

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - TRATAMENTO DA
INFORMAÇÃO ESPACIAL**

César Vinícius Mendes Nery

**ANÁLISE DA PAISAGEM NA BACIA DO RIO PANDEIROS – NORTE DE MINAS
GERAIS**

**Belo Horizonte
2016**

CÉSAR VINÍCIUS MENDES NERY

**ANÁLISE DA PAISAGEM NA BACIA DO RIO PANDEIROS – NORTE DE MINAS
GERAIS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia - Tratamento da Informação Espacial da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. José Flávio Morais Castro

Área de concentração: Análise Espacial

**Belo Horizonte
2016**

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

N455a Nery, César Vinícius Mendes
Análise da paisagem na bacia do rio Pandeiros – norte de Minas Gerais / César Vinícius Mendes Nery. Belo Horizonte, 2016.
145 f. : il.

Orientador: José Flávio Morais Castro
Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Geografia - Tratamento da Informação Espacial.

1. Paisagens - Cartografia - São Francisco, Rio, Bacia. 2. Geologia ambiental. 3. Bacias hidrográficas. 4. Mapeamento ambiental. 5. Sistemas de informação geográfica. 6. Solo - Uso. I. Castro, José Flávio Morais. II. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Geografia - Tratamento da Informação Espacial. III. Título.

SIB PUC MINAS

CDU: 911.2(815.1)

CÉSAR VINÍCIUS MENDES NERY

**ANÁLISE DA PAISAGEM NA BACIA DO RIO PANDEIROS – NORTE DE MINAS
GERAIS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia - Tratamento da Informação Espacial da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Prof. Dr. José Flávio Morais Castro - PUC Minas (Orientador)

Prof. Dr. Oswaldo Bueno Amorim Filho - PUC Minas

Prof. Dr. Bernardo Machado Gontijo - UFMG

Prof. Dr. Guilherme Taitson Bueno - UFG

Prof. Dr. Wellington Lopes Assis - UFMG

Belo Horizonte, 31 de agosto de 2016

À minha família por todo o incentivo, em especial à minha esposa Elisângela e aos meus filhos Vitória e Guilherme, fonte de inspiração.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. José Flávio Morais Castro, pela condução do trabalho e apoio, o que tornou possível a realização deste trabalho.

Ao professor Guilherme Taitson Bueno pela ajuda, orientação e paciência.

Aos professores Guilherme Taitson Bueno e Oswaldo Bueno Amorin Filho, pelas correções sugeridas ao texto na qualificação.

Aos meus pais, que sempre me apoiaram nessa caminhada e em outras tantas.

Aos amigos das Faculdades Santo Agostinho e do Instituto Federal do Norte de Minas, pelo apoio em muitos momentos dessa caminhada.

Aos amigos do DINTER, Antônio Augusto, Antônio Maurílio, Antônio Eugênio, Erick, Geraldo Reis, Gildete, Ivete, Leonardo, Marilée, Marina, Rachel e Vivian que compartilharam dessa caminhada e a fizeram mais amena.

Aos meus alunos, que contribuíram imensamente com seus trabalhos no Laboratório de Geoprocessamento das Faculdades Santo Agostinho, e em especial à Adriana Moreira, Fernando Hiago, Rodrigo Praes, Felipe Aquino, José Guilherme e Lioclécio Mendes.

Aos alunos do IFNMG, Marcos Vinícius Araújo, Ricardo de Almeida Souza, Fernando Araújo e Cláudio Gomes, pela ajuda nos trabalhos de campo.

Ao Técnico Leonardo Passos, pela dedicação e execução das análises laboratoriais.

Às Faculdades Santo Agostinho, pelo apoio financeiro.

À Capes, pela bolsa de estudos.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a construção deste trabalho.

RESUMO

Na foz do Rio Pandeiros dá se a reprodução de parte da ictiofauna do rio São Francisco, precisamente na calha fluvial próxima à sua foz, uma planície flúvio lacustre. Atualmente essa planície alagada na calha fluvial vem sendo assoreada por sedimentos advindos de áreas mais à montante na bacia. Na sua bacia, são encontradas diversas veredas, área brejosa rica em matéria orgânica, caracterizada pela presença da palmeira Buriti (*Mauritia vinifera*), que tem suas terras utilizadas como área de reserva alimentar para o gado durante a estação seca ou são drenadas para o plantio de alimentos para a subsistência da população residente. A busca do conhecimento do meio natural por meio do estudo da estrutura horizontal e vertical da distribuição espacial dos geoelementos formadores da paisagem, foi realizada produzindo um modelo em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas, serve de base para a visualização e a compreensão da estrutura e do nível de interação desses elementos formadores da paisagem. Diante desse quadro, buscar conhecimento do meio, de seus processos e elementos, adotando como base epistemológica as teorias de sistemas e paisagens, se torna importante para gerar conhecimento para a população residente, para os órgãos de planejamento e fiscalização, para a pesquisa científica e para a comunidade em geral. O objetivo desse trabalho é identificar e compartimentar as unidades da paisagem na bacia do Rio Pandeiros na região Norte de Minas Gerais aplicando a concepção sistêmica, bem como conhecer a fragilidade ambiental desses ambientes. A busca do conhecimento por meio da distribuição dos geoelementos formadores da paisagem, adotando-se como métodos, a cartografia dos elementos que compõem a paisagem, a elaboração de perfis geocológicos que atravessam a bacia e a estimativa da fragilidade ambiental por meio da álgebra de mapas. A construção de um modelo em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) serviu de base de dados para a visualização e a compreensão da estrutura e do nível de interação desses elementos formadores da paisagem com a produção de mapas. Pela metodologia aplicada, foram elaborados mapas dos planos de informação, clima, geologia, geomorfologia, hipsometria, declividade, solos, vegetação natural e uso e ocupação do solo. Para estudo, análise e compartimentação da paisagem, este trabalho se valeu da elaboração de perfis geocológicos que se traduzem na elaboração de transectos na bacia, o que permitiu investigar a relação entre os geoelementos, em termos de estrutura e conectividade, identificando os fluxos de energia e matéria entre esses entes. Foram elaborados três perfis geocológicos, sendo dois deles transversais e um longitudinal. A análise dos perfis

geocológicos permitiu a compartimentação das unidades da paisagem que compõem a bacia do Rio Pandeiros. Foram identificados cinco compartimentos, sendo esse nominados como Planície Flúvio Lacustre, Planície Fluvial, Carste, Superfície Aplanada 1 e Superfície Aplanada 2. A Superfície de Aplanada 2 é a que ocupa maior superfície na bacia sendo essa uma unidade em Arenito Urucuia formada após sucessivos ciclos erosivos. O mapa com a compartimentação da paisagem na bacia do Rio Pandeiros foi elaborado. Para a estimativa da fragilidade ambiental da bacia, foi adotada metodologia com atribuição de pesos para as diferentes classes das componentes Declividade, Solos e Uso/Ocupação do Solo. Na modelagem da fragilidade, foram comparados dois modelos, no primeiro foram utilizados os pesos para das componentes Declividade, Solos e Uso/Ocupação do Solo. No segundo modelo foi incluído um novo plano de informação. A Relevância Biológica. Para O plano de informação foi adotado peso 5, para o compartimento da Planície Flúvio Lacustre, pela sua relevância biológica. O modelo de fragilidade ambiental permitiu a identificação de áreas de fragilidade Média e Forte na porção mediana da bacia pela associação dos solos arenosos e baixa conservação da vegetação natural ou mesmo solo exposto e áreas de alta declividade e neossolos litólicos nas bordas do compartimento de cimeira, a Superfície Aplanada 1. As áreas de fragilidade Baixa e Muito Baixa estão associadas ao relevo plano com argissolos ou latossolos de textura mais argilosa na porção sul da bacia e a associação de relevo plano e latossolos nas chapadas. Apoiado no paradigma sistêmico, utilizando métodos, como a cartografia, a elaboração de transectos e a álgebra de mapas, foi possível identificar e compartimentar as unidades da paisagem na bacia do Rio Pandeiros na região Norte de Minas Gerais aplicando a concepção sistêmica, bem como estimar a fragilidade ambiental desses ambientes.

Palavras-chave: Sistema; Geocologia; Compartimentação da Paisagem; Fragilidade Ambiental

ABSTRACT

At the mouth of the Pandeiros river gives the reproduction of the fish fauna of the river, precisely in the next river channel to its mouth a fluvial plain lake. Currently this plain flooded the river channel has been silted up by sediments from areas further upstream in the basin. In its basin are found many areas, rich in organic matter, characterized by the presence of the Buriti palm (*Mauritia vinifera*), which has its land used as food reserve for livestock during the dry season or are drained for planting food for the subsistence of the resident population. The pursuit of knowledge of the natural environment through the study of the horizontal and vertical structure of the spatial distribution of geoelements landscape, was carried out by producing a model in Geographic Information Systems, this environment is the basis for the visualization and understanding of the structure and the level of interaction of these elements forming the landscape. Given this situation, seek knowledge of the environment, its processes and elements, adopting as epistemological base theories systems and landscapes, it becomes important to generate knowledge for the resident population, to the planning and surveillance organisms, scientific research and to the community in general. The aim of this study is to identify and compartmentalize landscape units in Pandeiros River basin in the north of Minas Gerais applying systemic design and know the environmental fragility of these environments. The pursuit of knowledge through the distribution of geoelements landscape trainers, adopting such methods, the mapping of the elements of the landscape, the development of geocological profiles crossing the basin and the estimation of environmental fragility through map algebra . Building a model in Geographic Information Systems (GIS) served as a database for viewing and understanding of the structure and the level of interaction of these forming elements of the landscape with the production of maps. The methodology applied, were prepared maps of information layers, climate, geology, geomorphology, hypsometry, slope, soils, natural vegetation and land use and occupation. For the study, analysis and partitioning of the landscape, this work earned the preparation of geocological profiles that result in the development of transects in the basin, which allowed to investigate the relationship between geoelements in terms of structure and connectivity, identifying energy flows and matter between these entities. geocological three profiles were developed, two of transverse and longitudinal. The analysis of geocological profiles allowed the partitioning of landscape units that make up the river basin Pandeiros. Five compartments were identified, such as Plain nominated Fluvio Lakeside, River Plain, Karst, surface planed 1 and 2. The surface flattened surface flattened 2 is the one that occupies the largest surface in

the basin which is one unit in Sandstone Urucuia formed after successive cycles erosive. The map with the compartmentalization of the landscape in the basin of Rio Pandeiros was prepared. To estimate the environmental fragility of the basin, it was adopted methodology for assigning weights to the different classes of declivity components, Soil and Use / Land Use. In modeling the fragility, we compared two models, at first were used for the weights of components Slope, Soil and Use / Land Use. In the second model was included a new plan information. The biological relevance. For information plan was adopted weight 5 for the Plain Fluvio Lakeside magazine, for its biological relevance. The environmental fragility model allowed the identification of Medium and Heavy fragile areas in the middle portion of the basin by the Association of sandy soils and low conservation of natural vegetation or bare soil and areas of steep slopes and neossolos litholic the summit compartment edges, the level surface 1. the fragile areas Low and Very Low are associated with relief plan ultisols or oxisol more clayey in the southern portion of the basin and the flat relief of association and latosols in plateaus. Supported the systemic paradigm, using methods such as mapping, preparation of transects and algebra maps, it was possible to identify and compartmentalize landscape units in Pandeiros River basin in the north of Minas Gerais applying systemic design and estimate environmental fragility of these environments.

Keywords: System; Geoecology; Landscape; Environmental fragility

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esboço da definição teórica de geossistema proposta por Bertrand.....	25
Figura 2 - Modelo sistêmico do funcionamento da paisagem, absorção, transformação e consumo de EMI.....	29
Figura 3 - Roteiro metodológico de elaboração da tese	44
Figura 4–Mapa de itinerários dos trabalhos de campo e amostragens de solos	51
Figura 5 – Mapa de localização da bacia do Rio Pandeiros/MG	59
Figura 6 - Área da bacia do Rio Pandeiros/MG por município.....	60
Figura 7 - Distribuição da área da bacia do Rio Pandeiros/MG por município	60
Figura 8 – Unidades de Conservação da Microrregião de Januária/MG.....	64
Figura 9 - Localização das estações meteorológicas na mesorregião norte de Minas Gerais e no estado da Bahia.....	65
Figura 9 - Distribuição espacial da precipitação média anual para as estações meteorológicas na mesorregião norte de Minas Gerais e no estado da Bahia com destaque para a bacia do Rio Pandeiros, valores em mm ano-1.....	66
Figura 10 - Distribuição espacial da temperatura média anual para as estações meteorológicas na mesorregião norte de Minas Gerais e no estado da Bahia com destaque para a bacia do Rio Pandeiros, valores em °C	66
Figura 11 - Precipitação e temperatura média anual registradas pela estação meteorológica de Januária/MG entre os anos de 1984 e 2013	67
Figura 12 - Distribuição espacial da evapotranspiração potencial média anual, calculada pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), para as estações meteorológicas na mesorregião norte de Minas Gerais e estado da Bahia com destaque para a bacia do Rio Pandeiros	68
Figura 13 - Balanço hídrico mensal de Januária/MG entre os anos de 1984 e 2013.....	69
Figura 14 - Distribuição espacial da deficiência hídrica média anual para as estações meteorológicas na mesorregião norte de Minas Gerais e no estado da Bahia com destaque para a bacia do Rio Pandeiros, valores em mm ano-1	70
Figura 15 - Distribuição espacial da excedente hídrico médio anual para as estações meteorológicas na mesorregião norte de Minas Gerais e no estado da Bahia com destaque para a bacia do Rio Pandeiros, valores em mm ano-1	70
Figura 16 – Mapa geológico da bacia do Rio Pandeiros/MG.....	73
Figura 17 - Serra da Mescla, visão da face norte na bacia do Rio Pandeiros/MG	74
Figura 18 - Afloramento de arenito na Serra da Mescla, bacia do Rio Pandeiros/MG	75
Figura 19 – Chapada, ao fundo, com formação coberturas detrito lateríticas na bacia do Rio Pandeiros/MG.....	76
Figura 20 - Afloramento rochoso de calcário do grupo Bambuí associado à vegetação de Floresta Estacional Decidual na bacia do Rio Pandeiros/MG.....	77
Figura 21–Canal fluvial do Rio Pandeiros, local de deposição de material de origem aluvionar, na bacia do Rio Pandeiros/MG.....	78
Figura 22 - Mapa de declividade da bacia do Rio Pandeiros/MG.....	80
Figura 23 - Mapa hipsométrico da bacia do Rio Pandeiros/MG	81
Figura 24 - Mapa Geomorfológico Simplificado da bacia do Rio Pandeiros/MG.....	83
Figura 25 - Unidade geomorfológica superfície de aplanamento degradada inumada na bacia do Rio Pandeiros/MG	84
Figura 26 - Unidade geomorfológica superfície de aplanamento retocada inumada na bacia do Rio Pandeiros/MG	84
Figura 27 - Mapa de solos da bacia do Rio Pandeiros / MG.....	86
Figura 28 - Perfil de um Neossolo Quartzarênico da Bacia do Rio Pandeiros/MG	87

Figura 29 – Perfil de um Latossolo Vermelho Distrófico da bacia do Rio Pandeiros/MG.....	88
Figura 30 - Perfil de um Neossolo Litólico da bacia do Rio Pandeiros/MG.....	89
Figura 31 - Perfil de um Gleissolo Melânico na bacia do Rio Pandeiros/MG	89
Figura 32 - Perfil de um solo Argissolo Vermelho Amarelo da bacia do Rio Pandeiros/MG	90
Figura 33 - Espacialização das amostragens de solos da bacia do Rio Pandeiros/MG	91
Figura 34 - Análise textural das amostras de solos da bacia do Rio Pandeiros/MG	94
Figura 35 - Mapa da Vegetação Natural da bacia do Rio Pandeiros/MG	97
Figura 36 – Floresta Estacional Decidual na bacia do Rio Pandeiros/MG	98
Figura 37 – Cerrado denso na bacia do Rio Pandeiros/MG	99
Figura 38 – Vereda na bacia do Rio Pandeiros/MG.....	100
Figura 39 - Mapa de uso e ocupação do solo da bacia do Rio Pandeiros/MG	102
Figura 40 - Cerrado ralo em regeneração na bacia do Rio Pandeiros/MG.....	103
Figura 41 - Cerrado denso na bacia do Rio Pandeiros/MG.....	104
Figura 42 - Área explorada com a cultura do eucalipto na bacia do Rio Pandeiros/MG	105
Figura 43 - Área de pastagem de Braquiária na bacia do Rio Pandeiros/MG.....	106
Figura 44 - Floresta estacional decidual na bacia do Rio Pandeiros/MG.....	107
Figura 45 - Área por classe de uso e ocupação do solo na bacia do Rio Pandeiros/MG	108
Figura 46–Microrregião de Januária com a localização da bacia do Rio Pandeiros/MG em destaque	109
Figura 47– Índice de Desenvolvimento Humano dos municípios de abrangência da bacia do Rio Pandeiros/MG	111
Figura 48 - Localização dos perfis geocológicos na bacia do Rio Pandeiros/MG	113
Figura 49 - Perfil geocológico 1, transversal na porção sul da bacia do Rio Pandeiros/MG.....	115
Figura 50 - Perfil geocológico 2, transversal na porção mediana da bacia do Rio Pandeiros/MG.....	117
Figura 51 - Perfil geocológico 3, longitudinal na porção mediana da bacia do Rio Pandeiros/MG.....	120
Figura 52 - Mapa de compartimentação da paisagem da bacia do Rio Pandeiros/MG.....	123
Figura 53–Unidade da paisagem Planície flúvio lacustre da bacia do Rio Pandeiros/MG.	124
Figura 54–Unidade da paisagem Planície flúvio lacustre da bacia do Rio Pandeiros/MG. (A) 15° 40' 16''S - 44° 36' 45''W(B)15° 40' 15''S - 44° 37' 13''W	124
Figura 55–(A) Torre de observação do pântano e (B) Residência dos Guarda-parques localizada no pântano da bacia do Rio Pandeiros/MG. 15° 40' 15''S - 44° 37' 13''W	125
Figura 56–Uso da pastagem natural às margens do Rio Pandeiros como fonte alimentar para o gado bovino no período seco. 15° 39' 53''S - 44° 38' 02''W	125
Figura 57–Afloramento de calcário no compartimento do Carste na bacia do Rio Pandeiros. 15° 35' 57''S - 44° 41' 26''W	127
Figura 58–Pastagem plantada no compartimento do Carste na bacia do Rio Pandeiros. 15° 35' 57''S - 44° 41' 26''W.....	127
Figura 59 - Balneário do Rio Pandeiros, (A) Cachoeira no Rio Pandeiros e (B) Área de camping do Balneário. 15° 30' 46''S - 44° 45' 12''W.....	128
Figura 60–Carreamento e deposição de sedimentos na unidade do Carste na bacia do Rio Pandeiros. 15° 33' 04''S - 44° 43' 13''W	128
Figura 61–A unidade de Planície Fluvial na bacia do Rio Pandeiros.	129
Figura 62–A -Vereda, B – Palmeira Buriti (<i>Mauritia vinifera</i>) na bacia do Rio Pandeiros. 15° 14' 55''S - 45° 11' 29''W	130
Figura 63–A – Vereda assoreada 15° 14' 55''S - 45° 11' 29''W, B – Canal do Rio Pandeiros 15° 11' 33''S - 45° 07' 16''W, C – Forno para a produção de carvão vegetal 15° 14' 54''S - 45° 11' 30''W e D- Estrada abandonada na bacia do Rio Pandeiros. 15° 15' 00''S - 45° 12' 34''W	131

Figura 64–Serra de São Domingos, na bacia do Rio Pandeiros. 15° 15' 00"S - 45° 12' 34"W	132
Figura 65–Mesa relictual bacia do Rio Pandeiros. 15° 15' 00"S - 45° 12' 34"W	133
Figura 66–A - Restos culturais de eucalipto 15° 19' 02"S - 44° 59' 59"W	134
Figura 67–A – Voçoroca na bacia do Rio Pandeiros 15° 14' 55"S - 45° 11' 29"W e B - transporte dos sedimentos pelo Rio Pandeiros 15° 16' 56"S - 45° 00' 45"W	134
Figura 68–A – Cidade de Bonito de Minas 15° 19' 23"S - 44° 45' 23"W e B - Placa indicativa da APA Pandeiros, na rodovia de acesso a bonito de Minas 15° 23' 26"S - 44° 34' 44"W	135
Figura 69–A – Plantio de eucalipto 15° 07' 52"S - 45° 14' 42"W e B –Pastagem plantada na bacia do Rio Pandeiros 15° 10' 46"S - 45° 17' 13"W	136
Figura 70– Nascente do Rio Pandeiros na borda do compartimento de Superfície Aplanada 1 - 15° 07' 24"S - 44° 12' 19"W	137
Figura 71–Voçorocas próximas à nascente do Rio Pandeiros na borda do compartimento de Superfície Aplanada 1 - 15° 06' 39"S - 44° 13' 00"W	138
Figura 72 – Registros fotográficos do transporte de sedimentos na bacia do Rio Pandeiros. A - 15° 16' 56"S - 45° 00' 45"W e B 15° 07' 24"S - 45° 12' 19"W	139
Figura 73 – Mapa de Fragilidade ambiental da bacia do Rio Pandeiros.	141
Figura 74 – Mapa de Fragilidade ambiental da bacia do Rio Pandeiros considerando a importância biológica	144
Figura 75- Mudança de Classes de Fragilidade ambiental da bacia do Rio Pandeiros, considerando os dois modelos aplicados	145

