação cretácica e sua correlação com áreas adjacentes**. 2003. 183 f. Tese (Doutorado em Geociências – Área de Concentração em Geologia Regional) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, 2003.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 625 p.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1973.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6. ed. São Paulo: Ícone, 2008. 355 p.

BERTRAND, G., Paisagem e geografia física global. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, n. 13, p. 1-27, 1972.

BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (Org.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**: textos, mapas & SIG. Brasília, DF: CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 2003. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/recursos\\_minerais/livro\\_geo\\_tec\\_rm/abertura.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/recursos_minerais/livro_geo_tec_rm/abertura.pdf)>. Acesso em: 14 ago. 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Agência de Cooperação Internacional do Japão. Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para o Desenvolvimento Agrícola dos Cerrados. Estudo de Avaliação Conjunta. **Relatório Geral, Nº 48**. Brasília, jan. 2002.

BRASIL. Lei nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 08 jan. 1997. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm). Acesso em: 04 abr. 2017.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986. Estabelece a classificação de águas doces, salobras e salinas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 30 jul. 1986. p. 11.356.

CBH-TB (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO TIETÊ/ BATALHA). **Relatório de Situação dos recursos hídricos da UGRH**. Disponível em: <<http://www.comitetb.sp.gov.br>>. Acesso em: jan. 2017.

CAMPOS, C. A. A.; BACCARO, C. A. D.; SILVA, J. B. Parâmetros geomorfológicos de uso sustentável do solo em unidades geoambientais com usos agrícolas do cerrado. In: ENCONTRO IBERO AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA, 1., 2010, Recife. **Anais...** Recife: UFPE, 2010. p. 1-17.

CAMPOS, C. A. A. Manejo de microbacia hidrográfica em áreas urbanas: estudo de caso da microbacia do córrego Lagoinha em Uberlândia-MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11., 2005. **Anais eletrônicos...** São Paulo: Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, 2005.

CAMPOS, C. A. A. **O uso de estações experimentais para avaliação da erosão laminar em área agrícola, em condições de vertente e fundo de vale – Córrego Pantaninho-Romaria MG**. 2004. 127 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004.

CANDIDO, H. G. **Degradação ambiental da bacia hidrográfica do Rio Uberaba-MG**. 2008. 107 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2008.



CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. p. 35-50.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade de conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 415-442.

COELHO NETO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de Bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrandt Brasil, 1995. p. 93-147.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resoluções do Conama, 1984/86**. Brasília: SEMA, 1986. p. 96.

COOKE, R. V.; DOORNKAMP, J. C. **Geomorphology in environmental management: a new introduction**. Oxford: Oxford Clarendon Press, 1990. 410 p.

CORSI, A. C. **Compartimentação morfoestrutural da região do Triângulo Mineiro (MG): aplicado a exploração de recursos hídricos subterrâneos**. 2003. 226 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, 2003.

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**. 2009. 122 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de.; PALMEIRA, A. F.; SILVA, E. F. da. Zoneamento Ecológico-Econômico. In: FLORENZANO, T. G. (Org). **Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias Atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 12-25.

CRUZ, L. B. S. **Diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do Rio Uberaba - MG**. 2003. 182 f. Tese (Doutorado em Água e Solo) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

DANIELS, R. B.; HAMMER, R. D. **Soil geomorphology**. New York: Wiley e Sons Inc., 1992.

DANTAS, J. S.; MARTINS FILHO, M. V. Coeficiente de erodibilidade em sulcos e entressulcos de Argissolos coesos estimado pela cor do solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, DF, v. 49, n. 9, p. 700-707, set. 2014.

DEL GROSSI, S. R. **De Uberabinha a Uberlândia: os caminhos da natureza contribuição ao estudo da geomorfologia urbana**. 1991. 205 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

DEMÉTRIO, J. G. A.; CORREIA, L. C.; SARAIVA, A. L. Utilização de Imagens SRTM na Confecção de Mapas Potenciométricos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 14., 2006, São Paulo. **Resumos...** Curitiba: ABAS, 2006. 176p.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A. Dia Nacional da Conservação do Solo: a agricultura desenvolvida no Brasil é conservacionista? **Boletim Informativo Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha**, Ponta Grossa, n. 40, p. 6-7, abr./jun. 2010.