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Níveis hierárquicos de classificação dos sistemas de terrenos do CSIRO, ITC e Soviéticos	30
Tabela 2 - Dados das séries temporais utilizadas para estudo climatológico na mesorregião do norte de Minas Gerais.....	47
Tabela 5 - Classes de altitude utilizadas no mapeamento de hipsometria da Bacia.....	49
Tabela 6 - Classes de declividade utilizadas no mapeamento clinográfico da Bacia.....	49
Tabela 7 - Classes de fragilidade e intervalos de classe de fragilidade ambiental quanto à declividade.....	55
Tabela 8 - Classes de fragilidade à erosão de diferentes tipos de solo face ao escoamento superficial das águas pluviais	55
Tabela 9 - Graus de proteção dados ao solo pela cobertura vegetal face à ação das águas pluviais	56
Tabela 10 - Principais cursos d'água da Bacia do Rio Pandeiros/MG e suas extensões.....	58
Tabela 11 - Características físicas da bacia hidrográfica do Rio Pandeiros/MG	61
Tabela 12 - Formações geológicas encontradas na Bacia do Rio Pandeiros/MG	74
Tabela 13 - Classes de declividade encontradas na Bacia do Rio Pandeiros/MG.....	79
Tabela 14 - Classes de altitude encontradas na Bacia do Rio Pandeiros/MG	80
Tabela 15 - Classes de solos encontrados na Bacia do Rio Pandeiros/MG.....	85
Tabela 16 – Amostragens, por classe de solo, realizadas na Bacia do Rio Pandeiros/MG.....	90
Tabela 22 - Distribuição das classes de vegetação natural por município da bacia hidrográfica do Rio Pandeiros/MG	96
Tabela 23 - Classes de declividade encontradas na Bacia do Rio Pandeiros/MG.....	103
Tabela 24 - População dos municípios de abrangência da bacia do Rio Pandeiros/MG.....	110
Tabela 25 - Índice de Desenvolvimento Humano dos municípios de abrangência da bacia do Rio Pandeiros/MG	111
Tabela 26 - Produto Interno Bruto a preços correntes e Produto Interno Bruto per capita dos municípios de abrangência da bacia do Rio Pandeiros/MG	112
Tabela 27 - Unidades de paisagem da Bacia do Rio Pandeiros/MG	122
Tabela 28–Distribuição de área por classes de Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Pandeiros/MG.....	141
Tabela 29–Distribuição de área por classes de Fragilidade Ambiental, considerando a importância biológica na Bacia do Rio Pandeiros/MG	145
Tabela 23 - Resultados das análises de solos para a classe de solo Neossolo Quartzarênico na Bacia do Rio Pandeiros/MG	159
Tabela 24 - Resultados das análises de solos para a classe de solo Latossolo Vermelho Distrófico na Bacia do Rio Pandeiros/MG	160
Tabela 25 - Resultados das análises de solos para a classe de solo Neossolo Litólico na Bacia do Rio Pandeiros/MG	160
Tabela 26 - Resultados das análises de solos para a classe de solo Gleissolo Melânico na Bacia do Rio Pandeiros/MG	161
Tabela 27 - Resultados das análises de solos para a classe de solo Argissolo vermelho amarelo na Bacia do Rio Pandeiros/MG	161

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA - Área de Proteção Ambiental

CTC - Capacidade de troca de cátions

CISRO - *Commonwealth Scientific Industrial Research Organization*

CODEMIG - Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEF - Instituto Estadual de Florestas

IFNMG - Instituto Federal do Norte de Minas Gerais

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

ITC - *International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation*

GNSS - *Global Navigation Satellite Systems*

LABGEO - Laboratório de Geoprocessamento das Faculdades Santo Agostinho

MAXVER - Algoritmo de Máxima Verossimilhança

SiBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

SIG - Sistemas de Informações Geográficas

SUT - Sistema de Unidades Taxonômicas

UC - Unidades de Conservação

UFV - Universidade Federal de Viçosa

USGS - *United States Geological Survey*

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	16
1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS ..	20
1.1. A ABORDAGEM SISTÊMICA.....	20
1.2. GEOSSISTEMAS E PAISAGEM.....	22
1.3. A COMPARTIMENTAÇÃO DAS UNIDADES DA PAISAGEM	32
1.4. A FRAGILIDADE DOS SISTEMAS ANTROPONATURAIS.....	36
1.5. A MODELAGEM DOS SISTEMAS AMBIENTAIS.....	40
2. A BACIA DO RIO PANDEIROS E SUAS CARACTERÍSTICAS.....	58
2.1. A ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (APA) DO RIO PANDEIROS.....	62
2.2. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA REGIÃO	64
2.3. GEOLOGIA	71
2.4. GEOMORFOLOGIA	78
2.5. SOLOS.....	85
2.6. VEGETAÇÃO NATURAL	95
2.7. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	101
2.8. CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA DOS MUNICÍPIOS DA BACIA	108
3. ANÁLISE GEOECOLÓGICA DA PAISAGEM DA BACIA DO RIO PANDEIROS POR MEIO DA ELABORAÇÃO DE PERFIS GEOECOLÓGICOS	113
3.1. O PERFIL GEOECOLÓGICO 1.....	113
3.2. O PERFIL GEOECOLÓGICO 2.....	116
3.3. O PERFIL GEOECOLÓGICO 3.....	118
4. AS UNIDADES DA PAISAGEM NA BACIA DO RIO PANDEIROS E SUA FRAGILIDADE AMBIENTAL	121
4.1. A PLANÍCIE FLÚVIO LACUSTRE	121
4.2. O CARSTE.....	126
4.3. A PLANÍCIE FLUVIAL.....	129
4.4. SUPERFÍCIE APLANADA 2	132
4.5. A SUPERFÍCIE APLANADA 1.....	135
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	146
REFERÊNCIAS	152
APÊNDICES	158

INTRODUÇÃO

O Rio Pandeiros, um afluente da margem esquerda do Rio São Francisco, tem em suas águas grande importância para as pessoas que vivem à suas margens e em toda sua bacia. Em sua foz, forma-se uma área inundada que é um importante “berçário” para a reprodução da ictiofauna do São Francisco entre as represas de Três Marias e Sobradinho. Em sua bacia são encontradas diversas veredas, área brejosa rica em matéria orgânica, caracterizada pela presença da palmeira Buriti (*Mauritia vinifera*), onde se cria gado bovino e se planta alimentos para a subsistência da população que ali reside. A bacia é recoberta principalmente pelo cerrado, que possui alto grau de endemismo com mais de 7000 espécies, segundo Klink e Machado (2005), de onde se extrai uma grande diversidade de frutos que servem de alimento e fonte de renda para sua população. A formação geológica Urucuia, uma formação de arenitos e conglomerados que dá origem a um solo arenoso de fácil desagregação, ocupa a maior parte da bacia do Rio Pandeiros (CODEMIG, 2014). Há, em sua superfície, a ocorrência do carste que, na bacia, encontra-se, em sua maioria, encoberto por coberturas detrito lateríticas, mas com um funcionamento hídrico diferenciado das demais formações geológicas. Há, na Bacia, potencial Geoturístico associado ao Rio Pandeiros, representado principalmente pela cachoeira, pela vila da usina hidrelétrica e a usina, pelo pântano e por algumas formações cársticas.

Toda a diversidade de fauna e flora tem sido lentamente perdida em face da degradação ambiental a que a bacia está exposta. O desmatamento para a produção de carvão vegetal para a implantação do binômio agricultura pecuária, o pastejo excessivo sobre pastagens plantadas, na atividade de bovinocultura extensiva de corte, o tráfego de máquinas, a abertura inadequada de estradas, têm causado significativos impactos ambientais em toda a bacia que, dentre outros, podemos citar: o assoreamento do pântano e das veredas, o carreamento de sedimentos pela erosão com a exposição do solo agrícola e a formação de voçorocas. Até o presente momento as unidades de proteção criadas na bacia do rio pandeiros ainda não possuem um plano de manejo com vistas a regimentar o uso e ocupação de suas terras.

Diante desse quadro, buscar conhecimento do meio, de seus processos e elementos, adotando como base epistemológica as teorias de sistemas e paisagens, torna-se importante para a população atingida, para os órgãos de planejamento e fiscalização e para a comunidade em geral. A busca do conhecimento por meio do estudo da estrutura horizontal e vertical da distribuição dos geoelementos formadores da paisagem, adotando-se como técnica básica a

cartografia leva, em um primeiro momento, à construção de um modelo que serve de base para a visualização e a compreensão da estrutura e do nível de interação desses elementos formadores da paisagem. Este estudo está ancorado na teoria de sistemas proposta inicialmente, embora já utilizada de forma sistemática, por von Bertalanffy em 1937 que, na época, apoiou-se na mudança de paradigma da ciência para uma concepção organicista. Na teoria proposta, o todo é maior que a simples soma das partes, ou seja, os processos formadores da paisagem se interagem de maneira sinérgica resultando em feições que são próprias daquela paisagem. Nesse sentido, o estudo da paisagem, também chamado de geoeologia, visa buscar o conhecimento do meio natural por meio de seus processos e elementos constituintes e conhecer a interação existente entre esses processos em relação à paisagem natural e em relação à paisagem cultural ou antropogênica. Além do conhecimento e compartimentação da paisagem, faz-se necessário um estudo sobre a fragilidade desses ambientes naturais com base na teoria da ecodinâmica proposta por Tricart. O conhecimento da fragilidade antroponatural das unidades da paisagem utiliza como técnica básica a modelagem em ambiente de sistemas de informações geográficas, levando-se em conta alguns dos geoelementos formadores dessa paisagem, atribuindo-lhes peso de acordo com uma escala préconcebida. É por meio desse conhecimento sobre o meio que se pode estabelecer um diagnóstico e, a partir daí, formular estratégias visando ao uso dos recursos naturais de modo racional de cada uma das unidades da paisagem. A partir do conhecimento, da análise e da apreensão dos compartimentos da paisagem e suas fragilidades pode-se planejar melhor o uso dos recursos naturais, nesse sentido foram estabelecidas as seguintes hipóteses de trabalho: a formação geológica e o modelado geomorfológico são os principais condicionantes para a diversidade da paisagem na Bacia do Rio Pandeiros; a ocupação antrópica da região é resultado de uma combinação de fatores do meio natural e revela um padrão de uso e ocupação que, por sua vez, estabelece relação com a fragilidade ambiental do meio; A variação do método de cômputo da fragilidade ambiental baseado na média ponderada, sugerido nessa tese, é capaz de representar a fragilidade ambiental da bacia.

A bacia, quando considerada como recorte espacial para estudos que envolvam a temática ambiental, revela a adoção da teoria de sistemas como referencial teórico básico. Para o maior conhecimento sobre esse recorte espacial, há de se considerar fatores físicos, biológicos e socioeconômicos como agentes formadores, identificar a relação entre esses agentes na formação da paisagem e definir os compartimentos constituintes, gerando informações que servem de subsídio para a concepção de um planejamento ambiental. Nesse sentido torna-se necessário o estudo das teorias relativas aos sistemas e paisagem, e de temas

como, geossistema, modelado, cartografia, dinâmica e fragilidade ambiental, temas, às vezes, bastante controversos na geografia.

Escolheu-se a bacia do Rio Pandeiros por ser essa uma região de grande destaque natural, seja pela formação de uma extensa área de inundação em sua foz, que é responsável pela reprodução de parte da ictiofauna do Rio São Francisco, ou pelas veredas que são encontradas ao longo de sua rede de drenagem. Os resultados advindos de sua ocupação, dada suas características naturais, têm causado impactos ambientais, como erosão e exposição do solo, o carreamento de sedimentos e assoreamento dos rios, córregos e veredas, o que pode comprometer a reprodução das espécies de peixes na bacia.

Esta tese tem como objetivo geral identificar e compartimentar as unidades da paisagem na bacia do Rio Pandeiros na região Norte de Minas Gerais, aplicando a concepção sistêmica, bem como conhecer a fragilidade ambiental desses ambientes e, como objetivos específicos: Obter dados espacialmente referenciados dos elementos formadores da paisagem, elaborar uma base de dados em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) organizando os planos de informação desses elementos e elaborar mapas dos componentes da paisagem; por meio da elaboração de transectos, apreender sobre a estrutura e as conexões estabelecidas entre esses elementos; classificar os diversos compartimentos da paisagem por meio de uma análise geoecológica da bacia; Comparar modelos empíricos a fragilidade ambiental para a bacia do Rio Pandeiros; Identificar, sob a ótica sistêmica, a relação entre os entes formadores das diferentes classes de fragilidade ambiental e seu peso na composição desses ambientes.

O resultado da pesquisa é apresentado nesta tese de forma estruturada em cinco capítulos. No capítulo um, foi realizada uma discussão sobre as bases teóricas adotadas nesse trabalho, que engloba desde a teoria geral dos sistemas, como a teoria geossistêmica, a análise da paisagem e fragilidade ambiental e sobre os procedimentos metodológicos da pesquisa, tendo como método principal a cartografia dos elementos que compõem a paisagem natural e a paisagem cultural. Os elementos mapeados foram: clima, geologia, o modelado do relevo, solos, vegetação natural e uso e ocupação do solo. Os mapas elaborados serviram de base para a posterior elaboração dos perfis geoecológicos e a compartimentação geoecológica da bacia. No segundo capítulo apresentou-se uma descrição detalhada dos elementos que compõem a paisagem anteriormente mapeados. Na análise, está descrita, além dos elementos formadores, a ocupação do solo na bacia. No terceiro capítulo apresentam-se a análise e a interpretação dos perfis geoecológicos elaborados, a identificação e apreensão das relações existentes entre os elementos constituintes e sua dinâmica. A análise se deu pela leitura vertical e horizontal

desses elementos, presentes nos perfis geoecológicos. O quarto capítulo revela o resultado da análise realizada em capítulos anteriores em uma síntese, a classificação das unidades geoecológicas da bacia e sua descrição por meio de produtos cartográficos e as observações apreendidas sobre a fragilidade dos sistemas naturais modeladas, a partir de método empírico de análise. No quinto e último capítulo foi realizado uma síntese sobre com as principais conclusões sobre os resultados encontrados.

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização deste trabalho se fez necessário uma revisão bibliográfica sobre temas como os sistemas, paisagem e modelagem de sistemas aplicados à geografia. Esta tese foi elaborada com base na proposta geossistêmica de Sotchava (1977; 1978), que se apoia na teoria geral dos sistemas, proposta por von Bertalanffy em 1937.

1.1. A abordagem sistêmica

Embora tenha sido formalmente formulada com o lançamento do livro Teoria Geral dos Sistemas algumas obras anteriores já indicavam essa direção. Köhler (1924) e Lotka (1925) utilizaram abordagem semelhante na física, mas não consideraram a generalidade do tema e sua expansão para outros campos da ciência. Essa abordagem, segundo Christofolletti (1999), surgiu na biologia teórica na década de 1930 em função de seu uso por analogia aos sistemas biológicos e foi absorvida por outras disciplinas posteriormente. Na geomorfologia, o conceito de sistema foi introduzido por Chorley (1962), sendo que vários aspectos dessa abordagem foram considerados por autores, como Christofolletti (1979), Strahler (1980) e Hugget (2012). Na geografia, sua utilização como base teórica se deu com maior intensidade na geografia física, que se baseia na modelagem e quantificação dos elementos que compõem a paisagem, que, utilizando uma abordagem preferencialmente indutiva, levava a um melhor entendimento desses elementos constituintes e de sua interação.

Segundo von Bertalanffy (1977), o ponto de vista sistêmico penetrou e provou ser indispensável numa variedade de campos científicos e tecnológicos, configurando-se como um novo paradigma, ou seja, uma reorientação do pensamento e da concepção de mundo em contraposição ao paradigma mecanicista. O enfoque mecanicista se mostrou ineficiente para atender aos problemas teóricos com seu tratamento por partes e o isolamento dos fatores causais, frutos de uma abordagem mais reducionista no estudo da natureza. A abordagem holística sistêmica partiu do princípio de que o todo é maior que a simples soma das partes constituintes, o que resulta em propriedades que não podem ser explicadas com base na simples análise das partes, pois na natureza existe uma tendência à formação de conjuntos que é resultado da interação entre esses elementos constituintes. Segundo Christofolletti (1999), a concepção holística serviu de base para a obra de Alexandre von Humboldt, denominada Cosmos.

O conceito de sistema somente foi explicitado, como entendido atualmente, depois da introdução da teoria geral de sistemas, na biologia. Chorley e Kennedy (1971) conceituaram sistema como:

“um conjunto estruturado de objetos e/ou atributos. Esses objetos e atributos consistem em componentes ou variáveis (isto é, fenômenos que são passíveis de assumir magnitudes variáveis) que exibem relações discerníveis uns com os outros e operam conjuntamente como um todo complexo, de acordo com determinado padrão”. (CHORLEY e KENNEDY, 1971)

Os mesmos autores destacaram o aspecto conectivo das partes e a totalidade do conjunto. Há de se destacar também o aspecto estrutural em que o todo se organiza. Para Christofolletti (1979), aos sistemas se ajustam três noções, a de unidade, a de totalidade e a de complexidade. À unidade se aplica a exclusividade, a unicidade, ou seja, a capacidade de ser único e ao fato de essa unidade pertencer a um conjunto. A totalidade se refere justamente a esse conjunto emanado da associação das partes. As unidades estão também associadas entre si por uma infinidade de relações e fluxos, inclusive os fluxos de retroalimentação (*Feedback*) que regulam um sistema e ligam subsistemas entre si, de forma a possuir uma complexidade no arranjo das unidades ao compor a totalidade. Nessa direção, Christofolletti (1979) afirma que a complexidade tem a ver com a estrutura e a ordem procurando regras básicas e princípios comuns.

As noções de unidade, totalidade e complexidade se ajustam à compartimentação da paisagem, na medida em que são utilizadas como critérios para o entendimento e a separação das unidades sob a guarda da teoria de sistemas.

Os sistemas foram classificados por Foster, Rapoport e Truco (1957) sob o critério funcional em sistemas isolados, aqueles que não trocam energia, matéria ou informação de outros sistemas que o circundam e em sistemas não isolados, aqueles que se relacionam com outros que os circundam. Os sistemas não isolados podem ser divididos em não isolados fechados, aqueles que permitem a troca de energia, mas não de matéria com os sistemas vizinhos e os não isolados abertos, como sendo aqueles que permitem a troca de energia e matéria com os sistemas circundantes. Neste trabalho, o recorte espacial adotado é a bacia hidrográfica, que por sua vez é entendida como um sistema não isolado aberto, aquele em que há troca de energia e matéria com outros sistemas que o circundam.

O enfoque sistêmico foi difundido em diversas disciplinas a partir dos anos 1960 e, na análise geocológica da paisagem, tornou-se a base científica na medida em que, segundo

Rodriguez (2007), consiste em uma abordagem em que qualquer diversidade estudada pode ser considerada como uma unidade, um sistema, que se manifesta sob diferentes graus de homogeneidade segundo sua estrutura, seu meio, suas relações, sua intensidade e seus elementos. Dessa forma, pode-se definir como um sistema um conjunto de elementos que encontram relações entre si e que formam uma determinada unidade e integridade (RODRIGUEZ, 2007).

Segundo Troppmair e Galina (2006), o espaço geográfico, desde os gregos foi estudado de forma integrada, visão essa que fora esquecida durante tempos e se fez ressurgir por meio de Humboldt, no século XVII. Considerando a aplicação da teoria geral dos sistemas aos sistemas ambientais, na busca de conhecer e classificar suas unidades da paisagem por meio de suas características e sua componente espacial, ressurgem na biologia na década de 1930 e depois há o seu direcionamento para a geografia a partir da década de 1960, com seu estudo evoluindo a partir de quatro escolas principais, a escola alemã, a escola russo-soviética, a escola anglo-saxônica e a escola francesa.

Os sistemas possuem qualidades e atributos que podem ser mensurados, sendo possível por meio dessas variáveis, a descrição do sistema. As variáveis relativas aos sistemas podem ser relativas à sua forma, tamanho, extensão e fluxos.

1.2. Geossistemas e Paisagem

O estudo de forma integrada e sistêmica, com base na aplicação da teoria geral dos sistemas, na geografia se deu por meio do conceito de geossistemas, que juntamente com o conceito de paisagem, são bastante controversos.

A escola alemã tem como seu expoente inicial Alexander von Humboldt,

“Humboldt era um naturalista rigoroso, extremamente cuidadoso na mensuração, no registro e coleta de dados e amostras, cioso de metodologias e técnicas confiáveis buscando sempre compreender as conexões, por mais complexas que possam ser, para alcançar as leis e as totalidades que explicam a Terra e o Universo” (AMORIM FILHO, 1998, p.132).

O termo paisagem tem relação com a palavra de origem italiana *Paesaggio*, introduzido durante a Renascença, significando aquilo que se vê no espaço, ou aquilo que o olhar abrange em um único golpe de vista, ou seja, o termo paisagem teve inicialmente uma conotação estética ligada ao paisagismo (CHRISTOFOLLETI, 1999). O termo *Landschaft*, de origem germânica, foi o primeiro a surgir com a designação de região de dimensão média, o

território onde se desenvolve a vida de pequenas comunidades humanas, porém Christofolleti (1999) afirma que os geógrafos julgaram necessário acrescentar ao termo *Landschaft* uma conotação científica e no final do século XIX encontra-se estabelecida a *Landschaftskunde* como ciência da paisagem, considerada como uma ciência da paisagem com perspectiva territorial que leva em consideração a localização espacial das estruturas da natureza.

A ciência da ecologia da paisagem foi introduzida por Carl Troll, em 1938, que a considerava como o resultado da interação entre Geografia, por meio dos estudos da paisagem, com a Biologia, por meio da ecologia. Nesse sentido, a Geoecologia, termo posteriormente adotado por Troll, devia se preocupar não apenas com as paisagens naturais, mas também com a interação do homem com o ambiente natural, em consonância com o que afirma Sauer (1925), a paisagem como um organismo complexo constituído pela associação de elementos materiais e recursos naturais disponíveis, considerando os respectivos usos que fizeram deles os grupos culturais que ali habitam.

Na escola russo-soviética, Sotchava introduziu, sob a ótica sistêmica, o conceito de Geossistemas e lançando as bases para a Geoecologia. Os fundamentos da geoecologia foram plantados pelo cientista russo Dokuchaev, nos fins do século XIX, que empregou o enfoque ecológico paisagístico ao analisar o uso da natureza, levando-se em conta o homem e a sociedade (RODRIGUEZ, SILVA E LEAL, 2012).

Sotchava, ao criar o termo Geossistema, o deixou bastante vago e flexível, por isso vários geógrafos o utilizaram de forma diferente em termos de conteúdo, metodologia, escala e enfoque (TROPPEMAIR E GALINA, 2006). Nesse sentido, o conceito de geossistema tem sido utilizado segundo as seguintes concepções: - como formação natural, como funções terrestres complexas, como qualquer sistema terrestre, e como objeto de estudos das ciências da terra (RODRIGUEZ, 2007).

Foi a partir de 1960 que a geoecologia começou a definir-se como uma ciência que estuda os complexos territoriais naturais e antropogênicos, as paisagens e geossistemas continentais e marítimos, no nível global, regional e local. Dessa maneira, a geoecologia se consolida como disciplina direcionada à solução de problemas e a elaboração de princípios e métodos para o uso racional dos recursos naturais e conservação da biodiversidade (RODRIGUEZ, SILVA E LEAL, 2012).

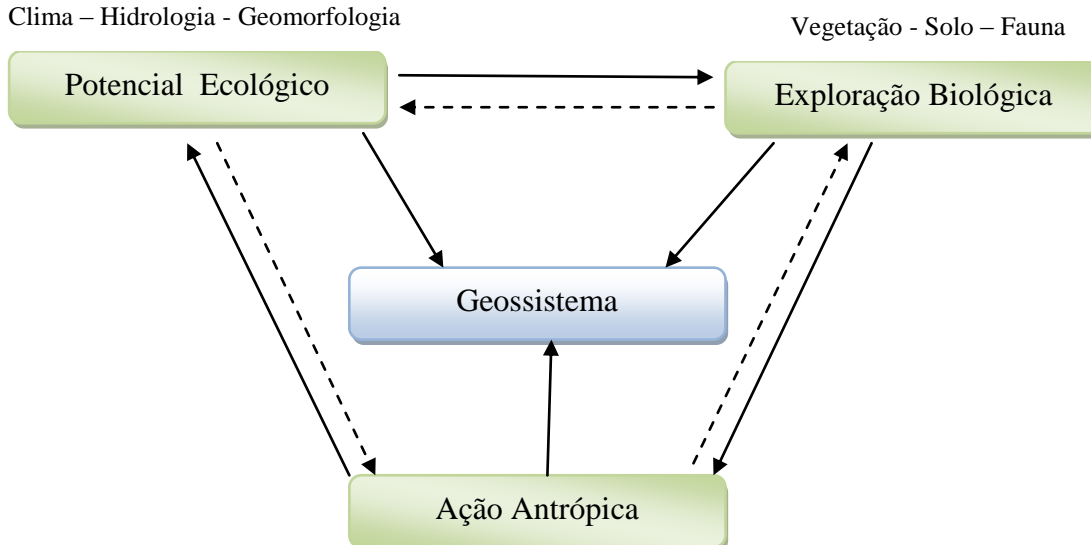
A paisagem é caracterizada pelas seguintes propriedades (Rodriguez, 2007): a comunidade territorial, o caráter sistêmico e complexo de sua formação, o nível de intercâmbio de fluxos de substância, energia e informação e a sua homogeneidade relativa à associação espacial.

O conceito de paisagem como formação antroponatural é o mais utilizado no campo da ciência geográfica e consiste em um sistema composto de elementos naturais e antropogênicos que alteram a paisagem natural formando paisagens de nível hierárquico inferior, porém esse conceito é, segundo Rodriguez (2007), difundido sob outras conotações, a saber: Paisagem como aspecto externo de uma área ou território, paisagem como formação natural, paisagem como sistema econômico social e paisagem cultural.

Segundo Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2007), os regulamentos mais gerais de diferenciação são a zonalidade e a azonalidade, podendo-se distinguir diferentes tipos de zonalidade, a saber: latitudinal, hidrotérmica, orogenética, paradinâmica e estrutural. A azonalidade, por sua vez, altera a manifestação da zonalidade, tendo como fatores azonais as condições geológico-geomorfológicas, as diferenças entre relevo, o nível das águas subterrâneas e a drenagem superficial. As paisagens no nível local sofrem influência não só dos fatores globais de zonalidades como de fatores internos, resultados da interação de seus componentes. Em nível local, predomina a diferenciação topológica e morfológica da paisagem. Nesse nível, as unidades da paisagem sofrem grande influência do fator antropogênico. A diversidade da paisagem nesse nível de estudo é bem maior, sendo que essa diversidade não pode ser explicada apenas pela zonalidade. Nesse nível de estudo, o geotopo, na classificação proposta por Bertrand (2004), expoente da escola francesa, é a unidade básica para a diferenciação da paisagem.

Bertrand (1978) aplicou a teoria de geossistemas à realidade francesa, levando em consideração as dimensões e escalas daquele país. Como forma de compartimentação da paisagem para estudos em geografia, Bertrand (2004) propôs uma classificação com seis níveis hierárquicos, sob a ótica temporoespacial, que são: a zona, o domínio, a região, o geossistema, o geofáceis e geotopo. Esse nível de classificação, segundo o próprio autor (BERTRAND, 2005), é um meio de aproximação em relação a realidade geográfica. Na classificação proposta destacam-se as unidades de 4^a ou 5^a grandeza, o Geossistema, que pode compreender desde alguns quilômetros quadrados até algumas centenas de quilômetros quadrados. É nessa escala que, segundo Bertrand (2004), ocorrem os principais fenômenos que interferem na paisagem. Os geossistemas resultam da interação de fatores geomorfológicos, como geologia, declividade, vertentes; fatores climáticos, como: precipitação e temperatura; e fatores hidrológicos, como: pH da água, lençóis d'água e ressecamento do solo. Esses fatores são agrupados como potencial ecológico do geossistema. A exploração biológica é resultado da interação entre a vegetação, o solo e a fauna local (Figura 1).

Figura 1 - Esboço da definição teórica de geossistema proposta por Bertrand
 Clima – Hidrologia - Geomorfologia



Fonte: Bertrand (2004)

Segundo Bertrand (2004), “A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados, é, em 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 único e indissociável, em perpétua evolução”. Nesse sentido, há de se considerar a intervenção antrópica em seu estudo. O geossistema apresenta um relativo equilíbrio e uma interação entre os fatores geomorfológicos e a exploração biológica resultando, assim, uma relativa estabilidade do sistema. Apesar da estabilidade considerada na formalização do conceito de geossistema, deve-se levar em consideração a dinâmica, tanto do potencial ecológico como da ocupação biológica, considerando sua variação no espaço e no tempo. Dessa maneira o geossistema apresenta-se em movimento dinâmico, sem descaracterizar-se como unidade fisionômica, com a presença de paisagens que caracterizam os diversos estágios de sua evolução. Esses estágios da evolução são classificados por Bertrand (2004) como subunidades do geossistema, os geofáceis e os geótopos. O mesmo autor considera que, antes de classificar o geossistema, há necessidade de nomeá-lo e esse nome geralmente é designado pela vegetação, não sendo essa regra uma norma geral de aplicação, há a possibilidade de nomear um geossistema também de acordo com a associação geográfica característica da região.

Tricart (1977) considerou o conceito de sistema como "o melhor instrumento lógico que dispomos para estudar os problemas do meio ambiente", sendo que a adoção desse conceito permitiu a conexão de vários conhecimentos isolados e dispersos, fazendo com que a geografia corrigisse o excesso de análise unilateral que sofreu e a isolou de outras ciências, tornando-a uma ciência por demais acadêmica. Dessa maneira, o autor abandona o conceito de geossistema centrando atenção ao conceito de ecossistema. O homem interage com os ecossistemas em que vive e esses, por sua vez, reagem impondo-lhe adaptações. No momento atual, não existe nenhum ecossistema que não tenha sido modificado pelo homem. Sendo essas modificações de natureza e intensidade diversas, cabe, então, ao homem, por ocasião de um planejamento ou para a conservação, identificar o estágio inicial desse ecossistema. Tricart (1977) propõe o conceito de ecodinâmica integrado ao conceito de ecossistema e enfoca as relações existentes entre a dinâmica e os fluxos de energia e matéria no meio ambiente.

Para a gestão adequada dos recursos ecológicos sob o ponto de vista sistêmico, Tricart (1977) afirma que se deve ter um bom conhecimento do funcionamento do ecossistema, dos fluxos de energia e matéria que o caracterizam, bem como identificar quais modificações serão desencadeadas pelas intervenções propostas.

A ecodinâmica é baseada na dinâmica dos ecossistemas cujo conhecimento é importante para a conservação e desenvolvimento dos recursos ecológicos. Uma unidade ecodinâmica se caracteriza pela dinâmica do ambiente que tem repercussões imperativas sobre as biocenoses, sendo morfodinâmica dependente do clima, topografia e material rochoso e da interação entres esses fatores (TRICART, 1977). Sob a ótica da dinâmica, os meios morfodinâmicos podem ser classificados em função dos processos atuais em: meios estáveis, meios intergrades e os meios fortemente instáveis. A noção de instabilidade se aplica à interface atmosfera/litofera, sendo que, nos meios estáveis, a evolução se dá de modo suficientemente lento e de modo constante, sendo associada de maneira geral a vegetações climáticas, como por exemplo, meios que possuem uma cobertura vegetal fechada para opor-se aos processos mecânicos de morfogênese, ou áreas com dissecação moderada sem incisão violenta de cursos d'água, ou ainda meios que não possuam manifestações vulcânicas (TRICART, 1977).

Os meios intergrades se caracterizam por uma transição entre meios estáveis e meios instáveis, sendo caracterizados por interferência permanente da morfogênese e da pedogênese. Esses meios são delicados e susceptíveis a fenômenos de amplificação, transformando-se em

meios instáveis, sendo necessário, por vezes, a implantação de estruturas para sua estabilização (TRICART, 1977).

Nos meios instáveis, a morfogênese é o elemento predominante na dinâmica natural e fator determinante do sistema natural. A origem da morfogênese é de múltiplas origens, podendo, por vezes, ser uma combinação delas. Exemplos de origens da morfogênese são o vulcanismo, a tectônica, a degradação antrópica e fenômenos climáticos catastróficos (TRICART, 1977).

Na Austrália a *Commonwealth Scientific Industrial Research Organization* (CSIRO) mapeou, seguindo os preceitos da escola Anglos Saxônica, as unidades da paisagem (*Land Systems*) com preocupação eminentemente prática de delimitar os tipos de paisagem. Segundo Christian (1958) o sistema de classificação possui três níveis de identificação e representação: o sistema de terras (*Land Systems*), as unidades de terra (*Land Units*) e sítios ou lugares (*Sites*).

O *Land System* é o nível mais elevado dado pela associação de *Land Units* que são geograficamente e geomorfologicamente relacionados, formando um agrupamento. Para a delimitação desse agrupamento, utilizam-se as feições características baseadas na geologia ou na geomorfologia. As unidades de terra (*Land Units*) podem ser reconhecidas como unidades relacionadas que possuem um padrão recorrente de topografia solo e vegetação, sendo que a mudança do padrão determina a fronteira das unidades de terra. As unidades de terra são constituídas por um conjunto de sítios (*Sites*). Os sítios representam o nível inferior do sistema de classificação sendo parte das unidades de terra que apresentam apenas pequenas variações nos solos, vegetação, geologia e comportamento hidrológico. Podem ser representados por uma vertente ou uma escarpa.

Os geógrafos holandeses do *International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation* (ITC) incorporaram o conceito de unidades de terras introduzido pelos australianos, considerando a unidade de terra como conceito fundamental na ecologia da paisagem e suas aplicações. Zonneveld (1989) afirma que a unidade de terra é “uma porção de terra que é ecologicamente homogênea para o nível da escala concebida ou escolhida” adotando terra como sinônimo de paisagem.

Na classificação da CSIRO, segundo Ross (2009), não há uma preocupação genética para identificar e explicar os níveis taxonômicos, valorizando apenas aspectos descritivos que têm como base a geomorfologia.

No Brasil, Monteiro (2000) procurou empregar a teoria sistêmica, estabelecendo as bases metodológicas para os estudos da paisagem, tendo em vista sua delimitação e categorização.

A versão Francesa de geossistema, para Ross (2009), apresentou uma série de ideias e concepções insuficientemente refletidas, carecendo, então, de mais pesquisas e aplicações, sendo, no entanto, o ponto de partida para futuras reflexões de modo a superar tais problemas. Bertrand, ao definir, caracterizar e classificar as unidades da paisagem cometeu determinada confusão que resultou numa mistura de conceitos que, naquela época, não estavam completamente amadurecidos e, por conseguinte, influenciou a geografia brasileira a um caminho não muito adequado, difundindo a concepção de que o geossistema era um nível de classificação dentro do conjunto de seis táxons.

Nesse sentido, Troppmair e Galina (2006) afirmam que as escalas dos geossistemas utilizadas pelos geógrafos são vagas, sendo que Bertrand, por aplicar a teoria para a realidade francesa, levou em conta a escala daquele país e se refere a áreas relativamente pequenas para definir os geossistemas. Para esses autores, assim como o conceito de paisagem, os geossistemas abrangem áreas amplas, sendo que o termo que deve ser aplicado para áreas grandes, referindo-se, assim, no Brasil a áreas como a Floresta Amazônica, o Cerrado e a Caatinga, não podendo, dessa maneira, considerar um vale ou uma vertente como um geossistema, ou até mesmo, o geótopo, que abrange área de dezenas de quilômetros quadrados. Os autores conceituam geossistema como “uma unidade complexa, um espaço amplo que se caracteriza por certa homogeneidade de seus componentes, estruturas, fluxos e relações que, integrados, formam o ambiente físico onde há exploração biológica”.

O caráter territorial ou espacial dos geossistemas é um dos elementos que o diferencia do conceito de ecossistema que, por sua vez, trata dos organismos e o meio natural. Nesse sentido, a análise ambiental baseada no uso da teoria de geossistemas, pode ser aplicada em diversas escalas, sendo preponderante identificar seus elementos constituintes e suas relações internas.

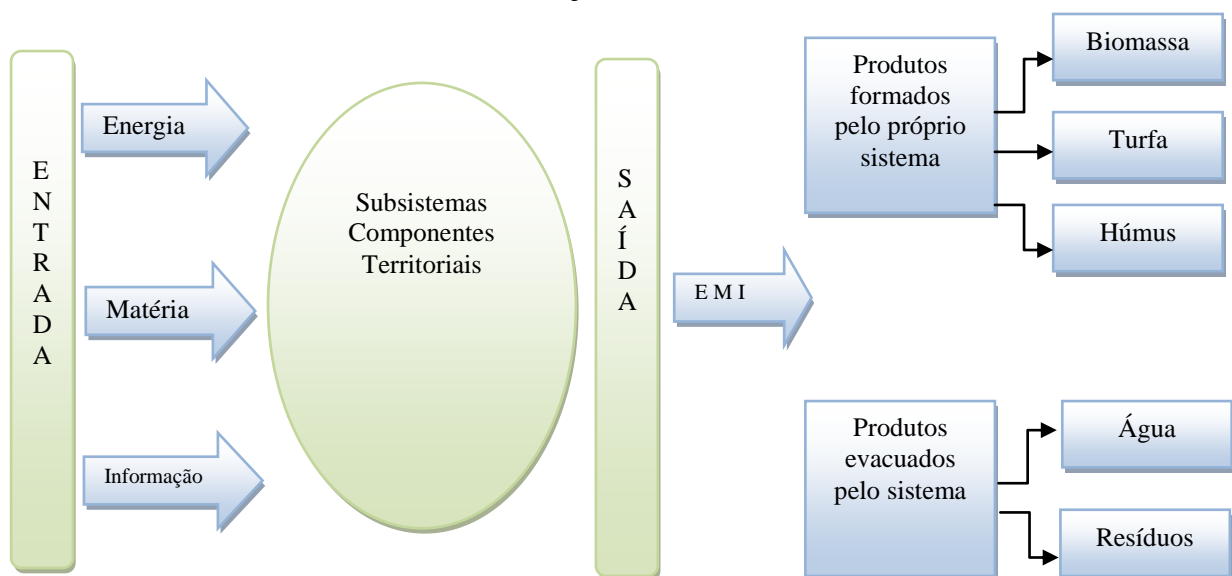
Apesar da amplitude de conceito, metodologia e escala, os geossistemas são importantes no estudo sobre o meio ambiente, pois eles integram os elementos que compõem a natureza, a sua inter-relação e condicionantes, permitindo uma avaliação e compreensão sobre sua formação e evolução. Dessa maneira, a abordagem geossistêmica considera de maneira organizada a estrutura vertical e horizontal do ambiente para um maior entendimento da sua formação e impactos aos quais está sujeito. A feição, a fisionomia do espaço, resultante

das inter-relações e dinâmica que ocorrem em determinado geossistema são entendidas neste estudo como paisagem, ou seja, a fisionomia do geossistema.

Os fluxos, por sua vez, são constituídos por energia e matéria que circulam pelo sistema. Sendo a paisagem sistemas abertos com fluxos de entrada e saída de Energia (E), Matéria (M) e Informação (I), seus componentes são frequentemente transformados, mantendo a homeostase, ou seja, a tendência ao equilíbrio entre os fluxos de entrada e saída (Figura 2).

Os sistemas abertos estabelecem um equilíbrio dinâmico mantendo um fluxo contínuo de entradas e saídas, sendo portanto, a estabilidade da paisagem o resultado do funcionamento desses mecanismos de regulação, com capacidade de retorno gradual ao seu estágio inicial após uma intervenção, a resiliência. Bertrand apresenta posteriormente uma nova proposta de classificação dos geossistemas que se inspira na teoria de bioresistatia de H. Erhart, distinguindo em tipos agrupados em dois conjuntos, a saber: os geossistemas em bioestasia, classificados de acordo com sua maior ou menor estabilidade em climácicos, paraclimácicos, degradados em dinâmica progressiva e degradados em dinâmica regressiva e o segundo conjunto, os geossistemas, em resistasia, classificado em geossistemas com morfogênese natural e geossistemas com geomorfogênese ligada à ação antrópica.

Figura 2 - Modelo sistêmico do funcionamento da paisagem, absorção, transformação e consumo de EMI



Ross (2009) apresenta uma crítica ao método de classificação acima, pois, segundo ele, o conceito apresenta dificuldades práticas e subjetividade analítica, porque nem sempre é possível afirmar com segurança se um geossistema está em biostasia ou resistasia.

A relação entre os sistemas de classificação propostos pelos soviéticos, pelos australianos e pelos holandeses é apresentada na tabela abaixo (Tabela 1).

As unidades de terras (*Land Units*), que correspondem à Unidade Geomorfológica proposta pelo ITC e às Comarcas pela Proposta dos Soviéticos, não correspondem necessariamente aos limites da bacia hidrográfica.

A bacia hidrográfica, segundo Botelho (1999), é uma área da superfície terrestre drenada por um canal principal, limitada por divisores de água. O seu uso como recorte espacial na pesquisa científica cresceu muito, principalmente nas décadas de 1980 e 1990, sendo que, a primeira utilização da bacia hidrográfica como unidade de planejamento formal ocorreu em 1933, nos Estados Unidos, com a criação da *Tennessee Valley Authority* (TVA). Para Bueno e Lobo (2003) a difusão do uso do termo microbacia se baseia no reconhecimento do uso da água como recurso e como veículo de transporte e meio de propagação das soluções do solo, dos sedimentos, dos poluentes ou dos vetores de doenças.

Tabela 1 - Níveis hierárquicos de classificação dos sistemas de terrenos do CSIRO, ITC e Soviéticos

Níveis	CSIRO	ITC	Soviético
1	<i>Complex Land System</i>	Província geomorfológica	Região fisicogeográfica e localidade
2	<i>Land System</i>	Unidade geomorfológica principal	Localidade (Comarca)
3	<i>Land Unit</i>	Unidade geomorfológica	Comarca
4	<i>Site</i>	Detalhe geomorfológico	Fáceis

Fonte: Adaptado de Verstappen (1983)

Bueno e Lobo (2003) refletem ainda que, o uso da bacia hidrográfica como recorte espacial elege o critério funcional que, privilegiam os elementos do meio natural em detrimento de elementos também fundamentais de análise como a sócio economia, a esfera cultural e político administrativa.

A bacia hidrográfica é considerada um sistema pela ótica do funcionamento hídrico da bacia, o que não corresponde aos limites das unidades de compartimentos da paisagem, sendo o funcionamento dos compartimentos da paisagem diverso daquele. Um compartimento de cimeira, a chapada, sendo uma unidade de terras, um compartimento, pode pertencer a mais de uma bacia hidrográfica. Para a delimitação dessas unidades de funcionamento utiliza-se, principalmente, critérios morfológicos do relevo.

A estrutura primitiva do relevo, sua evolução e funções de seus componentes são fundamentais para a caracterização geocológica. Para entender a dinâmica presente bem como sua caracterização é necessária a reconstrução do ambiente paleogeográfico. Segundo Christofolletti (1980), “no conhecimento geomorfológico encontra-se implícita a ideia de que o modelado evolui como resultado da influência exercida pelos processos morfogenéticos.” Davis (1899) sistematizou a sucessão de formas por meio de sua teoria do ciclo geográfico. No ciclo ideal, tem-se a fase de juventude, maturidade e senilidade. A juventude tem início quando uma superfície aplainada sofre um soerguimento em relação ao seu nível de base, ampliando a diferença entre esse nível, provocando o encaixamento dos rios, a intensificação da erosão no leito fluvial e a produção de grande quantidade de detritos que são arrancados das vertentes. A fase de maturidade é designada por um estágio em que a erosão está suficientemente desenvolvida, a drenagem perfeitamente organizada e as forças harmoniosamente combinadas. A senilidade é caracterizada pelo rebaixamento lento dos declives, principalmente nas vertentes. O modelo de pedimentação e pediplanação, proposto *a posteriori*, apresentou uma relação com o modelo anterior sendo que, para Christofolletti (1980), a diferença entre eles reside na maneira pela qual as vertentes evoluem e nos pressupostos do nível de base. No modelo de pedimentação e pediplanação, houve uma generalização do nível de base, podendo qualquer ponto de um rio ser considerado nível de base para os demais pontos à montante. Diferentemente da teoria do ciclo geográfico de Davis, no modelo de pedimentação e pediplanação a evolução e regressão das vertentes se dá conservando as declividades, com a formação de pedimentos entre o sopé da vertente e o leito fluvial. Dessa evolução o pediplano, surge como superfície aplainada resultante da regressão paralela das vertentes em condições de clima seco.

O compartimento central do cráton do São Francisco, segundo Iglesias e Uhlein (2009), exhibe uma sucessão sedimentar constituída por coberturas neoproterozoicas do grupo Bambuí, farenozoicas do grupo Urucuia e Depósitos Terciário e quartenários, com uma estrutura tabular sub-horizontal pouco deformada. Valadão (2009) afirma que dada à escassez de registros estatigráficos das áreas de escudos e maciços protezoicos, devido ao intenso processo denudacional, a geomorfologia tem-se valido das paleoformas para propor a evolução do relevo e, dessa forma, o reconhecimento e caracterização das superfícies de aplainamento que, junto com o conhecimento produzido por outras áreas das geociências contribui para o estudo da evolução do relevo continental. O autor (*Op. Cit.*) afirma que a superfície Sul Americana permaneceu soerguida e em acelerado processo erosivo desde o paleozoico e foi marcada por intenso processo de desnudação e acúmulo de espessa pilha de sedimentos, sendo a superfície mais antiga reconhecida e mapeada na região. A superfície Sul Americana, denominação proposta por King (1956), é uma planície de desnudação do cretáceo e do terciário médio. Essa superfície foi elaborada após o encerramento da sedimentação mesozoica nas bacias do Paraná e Sanfranciscana. Essa planície tem orientação norte sul aproximada e é revestida por mantos profundos com elevados teores de ferro apesar de seu substrato litológico variado, comumente recoberto por horizonte arenoso com encrostamentos lateríticos. A atividade tectônica do mioceno causou novo soerguimento em diversas áreas da superfície Sul Americana, sendo que a maior magnitude do soerguimento ocorreu nas bordas do cráton do São Francisco com valores de 300 a 550 m. Nas margens do Rio São Francisco, próximo à cidade de Januária, o soerguimento foi, segundo o autor, por volta de 100 m. A superfície Sul Americana é representada na área de estudo pela base dos escarpamentos, a uma altitude de 800 m. A superfície Sul Americana II está disposta na bacia nos terraços fluviais na calha dos rios, abaixo da cota de 500 m.