DLG AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL LTDA. PNT-2000 - Penetrômetro Georreferenciado Manual. Rev.: 2.00-08. Sertãozinho: DLG automação, 2008. Disponível em: < <http://www.dlg.com.br/produtos/pnt-2000-penetrometro-georreferenciado-manual/> >. Acesso em: 11 abr. 2017.

ERTHART, H. A teoria bio-resistásica e os problemas biogeográficos e paleobiológicos. **Notícia Geomorfológica**, n. 11, p. 51-58, 1960.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos**. Brasília, DF: Serviço de Produção de Informação, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1987. 230 p.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). **Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 1979. p. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

EPSTEIN, E.; GRANT, W. J. Soil losses and curst formation as related to some physical properties. **Proceedings of soil science society of America**, n. 31, p. 547-550, 1967.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia**: Conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997. p. 412.

FERNANDES, L. A. Mapa litoestratigráfico da parte oriental da Bacia Bauru (PR, SP, MG), escala 1:1.000.000. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, n. 55, p. 53-66, 2004.

FERRAZ, R. P. D.; DONAGEMMA, G. K.; ROSSI, C. Q.; POLIDORO, J. C. Fundamentos de morfologia, pedologia, física e química do solo de interesse no processo de recuperação de área degradada. In: EMBRAPA SOLOS. **Curso de recuperação de áreas degradadas - a visão da ciência do solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos e Petrobras, 2008. p. 09-63.

FILIZOLA, H. F.; ALMEIDA FILHO, G. S.; CANIL, K.; SOUZA, M. D. Controle de processos erosivos em áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil. In: GOMES, M. A. F. (Ed.) **Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil**: implicações para a água subterrânea e propostas de gestão com enfoque agroambiental. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2008. p. 302-316.

FLORENZANO, T. G. Introdução à geomorfologia. In: FLORENZANO, T. G. (Org). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 12-25.

FLORENZANO, T. G. Cartografia. In: FLORENZANO, T. G. (Org). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 105-120.

FOSTER, S. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas**: um método baseado em dados existentes. São Paulo: Instituto Geológico, 1993. 92 p. (Boletim, 10).

FULFARO, V. J.; BARCELOS, J. H. Grupo Bauru no Triângulo Mineiro: uma nova visão litoestratigráfica. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2., São Paulo, 1991. **Atas...** São Paulo: SBG/SP-RJ, 1991. p. 59-66.

GEYL, W. F. Morphometric analysis and the world wide occurrence of stripped erosion surfaces. **Journal of Geology**, Chicago, n. 69, p. 388-416, 1961.

GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C. A.; PESSOA, M. C. P. Y. Avaliação da vulnerabilidade natural do solo em áreas agrícolas: subsídios à avaliação do risco de contaminação do freático por agroquímicos. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 12, p. 169-179, jan./dez. 2002.

GONDIM, T. M. de S.; WANDERLEY, J. A. C.; SOUZA, J. M.; FEITOSA FILHO, J. C. Infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método do infiltrômetro de anel em solo areno - argiloso. **REBAGA**, Pombal, v. 4, n. 1, p. 64-73, jan./dez. 2010.

GOUDIE, A. **The Encyclopaedic Dictionary of Physical Geography**. Basel: Blackwell Ltd.; Oxford: Inglaterra, 1985. 528 p.

GUERRA, A. J. T. Degradação dos solos - conceitos e temas. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. do C. O. **Degradação dos solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p. 15-50.

GUERRA, A. J. T. O Início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 17-55.

HASUI, Y. O Cretáceo do Oeste Mineiro. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 39-56, 1969.