1.3. A Compartimentação das Unidades da Paisagem

Uma das preocupações da geografia é a divisão da terra em unidades diferenciadas que possuem características próprias distintas entre si. Nesse sentido a paisagem pode ser vista como uma unidade resultante da feição ou fisionomia do geossistema e pode ser objeto de divisão. Assim, sob o paradigma da teoria de sistemas, a paisagem é estudada neste trabalho como resultado da interação dos elementos que compõem o sistema e dos fluxos de energia e

matéria, para uma maior compreensão de sua formação e, como forma de subsídio para o planejamento territorial, deve ser compartimentada.

Para a classificação das paisagens, Rodriguez e Silva (2009) afirmam que:

Primeiro, é necessário diferenciar e classificar as paisagens naturais, ou seja, os corpos naturais. Depois, é preciso distinguir as formas de ocupação (densidade, intensidade e tipos de ocupação), e por último, passar à classificação das paisagens culturais. Esse procedimento permitirá entender como é a transformação das paisagens naturais em paisagens culturais.

Para a classificação das paisagens naturais (e também dos outros sistemas ambientais), é preciso distinguir duas categorias de sistematização: a tipologia e a regionalização. A tipologia significa distinguir as unidades pela sua semelhança e repetição, dependendo de determinados parâmetros de homogeneidade. A regionalização significa determinar as unidades pela sua personalidade e individualidade. As duas categorias se complementam, mas elas não são idênticas.

Tem, ainda, diferentes valores e utilidades para o planejamento e a gestão ambiental e territorial.

Muitos autores (BERTRAND, 1972; RODRIGUES, 2000, RODRIGUEZ, SILVA E CAVALCANTI, 2007; ROSS, 2005; ROSS, 2009) discorreram sobre a compartimentação das unidades da paisagem, sendo essa uma tarefa complexa e de difícil execução, conforme afirmam Amorim e Oliveira (2008),

A delimitação de Unidades de Paisagem apresenta grande complexidade, pois a interação entre os diversos atributos do sistema natural e do sistema antrópico permite a identificação dos atributos responsáveis pela dinâmica da paisagem, como também identificar as principais fragilidades ambientais de cada unidade, elemento essencial na gestão do território (AMORIM E OLIVEIRA 2008, p.179).

Para a delimitação das unidades da paisagem, os conceitos de unidade, totalidade e complexidade, mencionados anteriormente, devem ser levados em conta. A noção de unidade deve ser considerada no sentido de se buscar a individualização das unidades da paisagem sendo essas unidades entidades únicas em sua ocorrência. A noção de totalidade deve ser entendida como resultado da interação das partes componentes que formam um todo e devem resultar numa composição diferente, específica. Sendo assim, as unidades da paisagem são resultado da interação de seus elementos componentes, bem como dos fluxos de energia e matéria ali existentes. A noção de complexidade leva em consideração a multiplicidade de elementos componentes, os fluxos e suas ligações, inclusive as de retroalimentação na busca de uma estrutura e de um ordenamento, tendo como resultado um melhor entendimento e a classificação das unidades da paisagem.

A tarefa de individualização das unidades da paisagem constitui a tarefa inicial para seu estudo. Para Rodriguez (2009), a distinção e o estudo das unidades espaciais constituem tarefa fundamental da análise da paisagem, sendo base para o estudo das propriedades desses complexos. Nesse sentido deve se levar em conta quais os critérios e os métodos para a

realização dessa tarefa. Para Bertrand (1972) a individualização das unidades da paisagem deve ser realizada por meio da busca e do estabelecimento das descontinuidades da estrutura do geossistema como resultado do potencial ecológico, da exploração biológica e da ação antrópica. Dessa maneira, o critério para a individualização é a busca da descontinuidade entre as unidades. Para Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2007), a busca da homogeneidade deve ser o critério central, já que as paisagens se manifestam pela ação de fatores naturais e antropogênicos, sendo a homogeneidade das condições naturais, o caráter da estrutura e o funcionamento a base das propriedades dos complexos.

Com base nas noções de unidade, totalidade e complexidade, o que caracteriza uma unidade geocológica é a sua irrepetibilidade no espaço e no tempo, bem como sua inseparabilidade, ou seja, a unicidade de sua estrutura.

Para a delimitação das unidades da paisagem, Rodriguez et al. (2007) propõem cinco enfoques, conforme quadro adiante (Quadro 1).

Há de se ressaltar que o que os autores propõem, no quadro, como enfoques devem ser considerados como métodos e, por conseguinte, o que é proposto como métodos se trata de técnicas. Nesse sentido, cabe aqui uma breve discussão sobre o método para a individualização da paisagem que será aprofundado mais adiante em capítulo específico.

O método aplicado pelos soviéticos para estudos e classificação de paisagens se baseia na elaboração de transectos, na utilização de estações experimentais, na realização de análises de laboratório, na utilização de métodos gráficos de modelagem e mapeamento, resultando em uma teoria de dimensão geográfica.

Os Australianos, com um interesse primordialmente de ordem prática e objetivo de delimitar as unidades da paisagem, utilizaram, a partir de 1945, como âncora metodológica a interpretação de fotos aéreas e a elaboração de transectos contendo os geoelementos e suas interações para elaborarem uma representação cartográfica que serviu de base para a classificação dos sistemas de terras (*Land Systems*), unidades de terra (*Land Units*) e os sítios (*Sites*).

Quadro1 - Enfoques e Métodos de Análise da Paisagem

Enfoques	Conceitos básicos	Métodos	Índices
Estrutural	Estruturas das paisagens: monossistêmica e parassistêmica. Estrutura horizontal e vertical, geodiversidade	Cartografia das paisagens, classificação quantitativa-estruturais, tipologia e regionalização.	Imagem, complexidade, forma dos contornos, vizinhança, conexão, composição, integridade, coerência e configuração geocológica.
Funcional	Balço de EMI, interação de componentes, gênese, processos, dinâmica funcional, resiliência e homeostase.	Análise funcional, geoquímica, geofísica e investigações estacionais.	Função, estabilidade, solidez, fragilidade, estado geocológico, capacidade de automanutenção, autorregulação e organização, equilíbrio.
Dinâmico - evolutivo	Dinâmica temporal, estados temporais, evolução e desenvolvimento.	Retrospectivo, estacional, evolutivo e paleo-geográfico	Ciclos anuais, regimes dinâmicos, geomassa, geo-horizonte, idade e tendências evolutivas.
Histórico - antropogênico	Antropogênese, transformação e modificação das paisagens.	Histórico e análise antropogênica	Índices de antropogênese, cortes histórico-paisagísticos, perturbações, tipos de modificação e transformação humana (paisagens contemporâneas, trocas, hemerobia).
Integrativo	Sustentabilidade geocológica das paisagens; paisagem sustentável.	Análise paisagística integral	Suporte estrutural, funcional, relacional, evolutivo, produtivo das paisagens; categorias de manejo da sustentabilidade da paisagem.

Fonte: Rodriguez et al. (2007)

Para Ross (1995), há dois procedimentos para estudos da natureza e da sociedade: os *Land Systems*, que geram produtos analítico sintéticos e o procedimento multitemático que gera produtos analíticos na primeira fase e de síntese posteriormente. As pesquisas a partir dos *Land Systems* têm como referência os padrões da paisagem ou unidades da paisagem que são cartografadas com base nas características do relevo, solos, geologia, vegetação, uso da terra e socioeconomia.

De acordo com Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2007), “a representação das paisagens em mapas é uma tarefa que permite servir de resultado para as investigações e ao mesmo tempo de ponto de partida para análises ulteriores.” Dessa forma, a representação da paisagem

por meio de mapas, tendo como base as características dos elementos formadores dessa paisagem, é elemento de análise, servindo de ponto de partida para análises posteriores, gerando, dessa maneira, produtos de síntese. Para Ross (1994), as unidades da paisagem se individualizam pelo relevo, clima, cobertura vegetal, solos e o tipo de litologia em um arranjo estrutural ou mesmo por um desses elementos.

O enfoque estrutural, descrito por Rodriguez et al. (2007), deve ser tratado como uma forma de orientação à pesquisa, que se baseia na leitura horizontal e vertical da geodiversidade, tendo como método a cartografia, a elaboração de transectos e a classificação da paisagem.

Segundo Rodriguez e Silva (2009), a construção da tipologia para a classificação das paisagens deve seguir as regularidades geocológicas, sendo que uma simplificação excessiva pode levar a um reducionismo. Deve-se, então, elaborar princípios de classificação que correspondam à realidade.

1.4. A Fragilidade dos Sistemas Antroponaturais

Sob a égide do paradigma sistêmico, a geografia busca compreender a natureza por meio do estudo dos fluxos de energia e matéria que formam sob determinado arranjo estrutural o todo. Assim, a geografia natural busca a compreensão do estrato geográfico, estrato que é constituído pela parte superior da crosta terrestre, desde a baixa atmosfera até poucos metros abaixo daquela. Esse estrato geográfico compreende o habitat dos seres humanos e deve ser estudado tanto sob o aspecto natural como sob o aspecto relacionado à sua modificação pelo homem, ou seja, a relação homem natureza.

O uso dos recursos naturais presentes nesse estrato geográfico se intensificou a partir da revolução industrial, sendo fundamental a busca pelo limiar de tal uso pela sociedade atual, objetivando evitar o uso demasiado e não sustentável dos recursos naturais disponíveis.

O conceito de sustentabilidade tornou-se mais amplamente utilizado a partir da Conferência do Rio em 1992, fato que inaugurou um novo paradigma de estudo para a Geografia, o paradigma socioambiental. Sendo assim, o campo para a aplicação dos conceitos advindos desse novo paradigma é o espaço total, que na visão de Milton Santos, é estudado como sendo: “O espaço é o resultado dessa associação que se desfaz e se renova continuamente, entre uma sociedade em movimento permanente e uma paisagem em evolução permanente” (Santos 1979). Nesse sentido, Santos (1985) afirma que “o espaço não pode ser apenas pelas coisas, os objetos geográficos naturais e artificiais, cujo conjunto nos dá a

natureza. O espaço é tudo isso, mais a sociedade: cada fração da natureza abriga uma fração da sociedade atual.”

Alinhado com esse paradigma, conforme Ross (1995), estudos ambientais de abordagem geográfica têm como referencial uma determinada comunidade que vive em um determinado território e ali exerce suas atividades com um maior ou menor grau de complexidade em função do vínculo que mantém com o plano cultural, social e econômico. A sociedade deve ser incorporada aos estudos como parte fundamental da dinâmica dos fluxos energéticos do sistema.

O que se afirma acima é a relação de dependência entre o homem e a natureza como objeto de estudo da Geografia, na medida em que a intervenção do homem altera os fluxos de energia e matéria nos sistemas, modificando, assim, a intensidade desses fluxos e conseqüentemente o ponto de equilíbrio do sistema, quando objeto de intervenção humana. Dessa forma, Ross (1994) afirma que a tecnificação e a sofisticação crescente dos padrões socioculturais, aliadas ao crescimento populacional interferem no ambiente natural em busca dos recursos naturais. Essa tecnificação representada pela industrialização, a mecanização agrícola em monocultura e a grande implantação de pastagens têm alterado de modo irreversível o cenário da terra, levando a processos degenerativos da natureza.

No Brasil, segundo Ross (1994), a mineração e as monoculturas da cana de açúcar, café e soja foram responsáveis por surtos econômicos significativos, mas levaram a intensos processos de degradação da natureza e à exploração irracional dos recursos naturais, gerando grandes desperdícios. Esses processos de degradação é que tornam mais urgente o planejamento físico territorial com as perspectivas econômica e ambiental. O planejamento territorial deve levar em conta não só as potencialidades dos recursos, mas, acima de tudo, as fragilidades dos ambientes naturais frente às intervenções antrópicas.

Em função dos problemas ambientais, advindos dos diversos ciclos econômicos, muitas vezes, origem de severos danos ambientais, torna-se cada vez mais necessária a realização de um planejamento físico territorial e ambiental com vistas a não utilizar apenas os critérios econômicos e com isso ultrapassar os limites ambientais do meio. Seja qual for a unidade de planejamento, deve-se levar em conta a potencialidade dos recursos naturais e humanos, considerando as fragilidades ambientais naturais, para um desenvolvimento sustentável.

Segundo Rodriguez e Silva (2009), a sustentabilidade é vista como um paradigma que serve como orientação para a implementação de processos de planejamento e gestão

ambiental e territorial. A concepção do estudo das paisagens sob a ótica sistêmica garante os fundamentos conceituais da análise da sustentabilidade.

Estudos relacionados à fragilidade ambiental se apresentam de muita importância para a gestão do território. Modelos empíricos têm sido propostos de modo a sistematizar informações sobre os componentes da natureza, como relevo, solo, vegetação e clima na busca da identificação da fragilidade dos ambientes naturais. Diversos estudos sobre fragilidade ambiental foram realizados no Brasil (ROSS, 1994; CREPANI et al., 1996; CREPANI et al., 2001; SPÖRL E ROSS, 2004; KAWAKUBO et al., 2005; FREITAS et al., 2005; CALIJURI et al., 2007; AMARAL E ROSS, 2009; MASSA E ROSS, 2012). Esses estudos têm sido elaborados com base no conceito de Unidades Ecodinâmicas de Tricart (TRICART, 1977), que considera, sob a ótica da teoria de sistemas que parte do pressuposto de que as trocas de energia e matéria se processam através de relações de equilíbrio dinâmico e esse equilíbrio é frequentemente alterado pelas intervenções do homem. A partir do século XVIII as inovações e os avanços que se difundiram por diversos setores da sociedade, não só no meio urbano, mas também no meio rural, aliados ao crescimento das cidades e das melhorias das condições de saúde levaram à extrapolação dos processos rudimentares de produção agrícola como forma de abastecimento da população. Dessa maneira, foi necessário o uso dos bens e riquezas naturais em benefício da coletividade. O que se viu no Brasil, a partir de meados do século XIX, foi a devastação de matas e de florestas com o intuito de se produzir alimentos sem a devida preocupação com os danos ambientais advindos de tais práticas, como a erosão dos solos, a alteração de regimes hídricos, desperdiçando os recursos naturais sem se levar em conta os conhecimentos científicos disponíveis no mundo, de modo a melhor orientar a produção agrícola no país. Não obstante, a atividade industrial e o crescimento das cidades levaram ao lançamento de enormes quantidades de dejetos nos rios sem a devida preocupação com a sua recuperação. Dessa maneira Ross (1995) afirma que a elevada geração de resíduos, devido à sofisticação tecnológica cada vez maior das sociedades humanas e o aumento em termos populacionais, tem levado ao consumo cada vez maior de recursos naturais interferindo no ambiente natural.

Segundo Tricart (1977), o conceito de sistema é o melhor instrumento para se estudar os problemas de meio ambiente. O conceito permite uma visão dialética entre a necessidade de análise e a necessidade de uma visão de conjunto, permitindo a aquisição de conhecimentos básicos sobre ele. A adoção do conceito de sistemas permitiu tanto na ecologia quanto na geografia física a integração de conhecimentos anteriormente dispersos.

O conceito de ecodinâmica, proposto por Tricart (1977), é baseado no conceito de sistemas e leva em consideração a relação existente entre os diversos componentes da dinâmica e os fluxos de energia e matéria no meio ambiente. Nesse sentido, a utilização do conceito permite a identificação rápida das modificações que serão desencadeadas no meio por uma intervenção externa, o que leva a uma alteração na sua dinâmica natural. Com base nesse conceito Tricart (*op. cit*) classifica os meios em um nível taxonômico superior, considerando seu aspecto dinâmico em meios estáveis, intergrades e instáveis. Os meios estáveis possuem lenta e constante evolução, podendo ser designados pelo termo *climax*. São meios climáticos que permanecem sob influência maior da pedogênese no balanço entre pedogênese/morfogênese com cobertura vegetal suficientemente fechada e dissecação moderada, que estão em equilíbrio por atuação de mecanismos de autorregulação. Os meios intergrades são meios intermediários em um *continuum* que vão de meios estáveis aos meios instáveis. Esses meios estão sob influência de fenômenos de morfogênese e pedogênese, quando a instabilidade é fraca prevalece a pedogênese e na medida em que a instabilidade se acentua passam a prevalecer os fenômenos de morfogênese no balanço pedogênese/morfogênese. Os meios intergrades são zonas de transição biogeográfica que se tiverem seu equilíbrio modificado, podem rapidamente se transformar em meios instáveis. Os meios fortemente instáveis, por sua vez, possuem predominância dos fenômenos de morfogênese, como vulcanismo, atividade tectônica, deslizamentos, desabamentos e ravinamentos, dentre outros. Nas regiões semiáridas, chuvas torrenciais que ocorrem no período chuvoso podem realizar o trabalho de morfogênese que, por sua vez, pode ser catalisado pelas intervenções antrópicas, principalmente em regiões acidentadas, intensificando, assim, em muito, os processos de degradação. A ação antrópica age como um fator de ativação da atividade morfodinâmica causando a erosão dos solos e a degradação das terras cultiváveis com a remoção do horizonte mais fértil do solo e a exposição de material virgem, de pouca intemperização e fertilidade. Nesse caso, a pedogênese é diminuída e a morfogênese predomina no balanço pedogênese/morfogênese. O ravinamento é um fenômeno bem característico de meios instáveis, que pode ser ativado pela ação antrópica e ter uma maior intensidade devido à natureza do material parental, quando esse é essencialmente arenoso, pouco agregado e desestruturado. O fenômeno pode se multiplicar, dadas as características de sua ocorrência elevando-se a um nível catastrófico. A instabilidade do meio pode ser revertida por ações de estabilização ou, em alguns casos, pela exposição da rocha matriz, que faz com que haja uma retroalimentação no processo estabilização e a consequente

criação de condições para o estabelecimento de espécies pioneiras. A estabilização eleva o meio ao nível de meio intergrade.

Os conceitos de unidades ecodinâmicas propostos por Tricart (1977) foram adaptados por Ross (1990) que, por sua vez, inseriu novos critérios para definir essas unidades. Ross (1990) ampliou o uso do conceito estabelecendo unidades ecodinâmicas instáveis em diferentes graus de instabilidade, desde Muito Fraca a Muito Forte, o que permitiu a identificação dos meios instáveis em diferentes graus de instabilidade e a aplicação do conceito por meio de modelos matemáticos, com a utilização de álgebra de mapas para sua consecução.

De acordo com Ross (2003), os elementos que compõem a estrutura geoecológica da paisagem natural, com intervenção por meio natural ou antrópica em seus componentes (relevo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos), refletem sobre os outros elementos, alterando seu equilíbrio e gerando modificações do sistema natural. Para a composição da carta de fragilidade pela metodologia proposta por Ross (1994), deve se levar em conta que a fragilidade se dá pela associação dos componentes declividade, solos e uso e ocupação. Ross (1994) acrescenta que estudos analíticos de fragilidade por meio de cartogramas e textos são de muita importância para o planejamento ambiental que tem por objetivo o desenvolvimento sustentado, aliando desenvolvimento econômico, social e tecnológico à recuperação e conservação do meio ambiente.

1.5. A Modelagem dos Sistemas Ambientais

A modelagem dos sistemas ambientais por meio de modelos se tornou amplamente utilizada nas geociências. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) têm sua origem ligada ao planejamento das paisagens e do meio ambiente.

Os modelos podem ter, dentre outras, a função de permitir o aprofundamento do conhecimento e a compreensão de determinado sistema, de favorecer a comunicação de ideias científicas, de fornecer previsões e de serem instrumentos de planejamento. Nesse sentido, os SIG podem ser utilizados como meio para a interpretação de imagens de sensoriamento remoto e produção de mapas cartográficos, que são uma forma eficaz de comunicar os resultados da análise ambiental, bem como elevar o nível de compreensão sobre os sistemas, a fim de servir como elemento para o planejamento ambiental.

Os SIG são utilizados para, entre outras finalidades, a documentação, a visualização e a análise de fenômenos espaciais. Burrough e McDonnel (1998) definiram o SIG como “um poderoso conjunto de instrumentos para coletar, armazenar e recuperar informações, transformando e organizando os dados do mundo real para um conjunto particular de objetivos”. Nesses sistemas, o mundo real é representado fundamentalmente por meio de dois modelos, o modelo raster ou matricial e o modelo vetorial. O modelo raster é um modelo mais adequado para a representação de fenômenos que tem uma distribuição contínua na superfície terrestre, cujo resultado é armazenado em uma célula raster denominada de pixel, apenas um atributo é associado a cada célula. Como exemplo desse modelo de dados, podem-se citar as imagens de sensoriamento remoto, declividade e exposição. No modelo vetorial os dados são associados a linhas, pontos ou polígonos sendo essas entidades associadas aos atributos por meio de um identificador, o geocódigo. Esse modelo é ideal para representar entidades cuja limitação é bem definida, como estradas, hidrografia, limites administrativos, tipos de solos, sedes municipais etc.

A espacialidade da noção de geossistemas e os métodos de análise da paisagem têm utilizado os sistemas de informação geográfica como instrumento de sua aplicação. Dessa maneira, segundo Rodriguez (2007), os sistemas de informações geográficas (SIG) devem executar a unificação territorial dos dados e informações, utilizando como fundamento metodológico o enfoque sistêmico na obtenção e interpretação das informações espaciais.

Haggett e Chorley (1967, 1975) definem modelo como sendo “uma estruturação simplificada da realidade que supostamente apresenta, de forma generalizada, características ou relações importantes”. Berry (1995) salienta que a modelagem envolve a representação das propriedades locais dos atributos temáticos e temporais, descrevendo suas características no tempo e no espaço.

Segundo a tipologia de modelos proposta por Chorley (1967), os modelos que sintetizam sistemas são modelos que fornecem uma visão geral dos sistemas, oferecendo uma visão das partes componentes e sua estrutura. Assim, quando o conhecimento é apenas parcial sobre o sistema os modelos são denominados de caixa cinza e, quando o nível de conhecimento e representação não identifica os processos internos, o modelo é chamado de caixa preta. Os modelos para o estudo da paisagem podem ser caracterizados como modelos que sintetizam sistemas que podem variar de acordo com o grau de conhecimento apreendido na análise.

Várias aplicações do SIG que, em conjunto ao sensoriamento remoto, mostram-se importantes para o conhecimento, a análise, a avaliação, quantificação e o planejamento do uso de determinadas paisagens. Nessas aplicações, é comum a utilização de álgebra de mapas

que, por sua vez, consiste na utilização de um conjunto de operações matemáticas sobre mapas resultando em novos dados a partir dos dados anteriores. A álgebra de mapas permite que se faça a materialização dos conceitos relacionados à zonalidade, como, por exemplo, o conceito de unidades geocológicas, o conceito de unidades ecodinâmicas, ou ainda, o conceito de unidade territorial básica (UTB). Na definição das unidades, podem ser utilizadas as imagens de sensoriamento remoto em associação com mapas temáticos ou mesmo dados socioeconômicos para a geração de modelos numéricos de terreno e, a partir daí, novos mapas.

Os estudos sobre análise da paisagem e de fragilidade ambiental têm utilizado principalmente imagens de satélites de recursos terrestres que, por sua vez, experimentaram um rápido crescimento a partir da década de 1970. A combinação de diferentes sensores e diferentes resoluções têm permitido captar, processar e analisar imagens com os mais diversificados propósitos. A análise horizontal e sua dinâmica se tornaram um processo bem mais facilitado a partir do uso das imagens de sensoriamento remoto.

A utilização de técnicas de classificação de imagens de sensoriamento remoto permite o reconhecimento de padrões e a divisão da informação presente na imagem em categorias temáticas. Segundo Florenzano (2011), a classificação de imagem digital visa ao reconhecimento automático dos objetos, a partir dos critérios de decisão em pontos da imagem de interesse. Com isso, a classe irá representar as feições e objetos contidos na cobertura terrestre, de acordo sua similaridade em suas respostas espectrais sendo agrupadas de acordo com suas características comuns. A classificação de imagens de sensoriamento remoto se divide em supervisionada, quando o pesquisador interfere no processo de classificação por meio da determinação do número de classes ou tamanho das amostras de cada tema, ou não supervisionada, quando não há intervenção do pesquisador. Até meados de 1990, os métodos de classificação eram baseados, principalmente em técnicas de estatística convencional, atualmente, com os avanços na tecnologia da informação, novos classificadores têm sido usados, como redes neurais artificiais, árvores de decisão, máquina de vetor de suporte e métodos baseado em lógica *fuzzy*. O mapeamento dos diferentes usos e ocupação do solo se apresenta como um instrumento importante para o conhecimento horizontal da paisagem, possibilitando a aquisição de informações que demonstrem o cenário ambiental, tomando se como suporte para o gerenciamento de diferentes áreas.

Almeida (2015) utilizou o modelo de compartimentação da bacia em unidades de paisagem para a representação da diversidade ambiental da Bacia do Pacuí, no norte do estado de Minas Gerais. Foi utilizado o geoprocessamento e a interpretação de imagens, sendo que o

método escolhido para a observação em campo foi o transecto. A metodologia possibilitou observar as principais características físico-geográficas de cada unidade, regidas sob um mesmo clima e refletidas sobre as condições litológicas, pedológicas, formas de relevo, vegetação e uso, tipo de drenagem e ocupação do solo.

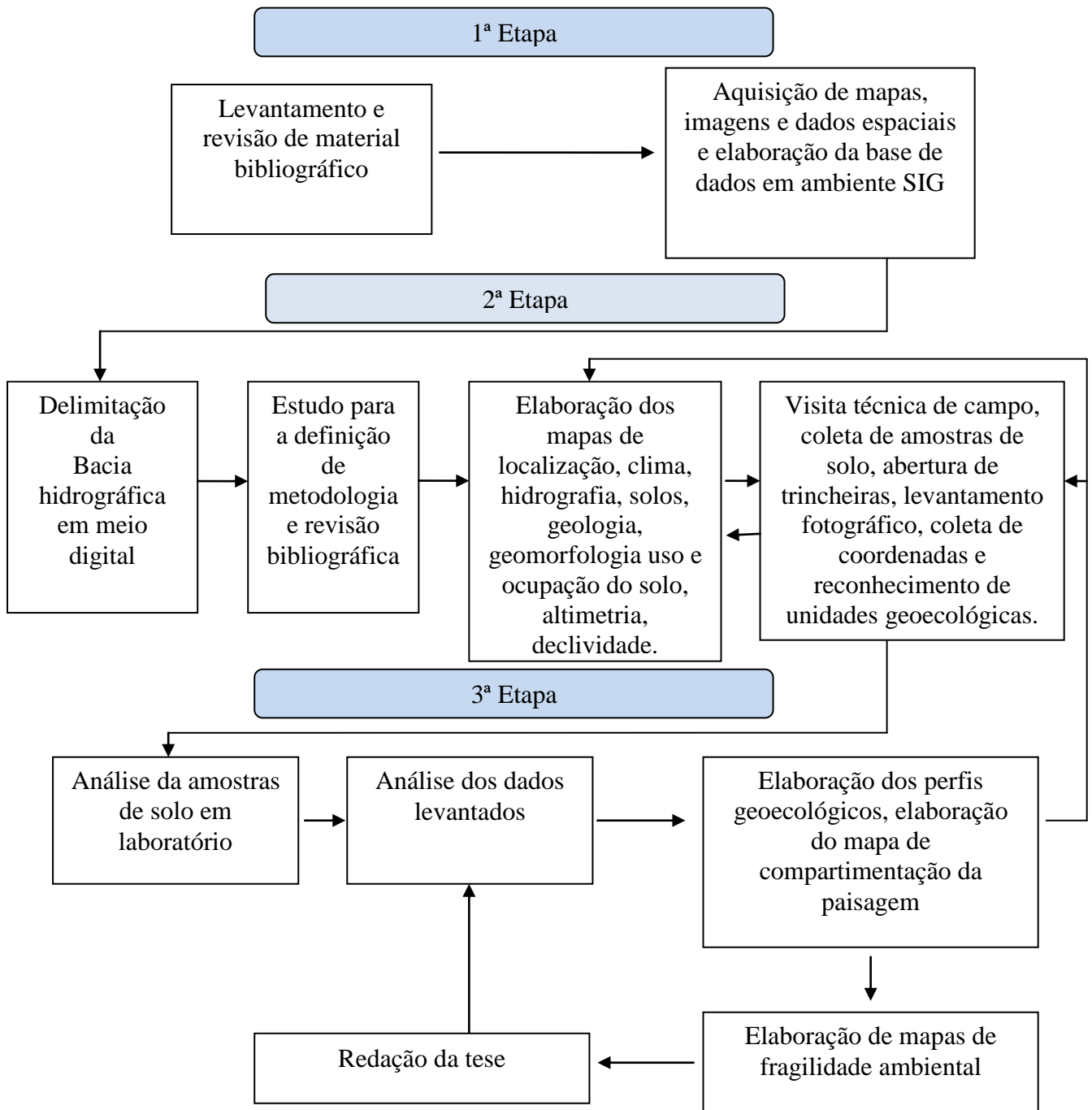
Segundo Almeida (2015), as formas de relevo que compõem as diferentes paisagens formadoras da Bacia do Pacuí foram denominadas de unidades de paisagens, sendo que a compartimentação se baseou nos conceitos de paisagem, geossistema e unidades de paisagem.

1.6. Procedimentos Metodológicos

Para a realização desta pesquisa, foram necessárias três etapas, conforme o roteiro metodológico que se segue (Figura 3).

A primeira etapa, uma etapa preliminar do estudo, consistiu do levantamento bibliográfico sobre os temas relevantes na pesquisa dentre, eles podemos destacar: sistemas e geossistemas, paisagem e fragilidade ambiental. Além da revisão bibliográfica, o que se buscou realizar na etapa preliminar foi a elaboração de uma base de dados em ambiente SIG. Para isso, foram utilizados materiais de fontes secundárias, como cartas topográficas, mapas de geologia, geomorfologia, solos, biomas, dados de altitude, limites da APA, malha municipal em arquivos digitais vetoriais e raster e fontes primárias, como imagens de satélites em formato raster, dados de análise de coleta em campo, relacionados na tabela que se segue (Quadro 2). Em suma, na primeira etapa, considerada preliminar do estudo, buscou-se elaborar uma revisão bibliográfica e elaborar de uma base de dados em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Figura 3 - Roteiro metodológico de elaboração da tese



Organizado por César Vinícius Mendes Nery (2016)

Quadro 2 - Materiais utilizados para a elaboração da base de dados

Materiais	Fonte (ano)
Cartas topográficas	
Carta topográfica na escala 1:250.000. Folhas SD-23-Z-C e SD-23-Y-D.	IBGE (1982)
Arquivos digitais vetoriais	
Dados de geologia do estado de Minas Gerais na escala 1: 100.000.	CODEMIG (2003)
Mapa de solos do Brasil	UFV (2010); IBGE (1979)
Base cartográfica de Rodovias	IBGE (1998)
Base cartográfica de vias de acesso e hidrografia.	IBGE (1998)
Limites da APA Pandeiros	IGA (2006)
Malha municipal	IBGE (2007)
Mapa de Biomas do Brasil	IBGE (2004)
Arquivos digitais raster	
Imagem do satélite Landsat8, órbita 219ponto 070 e 071, com resolução espacial de 30m.	USGS (2014)
Imagem SRTM (<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>), 1:250.000. Folhas SD-23-Z-C e SD-23-Y-D, resolução 90m.	EMBRAPA (2005)
Carta Geomorfológica do Brasil em escala 1/100.000	RADAMBRASIL (1982),

A segunda etapa da pesquisa teve como ponto inicial a determinação do recorte espacial do estudo por meio da delimitação da bacia hidrográfica. Para a delimitação da bacia em ambiente SIG, foram utilizados dados de radar da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) disponibilizados pela Embrapa (MIRANDA et al., 2005).

O SIG utilizado para a delimitação foi o Terraview (Terraview, 2010), disponibilizado gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) juntamente com o *plugin* TerraHidro (ROSIM et al., 2003). Os passos seguidos no sistema foram: a importação da imagem e criação do modelo digital de elevação (MDE), geração do modelo digital de direção de fluxo do MDE, obtenção do fluxo de água acumulado e estabelecimento da rede de

drenagem, indicando o exutório. Na etapa final, foi executada a delimitação da bacia, conforme metodologia proposta por Lima *et. al.* (2012).

Nessa etapa, para a realização do estudo, foi definida a metodologia de pesquisa que se apoiou de maneira geral na cartografia dos elementos que compõem a geodiversidade, ou seja, na criação de uma base de dados em ambiente SIG para a elaboração dos produtos cartográficos que revelam a composição do sistema e permitem uma análise desses elementos. Além da produção de mapas, a base de dados permite o cruzamento dos elementos formadores da paisagem por meio da técnica de elaboração de transectos e a elaboração dos produtos de síntese, a compartimentação da paisagem e a análise da fragilidade ambiental, que por sua vez se apoia na álgebra de mapas.

A elaboração dos mapas consistiu na etapa seguinte. O mapa de localização foi elaborado a partir de arquivos vetoriais da malha municipal fornecidos pelo IBGE (IBGE, 2007) e a por meioda vetorização de cartas topográficas disponibilizadas pelo IBGE (IBGE, 1982), folhas Januária e Buritis na escala 1:250.000. As cartas topográficas foram escaneadas, ou seja, convertidas de meio analógico para meio digital em formato raster, sendo então importadas no SIG e posteriormente georreferenciadas por meio do registro de imagens.

Para estudo do clima, foram adquiridos dados de séries temporais ente os anos de 1983 a 2013 (Tabela 3), disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), de dezesseis estações climatológicas situadas na mesorregião Norte de Minas Gerais e seu entorno. Os dados obtidos foram editados, sendo os *outliers* excluídos e então computada a média anual para cada estação climatológica. Após o tratamento dos dados, estes foram importados no Software Surfer10.0 com consequente interpolação utilizando o método de Krigeagem. O resultado final foi a elaboração de mapas de precipitação, temperatura média, evapotranspiração anual, deficiência hídrica e excedente hídrico para toda a mesorregião onde a bacia está inserida.

O mapa de hidrografia foi obtido a partir da vetorização das cartas topográficas disponibilizadas pelo IBGE (IBGE, 1982), folhas Januária e Buritis na escala 1:250.000. Os rios da bacia foram vetorizados a partir da carta topográfica e em conjunto com os limites da bacia foram importados no SIG para a elaboração do mapa que representa a hidrografia da bacia.

Tabela 2 - Dados das séries temporais utilizadas para estudo climatológico na mesorregião do norte de Minas Gerais

Código	Estação	UF	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (M)	Série temporal
83408	Carinhanha	BA	-43,760000	-14,280000	450,180000	1986 - 2013
83338	Espinosa	MG	-42,800000	-14,910000	569,640000	1983 - 2013
83442	Araçuaí	MG	-42,050000	-16,830000	289,000000	1983 - 2013
83388	Monte Azul	MG	-42,860000	-15,160000	625,000000	1984 - 2013
83389	Mocambinho	MG	-43,066194	-15,853792	452,000000	1986 - 2012
83441	Salinas	MG	-42,280000	-16,150000	471,320000	1983 - 2013
83286	Correntina	BA	-44,610000	-13,330000	549,470000	1986 - 2013
83339	Caetité	BA	-42,480000	-14,060000	882,470000	1986 - 2013
83386	Januária	MG	-44,366207	-15,483107	473,710000	1984 - 2013
83344	Vitória da Conquista	BA	-40,790000	-14,880000	874,810000	1986 - 2013
83393	Pedra Azul	MG	-41,280000	-16,000000	648,910000	1984 - 2013
83384	Arinos	MG	-46,100232	-15,898477	519,000000	1986 - 2013
83452	Juramento	MG	-43,587502	-16,841529	648,000000	1987 - 2013
83483	Pirapora	MG	-44,910000	-17,350000	505,240000	1983 - 2013
83437	Montes Claros	MG	-43,840000	-16,680000	652,000000	1983 - 2013
83485	Carbonita	MG	-43,000000	-17,530000	736,380000	1983 - 2013
83481	João Pinheiro	MG	-46,170000	-17,730000	760,360000	1983 - 2013
83488	Itamarandiba	MG	-42,850000	-17,850000	914,000000	1983 - 2013
83479	Paracatu	MG	-46,880000	-17,240000	712,000000	1983 - 2013
83538	Diamantina	MG	-43,640000	-18,230000	1296,120000	1983 - 2013

O mapa de solos da bacia foi elaborado a partir do Mapa Exploratório dos Solos da Bacia do Rio São Francisco elaborado pelo IBGE (IBGE, 1979) na escala 1: 1.000.000. As classes de solos foram identificadas e vetorizadas a partir do mapa em questão, sendo juntadas a outros *layers* para a elaboração do mapa final de solos apresentados nesta pesquisa. Cabe ressaltar que o mapa de solos elaborado pela Universidade Federal de Viçosa (UFV, 2010) fora também elaborado, porém foi descartado após a etapa de levantamento de campo por apresentar pouca semelhança entre as classes de solos nele identificadas e a verdade de campo.

O mapa geológico da bacia foi elaborado a partir do mapeamento feito pela CODEMIG (CODEMIG, 2003), disponível na escala 1/1.000.000. As classes litoestatigráficas foram identificadas e vetorizadas no SIG, tendo como produto final o mapa geológico da bacia.

O mapa de geomorfologia foi elaborado a partir da digitalização da base de dados da carta geomorfológica, Carta do Brasil em escala 1/100.000 do projeto RADAMBRASIL

(1982), tendo sido realizada uma confrontação com a proposta do Manual Técnico de Geomorfologia (IBGE, 1995) com a identificação do modelado dominante e o ajuste de acordo com a imagem de sensoriamento remoto e MDT.

O mapa de uso e ocupação do solo da bacia foi elaborado, por meio das imagens do satélite *Landsat 8*, sensor OLI (*Operational Land Imager*). As imagens obtidas possuem nível de correção L1T, com ortorretificação, e pertenciam à órbita 219, ponto 070 e à órbita 219, ponto 071 do dia Juliano 071 (Tabela 4), sendo a imagem dessa data a que permitiu o melhor resultado na classificação.

Quadro 3- Dados das imagens de sensoriamento remoto utilizadas na pesquisa

Data	Órbita	Ponto	Sensor
12/03/2014	219	70	L8 OLI
12/03/2014	219	71	L8 OLI

Para a geração do mapa de uso e ocupação do solo foi necessária a classificação das imagens de sensoriamento remoto obtidas. O mapa foi elaborado a partir de imagens do satélite *Landsat 8*, sensor OLI, bandas 2,3,4 e 5. Foram coletadas 30 amostras para cada uma das diferentes classes de uso e ocupação com, no máximo, 10 pixels. Foram testados diversos algoritmos de classificação, sendo o melhor resultado encontrado com o algoritmo de máxima verossimilhança (*Max Like*).

Para a classificação da imagem utilizou-se o algoritmo de Máxima Verossimilhança (MAXVER), sendo as classes de uso e ocupação que as selecionadas para a classificação foram as de culturas agrícolas e pecuária, solo exposto, água, cerrado, cerrado em regeneração, floresta estacional decidual e eucalipto. Como a classificação pelo método acima é uma classificação supervisionada, foi necessária a retirada de amostras de pixels na imagem como forma de fornecer dados estatísticos sobre a radiância das diferentes classes temáticas nos diversos comprimentos de onda da composição RGB. Para cada classe foram retiradas, no mínimo, 30 amostras de tamanho máximo de 10 pixels. Para a classificação supervisionada da imagem, utilizou-se o software ENVI versão 4.7. Na determinação da qualidade do mapa gerado e sua exatidão, foi empregado o índice de Kappa, que utiliza elementos da matriz de confusão para aferir o grau de eficiência da classificação, demonstrando, assim, a confiança no resultado obtido. Para os resultados da acurácia da classificação, os dados classificados foram confrontados com a verdade de campo.

O mapa hipsométrico foi elaborado a partir de dados de altitude da missão SRTM, fornecidos pela Embrapa (EMBRAPA, 2005). O dados SRTM foram importados no SIG e convertidos em Modelo Digital de Terreno (MDT), sendo a grade retangular gerada recortada pelos limites da bacia. Após essa fase, a grade recortada sofreu um fatiamento em classes de acordo com a tabela abaixo (Tabela 3), sendo que as classes hipsométricas foram definidas em função da amplitude total da distribuição de altitudes e intervalos de classe que melhor representassem o relevo da bacia. O mapa clinográfico foi obtido a partir da conversão do MDT de altitude em grade retangular de declividade em graus. A grade de declividade sofreu um fatiamento em classes de declividade em função da metodologia proposta por Ross (1994) (Tabela 4). Para a elaboração dos mapas, utilizou-se o software ArcGis versão 10.2 do Laboratório de Cartografia da Pós Graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial e do Laboratório de Geoprocessamento das Faculdades Santo Agostinho.

Após a geração de todos os mapas descritos acima, foram realizadas as visitas técnicas de campo a fim de se coletar de amostras e abrir perfis de solos, escolhidos em função do mapeamento de solos, para estudo e aferição do mesmo, coleta de amostras de observação de classes temáticas do uso e ocupação do solo, georreferenciamento de informações levantadas, reconhecimento de unidades geocológicas e levantamento fotográfico.

Tabela 3 - Classes de altitude utilizadas no mapeamento de hipsometria da Bacia

Classes de altitude (m)
405 a 500
501 a 600
601 a 700
701 a 800
801 a 900

Tabela 4 - Classes de declividade utilizadas no mapeamento clinográfico da Bacia

Classes de declividade (%)
0 a 6
6 a 12
12 a 20
20 a 30
Acima de 30

O itinerário dos trabalhos de campo, dada à dificuldade de acesso, visou contemplar todos os compartimentos de paisagem da bacia, sendo, nesse sentido, representativos dos ambientes nela encontrados. Nesses trabalhos foram escolhidos roteiros de forma a cobrir grande parte da bacia e permitir a apreensão e o reconhecimento dos elementos componentes do sistema, as relações existentes entre esses componentes, os fluxos de matéria e energia ali encontrados, a paisagem e sua dinâmica (Figura 4).

O primeiro itinerário iniciou-se na porção sul da Bacia próximo ao pântano, área formada por depósitos aluvionares às margens do rio São Francisco, na desembocadura do Rio Pandeiros. Esse itinerário seguiu por estradas arenosas pelas margens do Rio Pandeiros até a Cachoeira do Rio Pandeiros, ponto turístico local. Após a cachoeira, seguiu-se pela estrada na margem esquerda do Ribeirão Macaúbas até a rodovia LMG 604, que liga o trevo de acesso à cidade de Januária à cidade de Bonito de Minas.