HERNANI, L. C.; PRUSKI, F.; DE-MARIA, I. C.; CASTRO FILHO, C.; FREITAS, P. L. de; LANDERS, J. A erosão e seu impacto In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E. de; PERES, J. R. (Ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 47-60.

HORTON, R. E. Erosion development of streams and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 56, p. 275-370, 1945.

IBAMA (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS). **Instrumentos de planejamento e gestão ambiental para a Amazônia, Cerrado e Pantanal**: demandas e propostas, metodologias de avaliação de impacto ambiental - 37. Brasília, DF: Ed. IBAMA, 2001.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2009. (Manuais Técnicos em Geociências, 5).

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Folha topográfica de Uberaba (SE-23-Y-C-IV)**. Rio de Janeiro, 1972a. 1 mapa, color., escala 1:100.000.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Folha topográfica de Veríssimo (SE-22-Z-D-VI)**. Rio de Janeiro, 1972b. 1 mapa, color. Escala 1:100.000.

JORGE, M. do C. O.; GUERRA, J. T. Erosão dos solos e movimentos de massa – recuperação de áreas degradadas com técnicas de bioengenharia e prevenção de acidentes. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. do C. O. **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. p. 07-28.

KELLER, E. A.; PINTER, N. (Ed.) **Active tectonics**: earthquakes, uplift, and landscape. New Jersey: Prentice-Hall, 1996. 338 p.

KING, L. C. Canons of landscape evolution. **GCA Bulletin Geological**, MacLean, v. 64, n. 7, p. 721-752, 1962.

KING, L. C. A geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, n. 18, 1956.

KOHLER, H. C. A Escala na análise geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 3, n. 1, p. 21-31, 2002.

KOSTIAKOV, A. N. On the dynamics of the coefficient of water - percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of ameliation. **Transactions Communication 6th International Society Soil Science, Part. A**, p.17-21, 1932.

KRAEMER, G. B. **Variabilidade espacial dos atributos do solo na delimitação das unidades de mapeamento**. 2007. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

KUGLER, H. Gegenstand und Arbeitsrichtungen. In: DEMEK, J.; EMBLETON, C.; KUGLER, H. (Ed.). **Geomorphologische Kartierung en mittleren Masstaeben**. Gotha: Haak, 1982. p. 12 - 41.

LEFF, E. **Epistemologia ambiental**. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2002. 239 p.

LYRA, M. R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. Toposseqüência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 525-532, 2003.

LUDOVICE, M. T. **Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre o lençol freático**. 1996. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, Campinas, 1996.

MARQUES NETO, R. As superfícies geomorfológicas e a evolução do relevo Brasileiro: transcurso das ideias e correspondências no Sul de Minas Gerais, Sudeste do Brasil. **Revista Ra'e Ga**, Curitiba, v. 31, p. 267-295, dez. 2014.

MARQUES NETO, R. A abordagem sistêmica e os estudos geomorfológicos: algumas interpretações e possibilidades de aplicação. **Revista do Departamento de Geociências**, Londrina, v. 17, n. 2, p. 67-87, jul./dez. 2008.

MARTINS FILHO, M. V.; LICCIOTI, T. T.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JUNIOR, J.; SANCHEZ, R. B. Perdas de solo e nutrientes por erosão num argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 8-18, 2009.

MARTINS FILHO, M. V. **Modelagem do processo de erosão e padrão espacial da erodibilidade em entressulcos**. 121 f. Tese (Livre Docência) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2007.

MARTINS FILHO, M. V.; ENGLER, M. P. C.; IZIDORIO, R.; COTRIN, F. B.; SERRA, E. A.; AMARAL, N. S.; SOUZA, Z. M. Modelos para a estimativa do subfator cobertura-manejo (Cill) relativo à erosão entressulcos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 603-611, 2004.