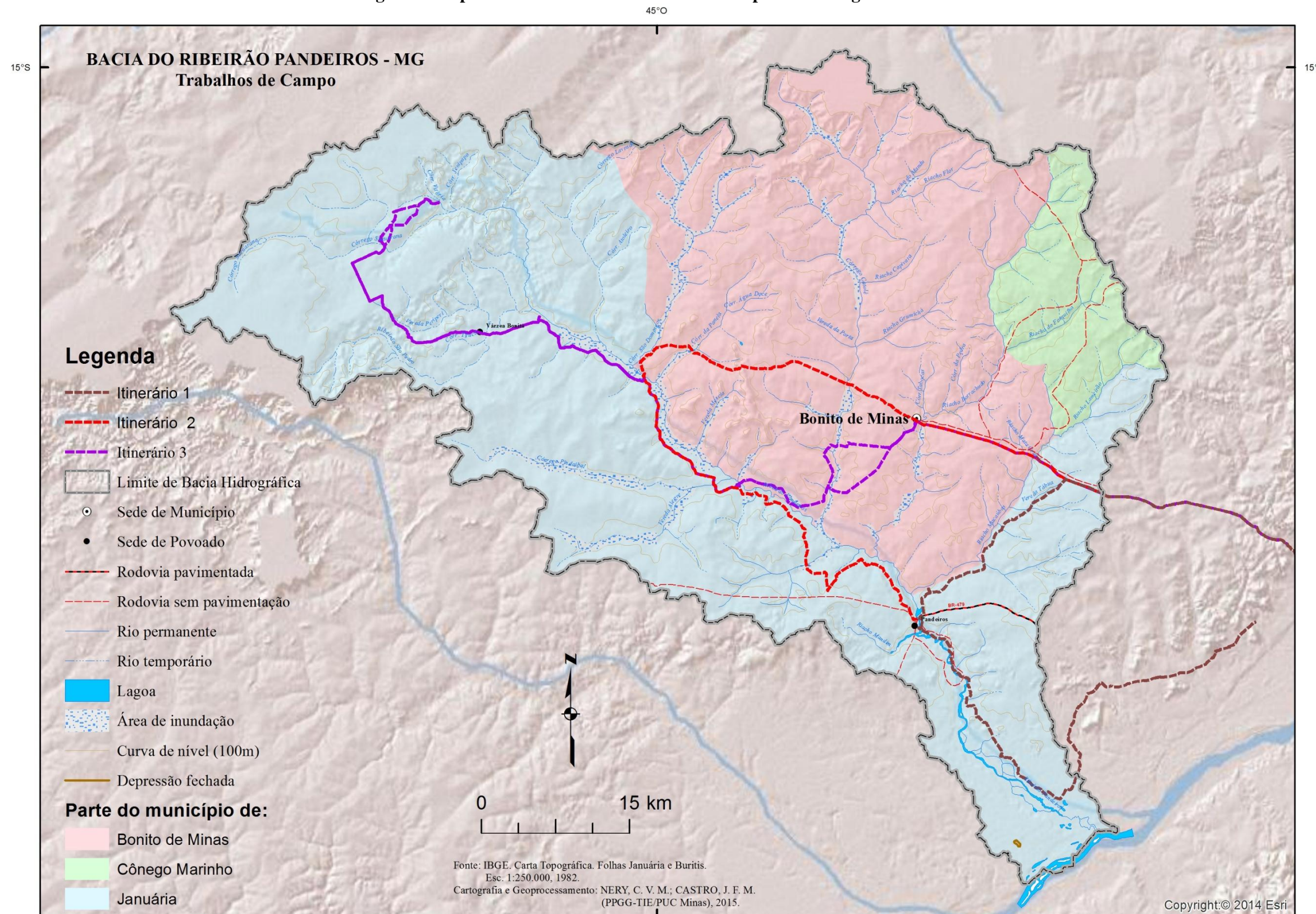
O itinerário do segundo trabalho de campo iniciou-se na rodovia LMG 604, passando pela cidade de Bonito de Minas, única sede municipal localizada no interior da bacia. Seguiu-se por estradas de terra até a Serra da Mescla, passando a seguir à margem direita do Rio Pandeiros até o povoado de Vila de Pandeiros, retornando ao ponto inicial pela estrada à margem direita do Ribeirão Macaúbas.

O terceiro itinerário teve o mesmo percurso do anterior até a sede municipal de Bonito de Minas, depois seguiu por estradas vicinais passando pelo Rio Catolé, Comunidade de São Francisco, Serra de São Domingos, Comunidade de Grotinha e a sede do Distrito de Várzea Bonita, no município de Januária. Da sede de Várzea Bonita seguiu-se por estradas vicinais até a área de chapada ao norte da bacia e daí ao Rio Pandeiros.

Para a realização dos levantamentos de campo foram utilizados receptores GPS do tipo navegação da marca Garmin para a localização de pontos de interesse, mapas e cartas elaboradas.

Foram abertas trincheiras em campo para a classificação de solos e realizada a coleta de amostras de solos para a análise em laboratório. Os pontos de coleta das amostras de solos e abertura de trincheiras visaram representar os tipos de solos encontrados nos diferentes compartimentos da bacia, sua caracterização e classificação, bem como a aferição do mapa de solos obtido *a priori*. Após a coleta de amostras, estas foram submetidas às análises químicas e de granulometria no laboratório de solos do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG) Campus Januária. As amostras foram coletadas nas profundidades de 0 a 20 cm; 20 a 40 cm e 40 a 60 cm para uma melhor caracterização mesmos e verificação de seus potenciais agrícolas. Os parâmetros analisados constam na tabela adiante (Quadro 2).

Figura 4—Mapa de itinerários dos trabalhos de campo e amostragens de solos



Fonte: Próprio Autor (2016)

Quadro 4 - Parâmetros de composição química e física do solo analisados nas amostras coletadas

	Parâmetro	Unidade	Descrição	
Composição química	pH		pH em água	
	MO	dag/Kg	Matéria Orgânica	
	P	mg/dm ³	Fósforo com extrator de Mehlich	
	K	mg/dm ³	Potássio	
	Na	cmol/dm ³	Sódio	
	Ca	cmol/dm ³	Cálcio	
	Mg	cmol/dm ³	Magnésio	
	Al	cmol/dm ³	Alumínio trocável	
	H+Al	cmol/dm ³	Hidrogênio mais alumínio	
	SB	cmol/dm ³	Soma de Bases	
	t	cmol/dm ³	CTC efetiva	
	T	cmol/dm ³	CTC Total	
	V	%	Saturação por bases	
	m	%	Saturação por Alumínio	
	Cu	mg/dm ³	Cobre	
	Fe	mg/dm ³	Ferro	
	Mn	mg/dm ³	Manganês	
	Zn	mg/dm ³	Zinco	
	Composição física	Areia	dag/Kg	Teor de areia
		Silte	dag/Kg	Teor de silte
Argila		dag/Kg	Teor de argila	

Após a elaboração dos mapas, a obtenção dos resultados das análises de solos e todo o material coletado em campo, a etapa subsequente consistiu na elaboração dos perfis geoecológicos da bacia.

Para estudo, análise e compartimentação da paisagem este estudo se valeu da elaboração de perfis geoecológicos que se traduzem na elaboração de transectos na bacia com o levantamento e análise dos geoelementos que compõem a paisagem. Neste estudo, foram

elaborados três perfis geoecológicos. Os perfis geoecológicos são formas de apresentar a ocorrência dos fenômenos bióticos e abióticos que permitem a leitura vertical e horizontal desses fenômenos. Segundo Levighin e Viadana (2003), por meio dos perfis são apresentadas seções cartográficas de determinado espaço geográfico com finalidade de se fazer correlações entre geoelementos de interesse. A elaboração dos perfis geoecológicos na bacia do Rio Pandeiros permitiu analisar a paisagem com base em seus elementos formadores. Os elementos formadores da paisagem são de ordem natural, geologia, geomorfologia, solos, relevo ou antrópicos como o uso e ocupação do solo. Além do reconhecimento da gênese, morfologia e estrutura da paisagem os perfis geoecológicos permitem a identificação dos fluxos de energia e matéria que possam estar ocorrendo entre os geoelementos formadores da paisagem.

A elaboração de perfis geoecológicos é uma técnica que pode ser aplicada em diversos recortes espaciais. Neste estudo, o recorte escolhido foi a bacia hidrográfica. Nesse sentido, o que se busca na localização do transectos é revelar os objetivos da técnica aplicada para todo o recorte espacial escolhido. A elaboração de perfis geoecológicos como técnica de estudo trata-se da cartografia de seções da área de interesse e a correlação de temas de interesse. A elaboração de transectos permite a leitura das informações cartografadas tanto na linha horizontal como na linha vertical, o que, segundo Levighin e Viadana (2003) “permite integrar e interpretar as condições ambientais atuais de um determinado local ao longo do perfil como também do ecossistema como um todo.” Para a elaboração dos perfis geoecológicos, foram cartografados os seguintes elementos: topografia, geologia, vegetação, uso do solo, escala, localidades e distância percorrida, dentre outros. Primeiramente foram escolhidos os locais por onde os transectos deveriam cruzar a Bacia de modo a caracterizar e fornecer informações úteis para a individualização das unidades da paisagem. A base para a elaboração dos perfis geoecológicos foi a elaboração dos perfis altimétricos. Para tal foram criados vetores sobre a grade de dados da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e extraído o perfil no software SPRING (CÂMARA et. al., 1996). Após a elaboração dos perfis altimétricos, estes foram importados em software gráfico para o desenho dos geoelementos componentes levantados a partir dos mapas anteriormente elaborados.

A interpretação dos transectos por meio da identificação das conexões existentes entre seus elementos componentes bem como o reconhecimento de sua estrutura e a identificação dos fluxos de energia e matéria ali presentes permitiram a individualização das unidades geoecológicas, com base nas noções de unidade, totalidade e complexidade vistas

anteriormente. As unidades se caracterizam pela homogeneidade relativa de suas condições naturais, seu caráter específico e sua estrutura de funcionamento.

A individualização das unidades geológicas com base na análise estrutural horizontal e vertical dos elementos formadores da paisagem é facilitada pela identificação de quais dos temas mapeados fornecem maior subsídio de informações. Neste trabalho, os temas mais relevantes para a individualização das unidades geológicas foram geologia, geomorfologia e o relevo, que serviram de fator de corte para a individualização. O produto de síntese dessa etapa é o mapa de compartimentação da paisagem que foi elaborado ao seu final.

Para estudo da fragilidade ambiental, adotou-se uma adaptação da metodologia proposta por Ross (1994) que se baseia no conceito de Unidades Ecodinâmicas Estáveis e Instáveis classificadas em seus diferentes graus de fragilidade. Essa proposta foi desenvolvida com base nos conceitos de ecodinâmica propostos por Tricart (1977).

A alteração proposta na metodologia diz respeito às diferentes formas de ponderar as variáveis para o cálculo da fragilidade ambiental. A forma de ponderação proposta inicialmente por Ross (1994) considera que a variável que representa o primeiro dígito da combinação numérica determina o grau de fragilidade dos ambientes naturais. Nesse sentido, as classes de fragilidade são determinadas, nesse modelo, pela variável declividade, sendo as demais classes subclasses da declividade. Neste trabalho, a forma de ponderar as variáveis é semelhante ao modelo proposto por Crepani (1996) em que todas as variáveis têm a mesma importância para o cálculo final da fragilidade.

$$\textit{Fragilidade} = \frac{\textit{Declividade} + \textit{Solos} + \textit{Cobertura vegetal}}{3} \quad (1)$$

Os planos de informação utilizados para o cruzamento, análise e determinação da fragilidade ambiental foram declividade, tipo de solo e uso e ocupação do solo. O cruzamento se deu a partir da ponderação em que se atribuem diferentes pesos, relativos às camadas que refletem os diversos graus de fragilidade da área. Os pesos atribuídos a cada classe estão de acordo com a metodologia proposta por Ross (1994), contidos nas tabelas 2, 3 e 4.

Para os estudos de fragilidade do tema declividade, foram utilizados intervalos de classes adotados pela metodologia proposta por Ross (1994) (Tabela 5).

Para se avaliar a fragilidades dos solos levou-se em conta a suas características relacionadas à textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas, profundidade e horizontes superficiais e não superficiais. Essas características estão diretamente relacionadas ao relevo, à litologia e ao clima, dentre outros fatores, essenciais nas características físicas e químicas dos solos. A fragilidade ambiental do fator solo para suas diferentes classes está apresentada na Tabela 6.

Tabela 5 - Classes de fragilidade e intervalos de classe de fragilidade ambiental quanto à declividade

Classes de fragilidade	Intervalos de classe
1 -Muito Fraca	Até 6%
2- Fraca	De 6 a 12%
3- Média	De 12 a 20%
4 - Forte	De 20 a 30%
5 - Muito Forte	Acima de 30%

Fonte: Adaptado de ROSS (1994)

Tabela 6 - Classes de fragilidade à erosão de diferentes tipos de solo face ao escoamento superficial das águas pluviais

Classes de fragilidade	Tipos de solos
1- Muito Baixa	Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho Escuro E Vermelho Amarelo, Textura Argilosa.
2- Baixa	Latossolo Amarelo E Vermelho Amarelo, Textura Média / Argilosa.
3- Media	Latossolo Vermelho Amarelo, Nitossolos, Aluvissolos, Neossolos Textura Média/Argilosa.
4- Forte	Neossolos, Cambissolos, Textura Média /Arenosa.
5- Muito Forte	Neossolos Com Cascalho, Litólicos e Neossolos Quartzarênicos.

Fonte: Adaptado de ROSS (1994)

A identificação dos diferentes usos, tais como aqueles identificados nesse trabalho, cerrado, pastagens, silvicultura, solo exposto, são apresentados na Tabela abaixo (Tabela 7).

Tabela 7 - Graus de proteção dados ao solo pela cobertura vegetal face à ação das águas pluviais

Graus de proteção	Tipos de cobertura.
1- Muito Alta	Floresta; matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade.
2- Alta	Formação arbustiva natural com estrato herbáceo denso, formações arbustivas densas (mata secundária, cerrado denso, capoeira densa).
3- Média	Mata homogênea de <i>pinus</i> densa, pastagem com baixo pisoteio, cultivo de ciclo longo em curva de nível /terraceamento, como café, silvicultura de eucaliptos com sub-bosque de nativas.
4- Baixa	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, laranja) cultura de ciclo curto (milho, arroz com cultivos em curva de nível /terraceamento).
5 - Muito Baixa	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto, terraplanagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.

Fonte: Adaptado de ROSS (1994)

Para o cômputo da fragilidade ambiental da Bacia, o terceiro e último componente é a análise da cobertura vegetal, que tem como base o mapa de uso e ocupação do solo resultante da análise e interpretação de imagens de satélite.

Para comparação dos resultados de fragilidade ambiental obtidos, foi utilizado um segundo modelo, em que se levou em conta a relevância biológica da bacia. Um novo plano de informação foi inserido sendo a equação adotada no modelo apresentada abaixo (Equação 2).

$$Fragilidade = \frac{Declividade + Solos + Cobertura\ vegetal + Relevância\ Biológica}{4} \quad (2)$$

A fragilidade ambiental para o fator Relevância Biológica adotado foi de 5 para a área do pântano, Planície Flúvio Lacustre e 1 para as demais áreas..

Os produtos cartográficos síntese identificando as diferentes manchas de fragilidade ambiental com base no conceito de unidades ecodinâmicas estáveis e unidades ecodinâmicas instáveis, em diferentes graus de ordem, foram gerados com uso dos sistemas de informações geográficas (SIG) e do sensoriamento remoto.

2. A BACIA DO RIO PANDEIROS E SUAS CARACTERÍSTICAS

A bacia do Rio Pandeiros está localizada na microrregião de Januária/MG entre os municípios de Januária, Bonito de Minas e Cônego Marinho e coordenadas geográficas de latitude 15° sul e 15° 43'50" sul e longitude 45°24'46" leste e 44° 31' 05" leste, conforme figura 5. Possui uma área de 398.325 ha que tem como rio principal o Rio Pandeiros, um afluente da margem esquerda do Rio São Francisco que nasce no município de Januária, faz limite entre esse município e o município de Bonito de Minas e deságua no Rio São Francisco no município de Januária (Figura 6). A área da bacia é composta por 215.997,65ha (54,06%) em área de terras no município de Januária, 159.380,69 ha (39,89%) de terras no município de Bonito de Minas e 24.111,14 ha (6,03%) no município de Cônego Marinho (Figura 7).

É uma sub-bacia do rio São Francisco que possui, além do Rio Pandeiros como tributário principal, mais nove cursos d'água principais. Que para um maior conhecimento sobre a bacia do Rio Pandeiros de forma a caracterizá-la, segue sua descrição.

A bacia possui uma área de 398.325 ha e o perímetro de 429,954 km de comprimento. O comprimento da bacia, sob o critério da maior distância em linha reta entre a foz e determinado ponto do perímetro, é de 108,482 Km. A rede de drenagem está disposta espacialmente em um padrão dendrítico de drenagem, cuja extensão soma aproximadamente 746,75 km. A extensão do Rio Pandeiros e seus principais tributários é apresentada na tabela adiante (Tabela 8).

Tabela 8 - Principais cursos d'água da Bacia do Rio Pandeiros/MG e suas extensões

Curso d'água	Extensão (Km)
Rio Pandeiros	128,9
Riacho Borrachudo	60,2
Córrego Catolé	59,1
Córrego Pindaibal	30,8
Córrego São Domingos	30,2
Córrego Suçuarana	28,9
Riacho Macaúbas	26,9
Ribeirão São Pedro	26,2
Córrego Lavrado	24,8
Córrego Panela	7,5
TOTAL	423,5

Figura 5 – Mapa de localização da bacia do Rio Pandeiros/MG

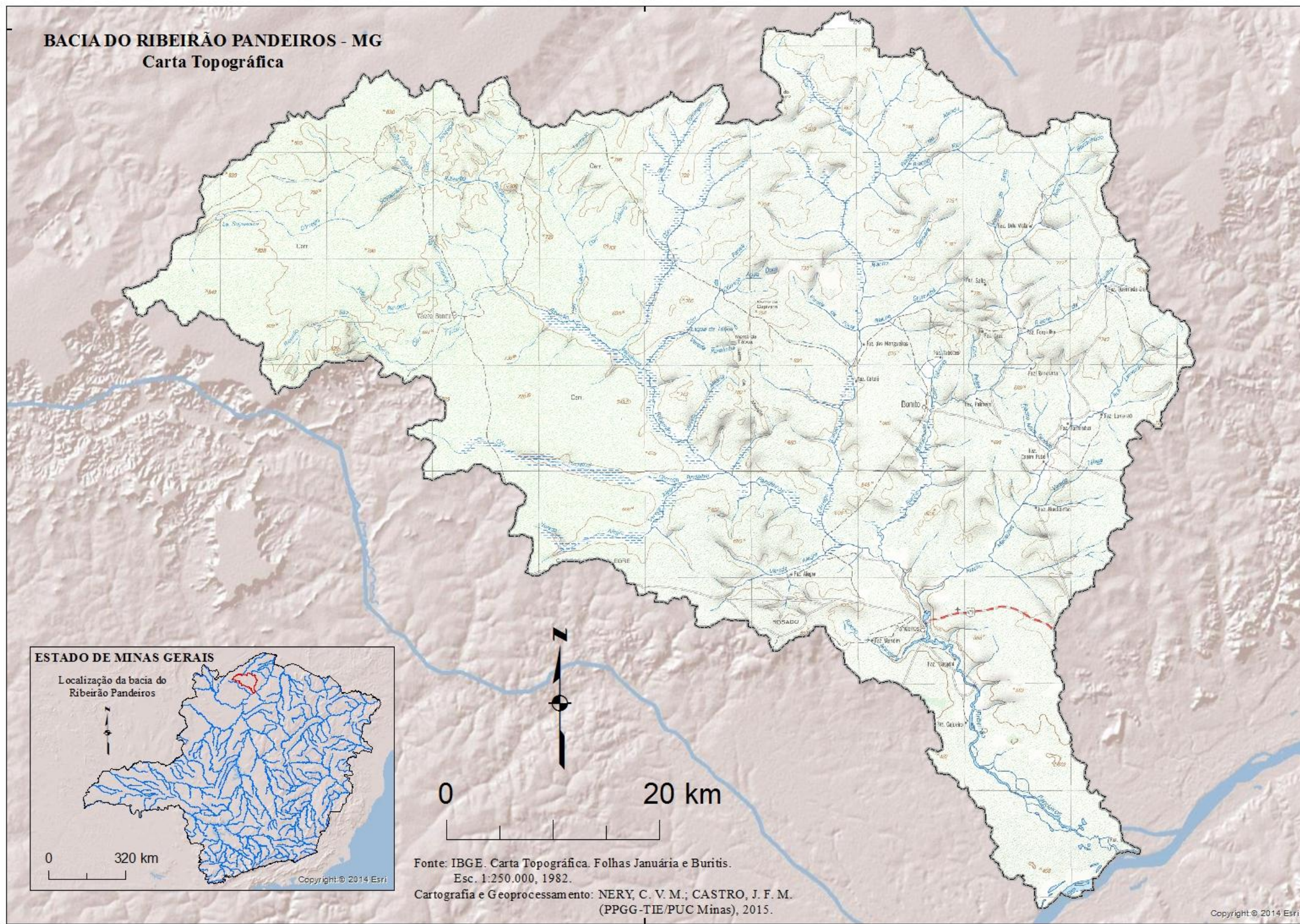


Figura 6 - Área da bacia do Rio Pandeiros/MG por município

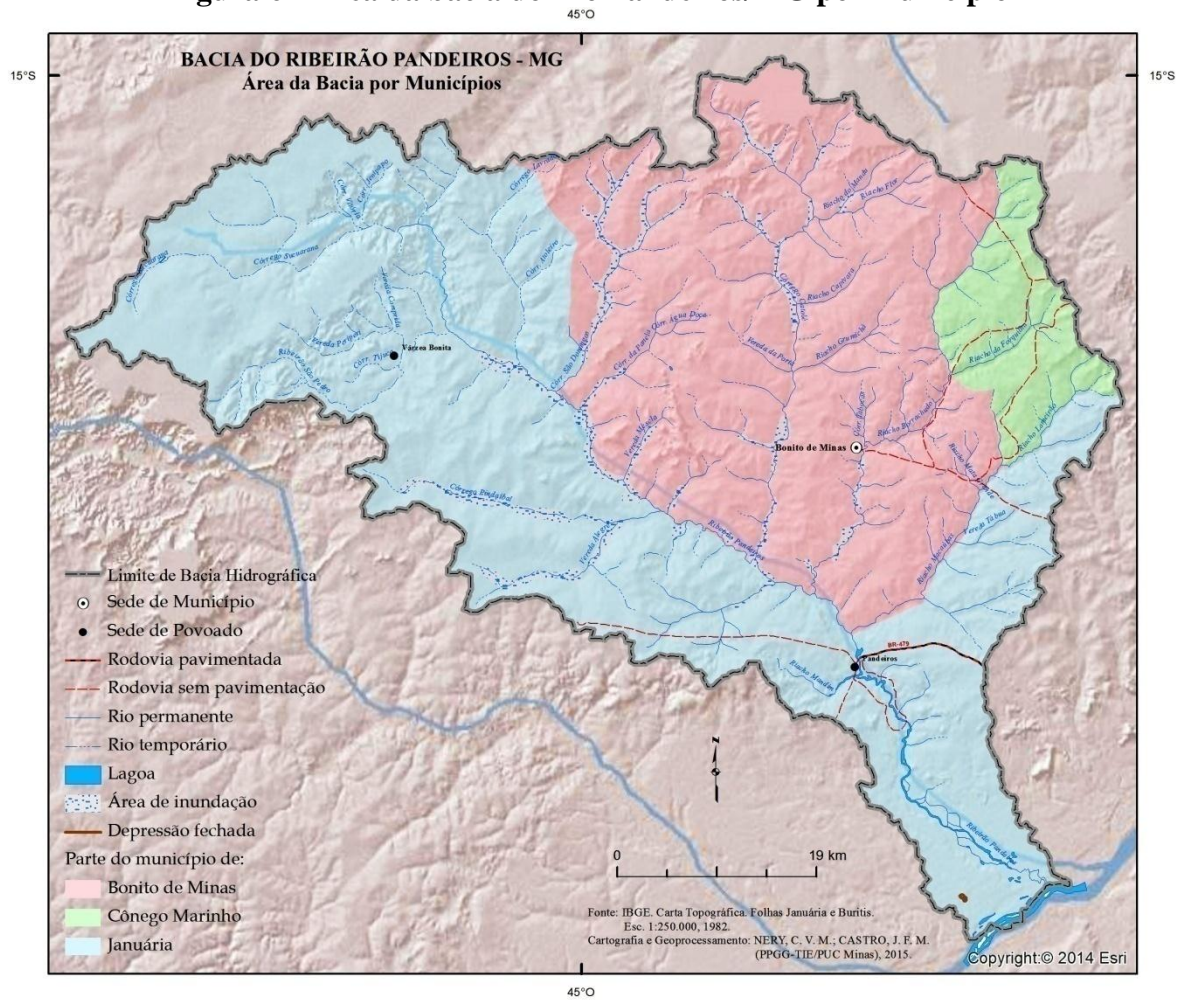
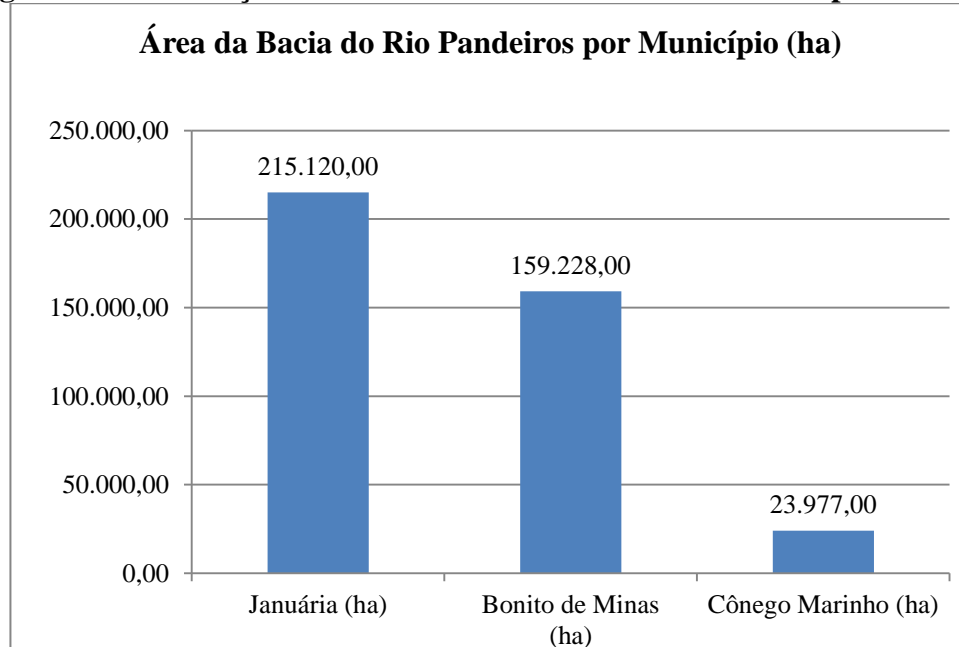


Figura 7 - Distribuição da área da bacia do Rio Pandeiros/MG por município



O Coeficiente de Compacidade (K_c), que relaciona a forma da bacia com um círculo e constitui a relação entre o perímetro e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia, foi calculado a partir dos vetores, sendo encontrado o valor de 1,906. Um Coeficiente de Compacidade (K_c) de 1,906 reflete ser a bacia do Rio Pandeiros pouco sujeita a enchentes em condições normais de precipitação. O Fator de Forma da bacia, que é calculado pela razão entre a área drenada e o quadrado do comprimento do eixo da bacia, é de 0,3389. Para o comprimento do eixo da bacia, o critério mencionado acima, ou seja, a maior distância em linha reta entre a foz e determinado ponto do perímetro é de 108,482 Km.

O Fator de Forma calculado para a bacia reflete que ela possui uma forma de tendência alongada. O índice de circularidade, que constitui a relação entre o perímetro e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia, foi outro parâmetro levantado para a Bacia do Rio Pandeiros neste estudo. O valor calculado para o índice de circularidade da bacia foi de 0,2711. Um índice de circularidade 0,2711 denota a forma triangular da bacia. A densidade de drenagem é baixa ($0,18 \text{ km/km}^2$). A densidade de drenagem é a relação entre o comprimento total dos canais pela área da bacia. Na bacia do Rio Pandeiros, o resultado encontrado para esse parâmetro reflete uma baixa capacidade de drenagem superficial da bacia, que, por sua vez, é resultado de elementos litológicos extremamente permeáveis à infiltração da água. Para a bacia em estudo a baixa densidade de drenagem pode ser explicada pela predominância do Arenito Urucuia como formação geológica predominante.

Os parâmetros da caracterização física da bacia hidrográfica do Rio Pandeiros são apresentados na tabela abaixo (Tabela 9).

Tabela 9 - Características físicas da bacia hidrográfica do Rio Pandeiros/MG

Características físicas	Resultados
Área de drenagem (Km^2)	3.989,06
Perímetro (Km)	429,954
Coeficiente de compacidade (K_c)	1,906
Fator de forma (F)	0,3389
Índice de circularidade (IC)	0,2711
Densidade de drenagem (km/km^2)	0,1872

2.1. A Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Pandeiros

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza foi criado pela lei Federal 9.985 de 2000 (BRASIL, 2000), o sistema é constituído pelo conjunto das unidades de conservação federais, estaduais e municipais, sendo as unidades consideradas como:

“espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção” (BRASIL,2000)

Foram criadas na área de estudo duas unidades de conservação, o Refúgio de Vida Silvestre do Rio Pandeiros, pelo Decreto 43.910 de 05/11/2004 com área de 6.102 ha, uma Unidade de Proteção Integral, cujo objetivo é preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, com exceção dos casos previstos nesta Lei, e a Unidade de Uso Sustentável a Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros, cujo objetivo básico é compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais.

“A Área de Proteção Ambiental é uma área em geral extensa, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.(BRASIL,2000)

A área de proteção ambiental (APA) do Rio Pandeiros pela lei 11.901 de 01/09/1995 com área de 396.060,407 hectares como a maior unidade de conservação do Estado de Minas Gerais (IEF, 2014).

A APA faz parte do mosaico de unidades de conservação Sertão Veredas Peruaçu, criado pela portaria 128, de 24/04/2009 (Figura 8). O mosaico é definido pela lei de criação do

SNUC com “um conjunto de unidades de conservação de categorias diferentes ou não, próximas, justapostas ou sobrepostas, e outras áreas protegidas públicas ou privadas”

A APA abrange três municípios: Januária, Bonito de Minas e Cônego Marinho. A APA foi criada com o intuito de:

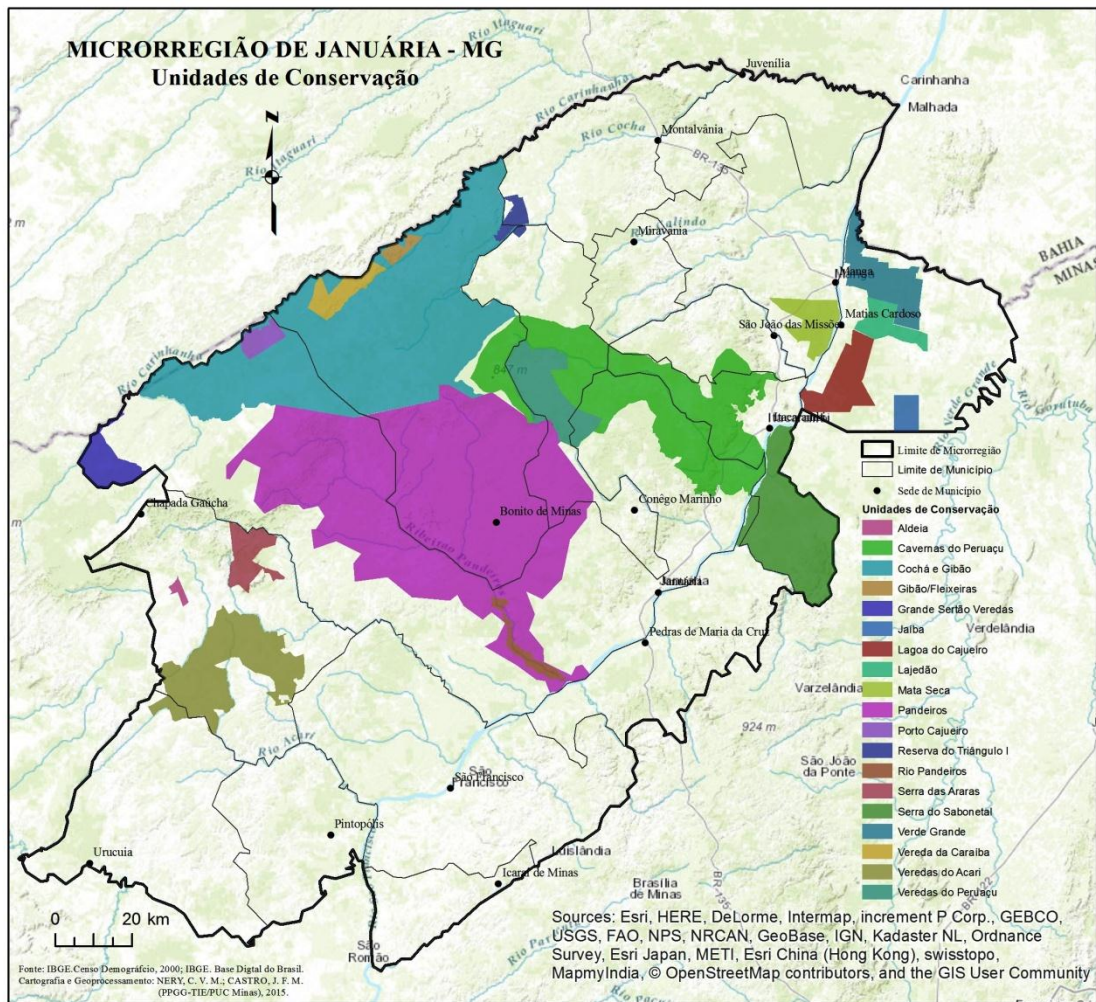
- I - tornar efetiva a proteção do Rio Pandeiros, em cumprimento ao que dispõe a Lei nº 10.629, de 17 de janeiro de 1992;
- II - manter o equilíbrio ecológico e a diversidade biológica em ecossistemas aquáticos e terras úmidas adjacentes ao rio;
- III - proteger paisagens naturais de beleza cênica notável;
- IV - preservar áreas de significativa importância para a reprodução e o desenvolvimento da ictiofauna;
- V - criar condições para favorecer a educação ambiental e a recreação em contato com a natureza. (MINAS GERAIS, 1995).

A bacia do Rio Pandeiros integra a bacia do Rio São Francisco e na criação de sua APA o intuito foi a proteção de áreas de interesse ecológico situadas na bacia. Uma APA é uma área de proteção em que o Estado não realiza a desapropriação das terras de seus ocupantes, as áreas continuam a pertencer aos proprietários de terras, que, por sua vez, têm o uso de suas terras disciplinadas por lei. Na APA do Rio Pandeiros, as restrições de que trata a lei de sua criação e veda atividades aos proprietários rurais são:

- I - a realização de atividades que possam colocar em risco os mananciais e os campos alagadiços;
- II - a execução de obras de terraplenagem e a abertura de canais, quando essas iniciativas importarem sensível alteração das condições ecológicas locais;
- III - a realização de atividades capazes de provocar erosão de terras ou assoreamento de coleções hídricas;
- IV - a realização de atividades que ameacem extinguir, na área protegida, espécies da biota regional;
- V - a supressão total ou parcial de remanescentes de matas ciliares e de outras formações de matas naturais. (MINAS GERAIS, 1995).

Como se pode notar, a lei de criação da APA do Rio Pandeiros veda atividades que possam provocar erosão de terras ou assoreamento de coleções hídricas, o que, na prática, não se tem cumprido, haja vista a ocorrência de grandes voçorocas e o assoreamento do pântano do Rio Pandeiros, próximo à sua foz, no Rio São Francisco. Para maior preservação dos ambientes, há necessidade de criação do Plano de Manejo para as duas unidades de conservação, o Refúgio de Vida Silvestre do Rio Pandeiros e a APA do Rio Pandeiros, os quais ainda não foram elaborados.

Figura 8 – Unidades de Conservação da Microrregião de Januária/MG

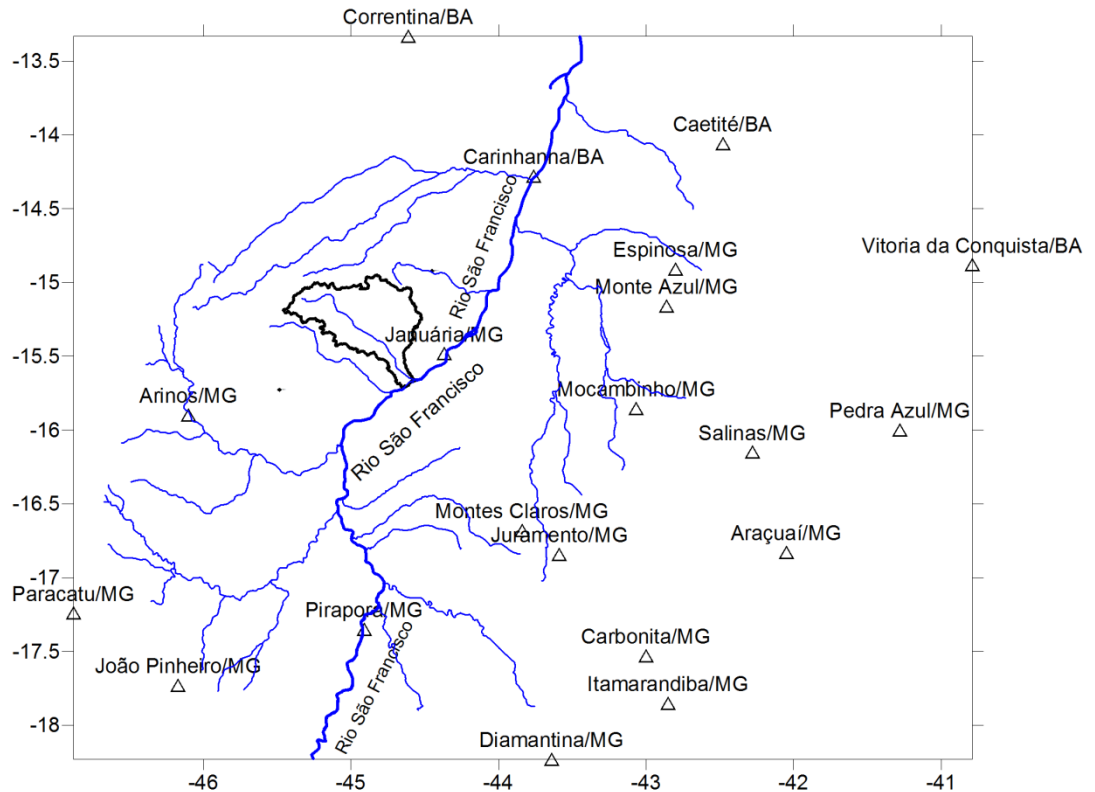


2.2. Caracterização climática da região

O clima na mesorregião Norte de Minas Gerais, onde está inserida a bacia, é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen. Clima tropical em transição para semiárido, com uma estação seca no outono/inverno e período chuvoso na primavera/verão, sendo que a temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C.

As dezesseis estações climatológicas distribuídas no Norte do Estado de Minas Gerais e quatro estações adjacentes no Estado da Bahia (Figura 9).

Figura 9 - Localização das estações meteorológicas na mesorregião norte de Minas Gerais e no estado da Bahia

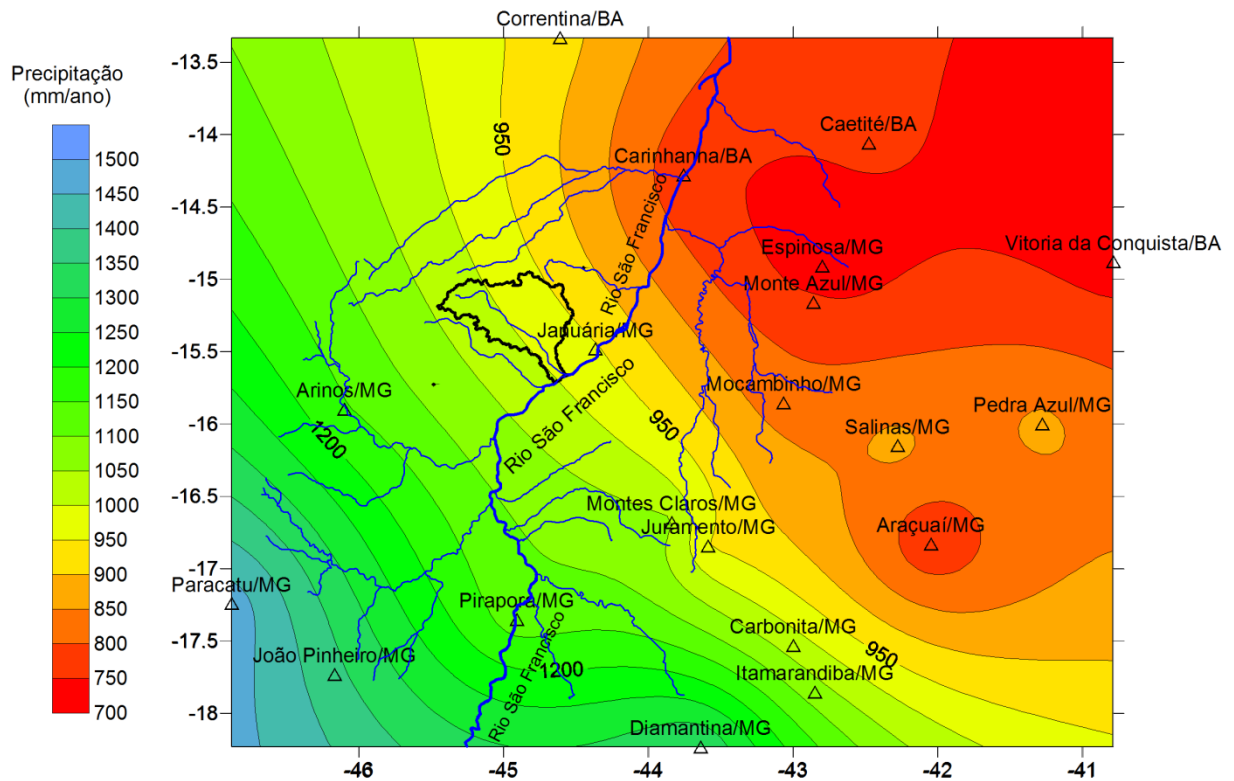


A estação climatológica mais próxima à bacia está localizada na cidade de Januária, MG. Dentre os dados levantados, destaca-se a precipitação média anual. O valor de precipitação média anual das estações estudadas teve uma variação de aproximadamente $767,32 \text{ mm ano}^{-1}$, com uma amplitude de variação de $712,37 \text{ mm ano}^{-1}$ na estação de Espinosa/MG a uma precipitação média anual de $1.479,69 \text{ mm ano}^{-1}$ em Paracatu/MG (Figura 9). Conforme os dados levantados no estudo, na bacia, a precipitação média anual está entre 950 e 1050 mm ano^{-1} . Foram levantados dados relativos à distribuição da precipitação ao longo do ano, o que revelou uma concentração da precipitação nos meses de novembro a março, sendo que, historicamente, o mês de dezembro é o mais chuvoso com precipitação média anual superior a 200 mm .

No estudo climatológico realizado, foram levantados dados acerca da temperatura média anual na mesorregião (Figura 10). A Temperatura média anual foi maior para as estações localizadas nas cidades de Carinhanha/BA, a nordeste e Arinos/MG, a sudeste da bacia do Rio Pandeiros. Os valores de temperatura média anual para essas estações foram superiores a $25,5^\circ\text{C}$. A estação de Diamantina, ao sul da bacia, foi a que registrou a menor temperatura média anual, em torno de $18,5^\circ\text{C}$.

Pela interpolação dos dados no mapa de temperatura média anual, na bacia do Rio Pandeiros, a temperatura média anual variou em torno de 24,0°C a 24,5°C, conforme pode ser observado na figura abaixo (Figura 11).

Figura 10 - Distribuição espacial da precipitação média anual para as estações meteorológicas na mesorregião norte de Minas Gerais e no estado da Bahia com destaque para a bacia do Rio Pandeiros, valores em mm ano-1



No estudo da temperatura, percebeu-se, pela distribuição da temperatura ao longo do ano para a estação meteorológica de Januária/MG, que o período mais quente do ano corresponde aos meses entre outubro e janeiro, e o período frio, aos meses de junho e julho (Figura 12). O mês mais quente é o de outubro, com temperatura média anual de 26,6°C.