MEIS, M. R. M.; MIRANDA, L. H. G.; FERNANDES, N. F. Desnivelamento e altitude como parâmetros para a compartimentação do relevo: Bacia do médio-baixo Paraíba do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., 1982, Salvador. **Anais...** Salvador: SBG-BA, 1982. v. 4, p. 1489-1503.

MIQUELONI, D. P. **Perda de solo em área de nascentes Caracterizada por análise multivariada e Modelos de geoestatística**. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2011.

CODEMIG (COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS). **Mapa Geológico de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2014. 1 mapa, color., escala 1:500.000.

MINGOTI, R.; SPADOTTO, C. A.; MORAES, D. A. de C. Suscetibilidade à Contaminação da Água Subterrânea em Função de Propriedades dos Solos no Cerrado Brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 9, p. 1252-1260, set. 2016.

MONTEIRO, C. A. de F. William Morris Davis e a teoria geográfica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 2, n. 1, p. 1-20, 2001.

NASCIMENTO, N. R. do. **Sistema de transformação Pedológica Solos lateríticos com Couraça Ferruginosa em Silcrete e/ou Planossolos**: Aplicação á Cartografia da Pedo-Morfologia do Médio Vale do Rio Paramirim-Bahia. 2003. 180 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

NISHIYAMA, L. Geologia do município de Uberlândia (MG) e áreas adjacentes. **Revista Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 1, n. 1, p. 09-16, 1989.

NOVAIS, G.T. **Caracterização climática da mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e do entorno da Serra da Canastra (MG)**. 2011. 175 f. Dissertação (Mestrado em Geografia e Gestão do Território) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011. Disponível em: <<http://repositorio.ufu.br/handle/123456789/1195?mode=full>>. Acesso em: 17 jan. 2017.

NOVAIS PINTO, M. **Cerrado**: caracterização, ocupação e perspectivas. Brasília, DF: Editora UNB/ SEMATEC, 1990.

OLIVEIRA, E. C.; SANTOS, A. R; CANDEIRO, C. R. Localidades fossilíferas do cretáceo superior da região do Triângulo Mineiro (Estado de Minas Gerais, Brasil). **Revista Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v.18, n. 35, p.151-167, 2006.

OLIVEIRA, F. P. de. **Determinação da tolerância de perdas por erosão para as principais Ordens de solos do Estado da Paraíba**. 2004. 92 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Engenharia Agrônômica) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2004.

OLSZEWSKI, N.; FERNANDES FILHO, E. I.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SOUZA, E.; COSTA, O. D. V. Morfologia e aspectos hidrológicos da bacia hidrográfica do Rio Preto, divisa dos estados do Rio de Janeiro e de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 485-492, 2011.

PEDROSA, A. S.; SOUZA, R. de C. M. de. As unidades de paisagem no Triângulo Mineiro: “desaparecimento” da paisagem cerrado. In: SIMPÓSIO MINEIRO DE GEOGRAFIA, 1., 2014, Alfenas. **Anais...** Alfenas: UNIFAL, 2014. p. 354-369.

PESSÔA, V. L. S. **Ação do Estado e as transformações agrárias no cerrado das zonas de Paracatu e Alto Paranaíba-MG**. 1988. 239 f. Tese (Doutorado em Organização do Espaço) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 1988.

PIACENTE, F. J. **Agroindústria Canavieira e o sistema de gestão ambiental: o caso das usinas localizadas nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí**. 2005. 175 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Econômico) - Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas - Campinas, 2005.

- PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: Editora SAEAFS, 1996.
- PRUSKI, F. F. Prejuízos decorrentes da erosão hídrica e tolerância de perdas de solo. In: PRUSKI, F. F. (Ed.). **Conservação de Solo e Água**: práticas mecânicas para o controle de erosão hídrica. 2. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2013. p. 13-23.
- PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. dos S.; SILVA, D. D. da. **Escoamento superficial**. 2. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2011. p. 83.
- RATCLIFFE, D. A. Criteria for the selection of nature reserves. **Advancement of Sciences**, London, v. 2, p. 294-296, 1971.
- RESENDE, M; CURI, N.; REZENDE, S. B. de; CORRÊA, G. F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 4. ed. Viçosa, MG: [s.n.], 2002. p. 338.
- RIBEIRO, A. G. **Paisagem e organização espacial da região de Palmas e Guarapuava**. 1989. 180 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.
- ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, 1994, p. 63-75.
- ROSS, J. L. S. **Geomorfologia**: Ambiente e Planejamento. São Paulo: Contexto, 1990.
- SGARBI, G. N. C.; DARDENNE, M. A. Evolução Climática do Gondwana nas regiões Centro-Sul do Brasil e seus registros geológicos continentais durante o Mesozóico, enfatizando o arco do Alto Paranaíba, a borda NNE da bacia do Paraná e a porção meridional da bacia Sanfranciscana, no oeste do estado de Minas Gerais. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, p. 21-49, 1998.
- SILVA, G. R. V. da. **Erosão em Entressulcos em Área Cultivada com Cana-de-Açúcar e a Relação com a Quantidade de Palha em Superfície**. 2011. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola - Concentração Água e Solo) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas - Campinas, 2011.
- SILVA, J.; CARVALHO, J.; SANTOS, R.; FELGUEIRAS, C. Zoneamentos ambientais: quando uma unidade territorial pode ser considerada homogênea? **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 59, p. 83-92, 2007.
- SILVA, J. B. **Avaliação da perda de solo por fluxo superficial utilizando parcelas experimentais**: estudo de caso na bacia hidrográfica do Córrego do Glória em Uberlândia-MG. 2006. 147 f. Dissertação (Mestrado em Geografia e Gestão do Território) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.
- SILVA, J. B. **Do diagnóstico às unidades geodinâmicas e de fragilidade ambiental**: uma contribuição a educação e gestão ambientais em Veríssimo-MG. 2016. 147 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

SILVA, M. A. S. da; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 108-114, 2007.

SILVA, T. M. da. Mapeamentos geomorfológicos: escalas, aplicações e técnicas de compartimentação do relevo. **Revista GEO UERJ**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 17, p. 25-69, jan./jun. 2007.

SILVA, T. M. da. Superfícies Geomorfológicas do Planalto Sudeste Brasileiro: Revisão teórico-conceitual. **Revista GEO UERJ**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 20, p. 1-22, jun./dez. 2009.

SIQUEIRA, C. A.; ROSA, R. Mapeamento digital dos aspectos físicos da mesorregião do Triângulo Mineiro, através dos softwares Autocadr12 e Grass 4.0. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 10, n. 19, p. 93-114, jan./jun. 1998.

SMALL, R. J. The study of planation surfaces. In: **The study of landforms: a textbook of Geomorphology**. Cambridge: University Press, 1986. p. 248-272.

SOARES, A. M. **A dinâmica hidrológica na Bacia do Alto Uberabinha, Minas Gerais**. 2008. 227 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

SOARES, A. M. **A bacia do Rio Claro: reflexos da ocupação antrópica**. 2002. 138 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2002.

SOTCHAVA, V. B. **O Estudo dos Geossistemas**. São Paulo: USP-IGEO, 1977. (Métodos em Questão, 16).

SOUZA, N. A. de. **Vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas: um estudo do Aquífero Bauru na zona urbana de Araguari, MG**. 2009. 135 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia-IG, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

TORRADO, P. V.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. de. Conceitos e aplicações das relações pedologia - geomorfologia em regiões Tropicais Úmidas. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 4, p. 145-192, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2004.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 91 p.

UFV; CETEC; UFLA; FEAM. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. p. 49. Disponível em: <<http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>> Acesso em: 24 jan. 2017.

VALLE JUNIOR, R. F. do. Potencial de Erosão da Bacia do Rio Uberaba. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 897-908, set./out. 2010.



VALLE JUNIOR, R. F. do. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba**. 2008. 222 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2008.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, US: USDA, dec. 1978.