Figura 11 - Distribuição espacial da temperatura média anual para as estações meteorológicas na mesorregião norte de Minas Gerais e no estado da Bahia com destaque para a bacia do Rio Pandeiros, valores em °C

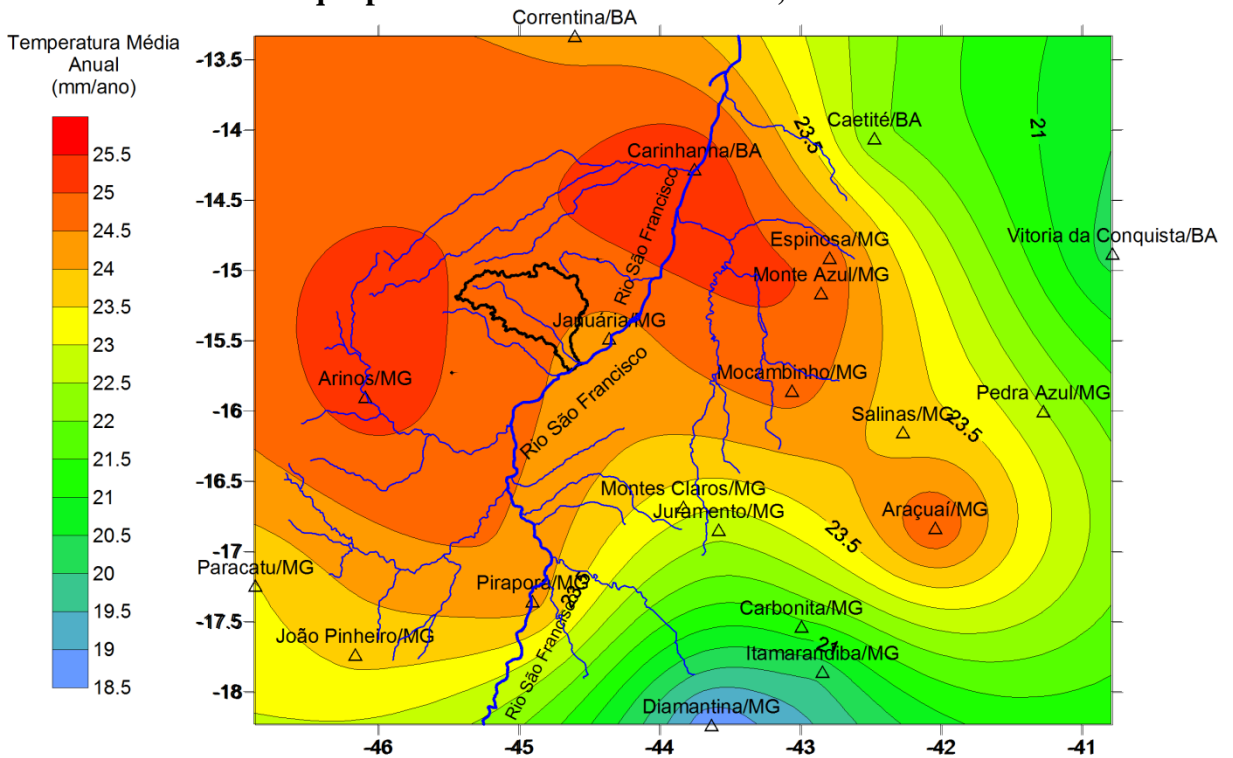
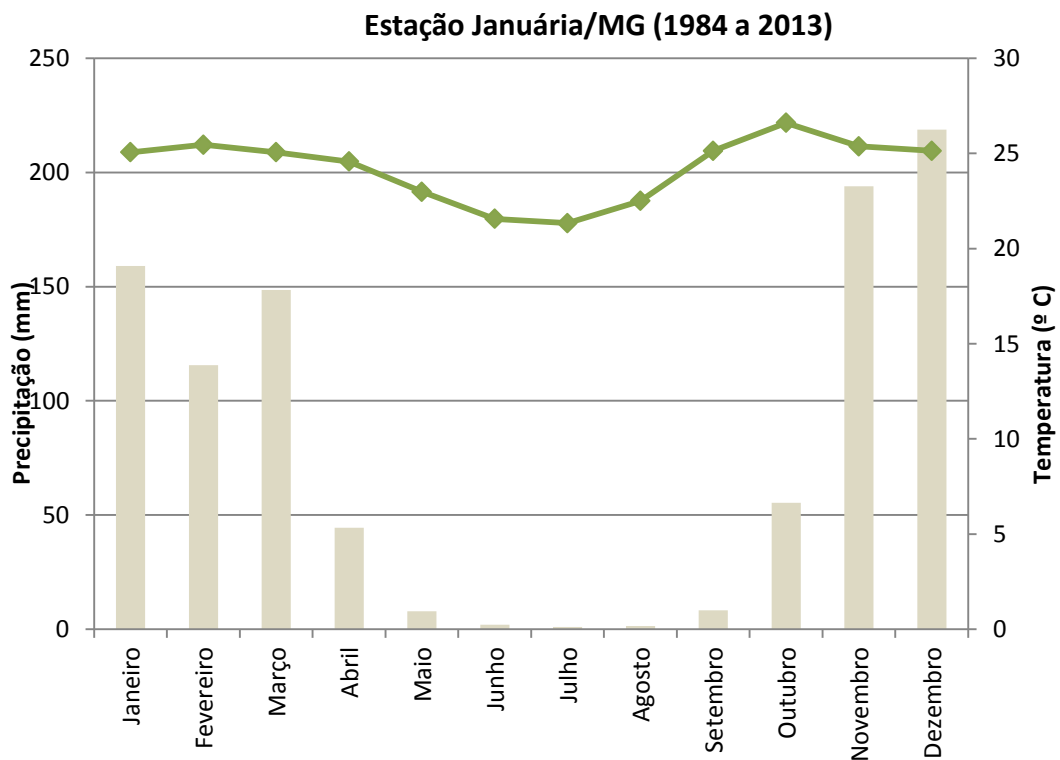


Figura 12 - Precipitação e temperatura média anual registradas pela estação meteorológica de Januária/MG entre os anos de 1984 e 2013

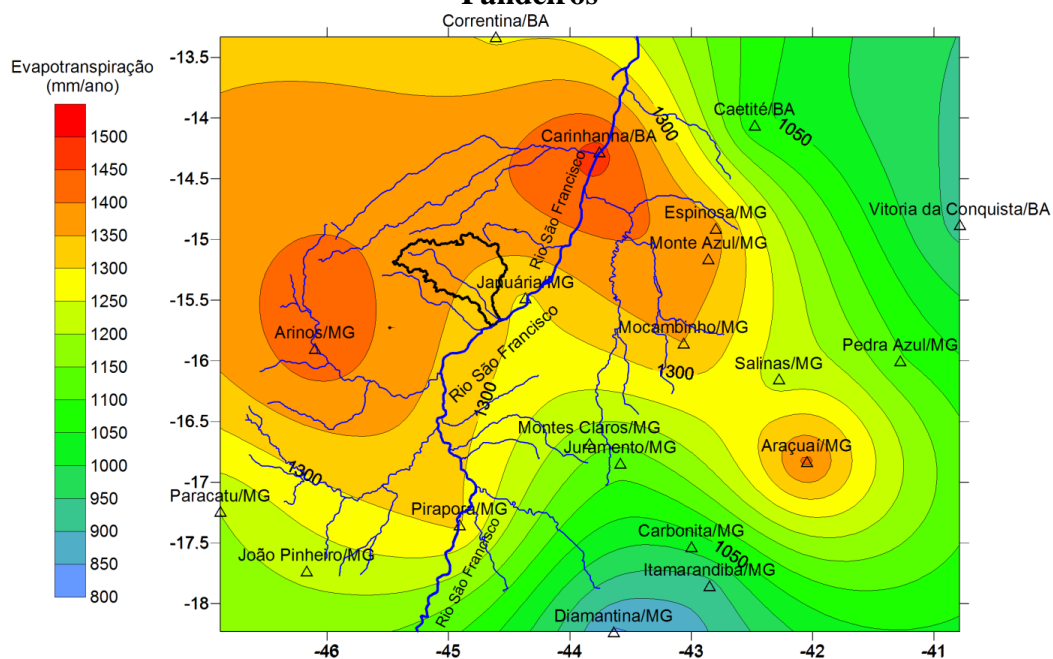


Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia, 2014

A Evapotranspiração Potencial, calculada para as mesmas estações, por meio do Modelo de Balanço Hídrico Sequencial de Thornthwaite e Mather (1955), considerando ser a evapotranspiração potencial a máxima quantidade de água que pode ser perdida por vapor, considerando evaporação e transpiração para uma dada condição climática, foram encontrados valores que variam de 843,64mm ano⁻¹ a 1.469,96mm ano⁻¹ em Diamantina/MG e Carinhanha/BA, respectivamente. Para a Estação de Januária/MG, a mais próxima da bacia, o valor de Evapotranspiração Potencial obtido foi de 1.291,76mm ano⁻¹ (Figura 13).

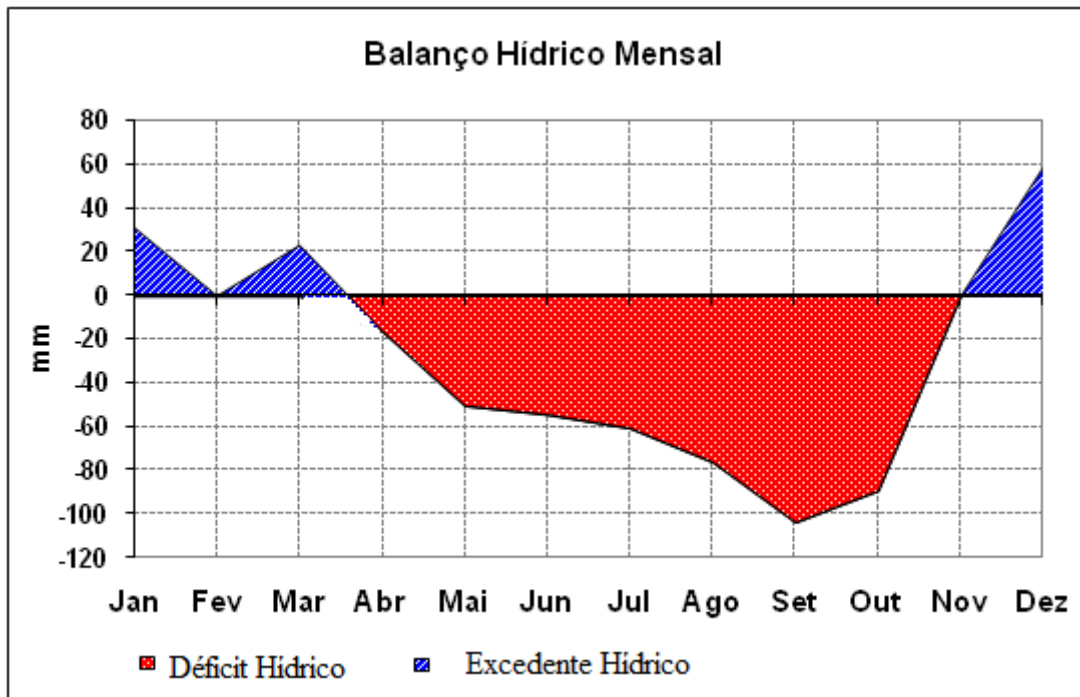
Nos estudos do clima realizados, percebeu-se ser a deficiência hídrica, um período curto de tempo em que, esgotada a água acumulada no solo, a evapotranspiração potencial real e real supera a precipitação, e ocorre historicamente na bacia do Rio Pandeiros.

Figura 13 - Distribuição espacial da evapotranspiração potencial média anual, calculada pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), para as estações meteorológicas na mesorregião norte de Minas Gerais e estado da Bahia com destaque para a bacia do Rio Pandeiros



Dados tabulados a partir da estação de Januária/MG e o cálculo do balanço hídrico mensal mostraram que, entre os anos de 1984 e 2013, o déficit hídrico tem início em meados do mês de março. Essa situação de deficiência de água no solo persiste até o final do mês de novembro, ocasião em que normalmente inicia-se a estação chuvosa na região (Figura 14).

Figura 14 - Balanço hídrico mensal de Januária/MG entre os anos de 1984 e 2013



Na estação de Januária/MG, a deficiência hídrica anual é de 448,72 mm ano⁻¹. Na mesma pesquisa, nota-se que as estações com maior deficiência hídrica registrada estão localizadas a nordeste da bacia, sendo elas as estações de Carinhanha/BA, Mocambinho/MG, Espinosa/MG e Monte Azul/MG (Figura 15).

O excedente hídrico, tempo de curta duração durante o ano, em que há disponibilidade de água no solo, ocorre historicamente para a estação de Januária/MG, entre os meses de novembro a meados de março. O excedente hídrico médio anual na bacia do Rio Pandeiros, de acordo com os dados interpolados, é da ordem de 100 a 120 mm ano⁻¹ (Figura 16).

Os valores de excedente hídrico na mesorregião do norte de Minas Gerais e estações próximas variaram de 0,0 mm ano⁻¹ nas estações de Vitória da Conquista/BA, Araçuaí/MG, Mocambinho/MG e Monte Azul/MG e 603,64 mm ano⁻¹ em Diamantina/MG.

Podemos concluir, em face dos dados climatológicos levantados, que a bacia do Rio Pandeiros está localizada em uma região historicamente de precipitação média anual de 1.000 mm ano⁻¹ e temperatura média anual de 24,2°C. O déficit hídrico de 448,72 mm ano⁻¹ acontece a partir de meados de março até novembro. Dezembro é o mês mais chuvoso, com precipitação média superior a 200 mm ano⁻¹.

Figura 15 - Distribuição espacial da deficiência hídrica média anual para as estações meteorológicas na mesorregião norte de Minas Gerais e no estado da Bahia com destaque para a bacia do Rio Pandeiros, valores em mm ano-1

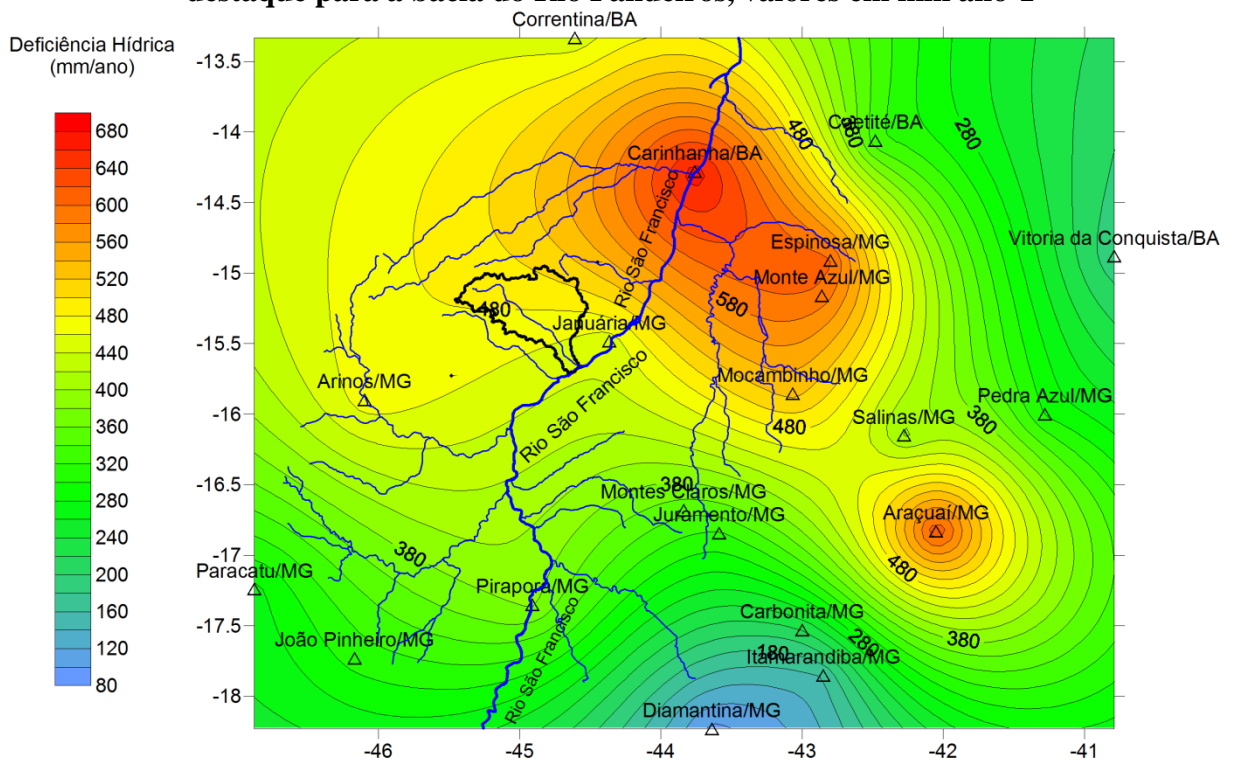
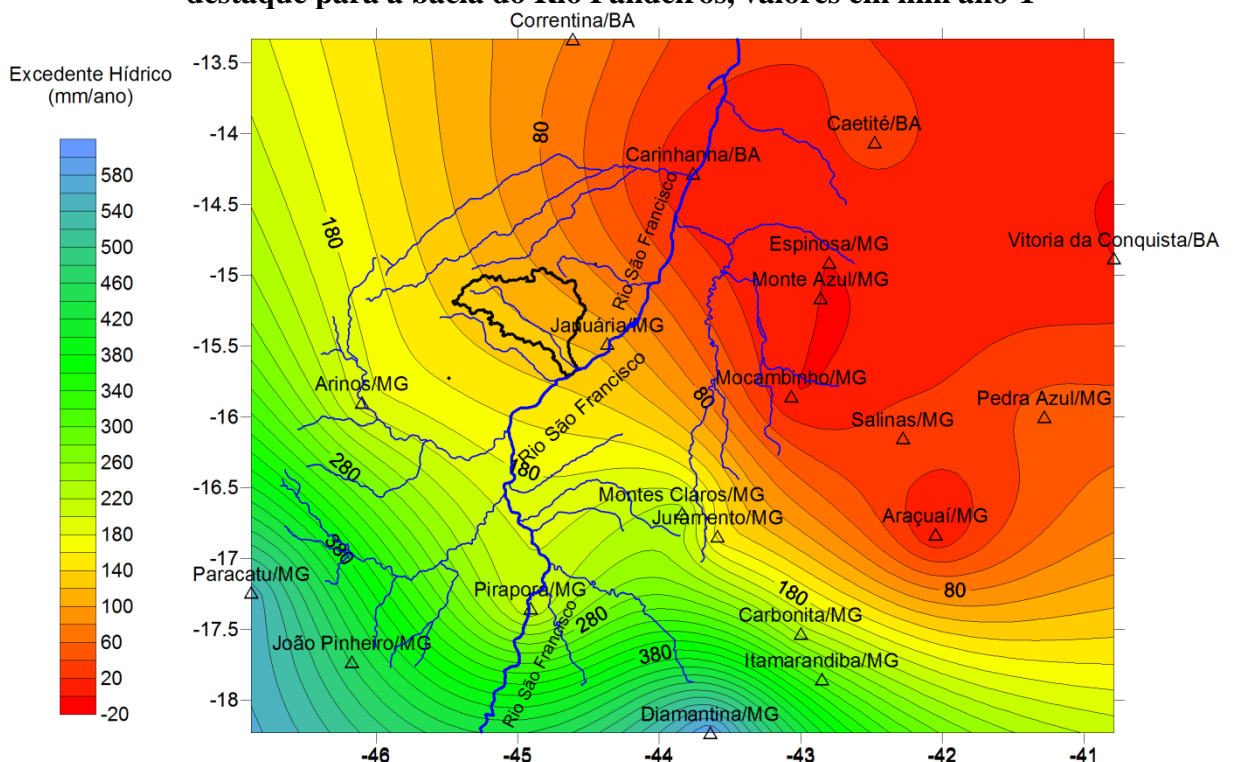


Figura 16 - Distribuição espacial da excedente hídrico médio anual para as estações meteorológicas na mesorregião norte de Minas Gerais e no estado da Bahia com destaque para a bacia do Rio Pandeiros, valores em mm ano-1



2.3. Geologia

A bacia do Rio Pandeiros tem como substrato as rochas do grupo Bambuí encimadas por arenitos do grupo Urucuia e Coberturas mais recentes, do período Cenozoico (Figura 17). O Grupo Bambuí constitui uma cobertura do Neoproterozóico (750 a 600Ma) que, para Iglesias e Uhlein (2009), se deu em ambiente marítimo deposicional, dadas as características das litofáceis siliclásticas e bioquímicas encontradas. A Formação Sete Lagoas é a unidade basal do Grupo Bambuí que aflora nas serras dos municípios de Itacarambi e Januária com espessura em torno de 200 m nessas áreas afloradas e de 300 a 500 m a sudeste e norte da bacia, em Lontra e Montalvânia, respectivamente. Essas diferentes espessuras parecem indicar que a sedimentação dessa formação coincidiu com a subsidência do embasamento. A deposição da Formação Sete Lagoas se deu em ambiente marinho raso tendo como sucessão sedimentar a Formação serra de Santa Helena. Essa formação representa a base das escarpas das Serra do Sabonetal e do Bom Sucesso em Lontra/MG. A Formação Lagoa do Jacaré sobrepõe a Formação Santa Helena com espessura entre 80 e 140 metros. As Formações Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré são encontradas na Bacia do Rio Pandeiros, segundo levantamentos da CODEMIG (CODEMIG, 2003).

O Grupo Urucuia ocorre, segundo Iglesias e Uhlein (2009), em extensa área do Cráton do São Francisco, concentrando-se em principalmente nas chapadas com 600 a 800 metros de altitude, como, por exemplo, na Serra da Mescla e nas cabeceiras dos Rios Catolé e Borrachudo na Bacia do Rio Pandeiros, onde possui espessura de até 80 metros. O Grupo Urucuia possui arenitos quartzosos avermelhados e brancos com granulação fina a média e grãos arredondados. A sedimentação dessas litofáceis se deu em ambiente eólico fluvial, conforme Campos e Dardene (1997).

As Coberturas do Terciário e Quaternário, conforme afirmam Iglesias e Uhlein (2009), apresentam se como bastante inconsolidadas com espessura variável e são resultado de um intenso processo erosivo, podendo ser classificadas em aluvionares, coluvionares e eluvionares. As coberturas coluvionares são formadas por areias vermelhas, sendo resultado da regressão de formas do relevo tabular elevado. As coberturas eluvionares são formadas a partir da decomposição de materiais rochosos subjacentes, no caso o Grupo Urucuia, cujos depósitos se apresentam numa ordem de 20 a 30 metros e apresentam forte laterização e os calcários e pelitos que são constituídos predominantemente de argilas avermelhadas de espessura da ordem de poucos metros. Na faixa próxima ao Rio São Francisco e seus afluentes, encontram-se coberturas aluvionares como resultado do trabalho fluvial recente e a

formação de depósitos de material constituído por areias brancas e amareladas de grãos ângulos e arredondados, conglomerados e argilas e algumas concreções calcárias.

Na Bacia do Rio Pandeiros, pode-se perceber, por meio do mapeamento realizado pela Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG) (CODEMIG, 2003) que há a ocorrência de ortognaisses arqueanos datados de 2800 a 3200 milhões de anos, com certa escassez de afloramentos que surgem nas depressões aplainadas dos Riachos Macaúbas, Borrachudo, Grumichá e dos córregos Catolé e São Domingos (Figura 16) e recobrem uma área 22.486 ha (5,6%) da superfície da bacia.

O grupo Urucuia (K2u) ocorre mais intensamente na área, perfazendo mais de 64% da área da bacia (255.262 ha) (Tabela 10), é a formação característica da serra da Mescla (Figuras 18 e 19), uma formação relictual, *inselberg*, e outros morros da região.

Segundo Iglesias e Uhlein (2009) o grupo Urucia é formado por arenitos quartzosos, avermelhados e brancos, de grãos arredondados, finos ou médios e de matriz argilosa escassa. A sedimentação do grupo Urucuia pode ser relacionada a um sistema eólico-fluvial que foi confirmado por Campos e Dardene (1997) devido à disposição dos estratos de arenito cruzados, tabulares e acanalados e a presença de conglomerados.

Figura 17 – Mapa geológico da bacia do Rio Pandeiros/MG

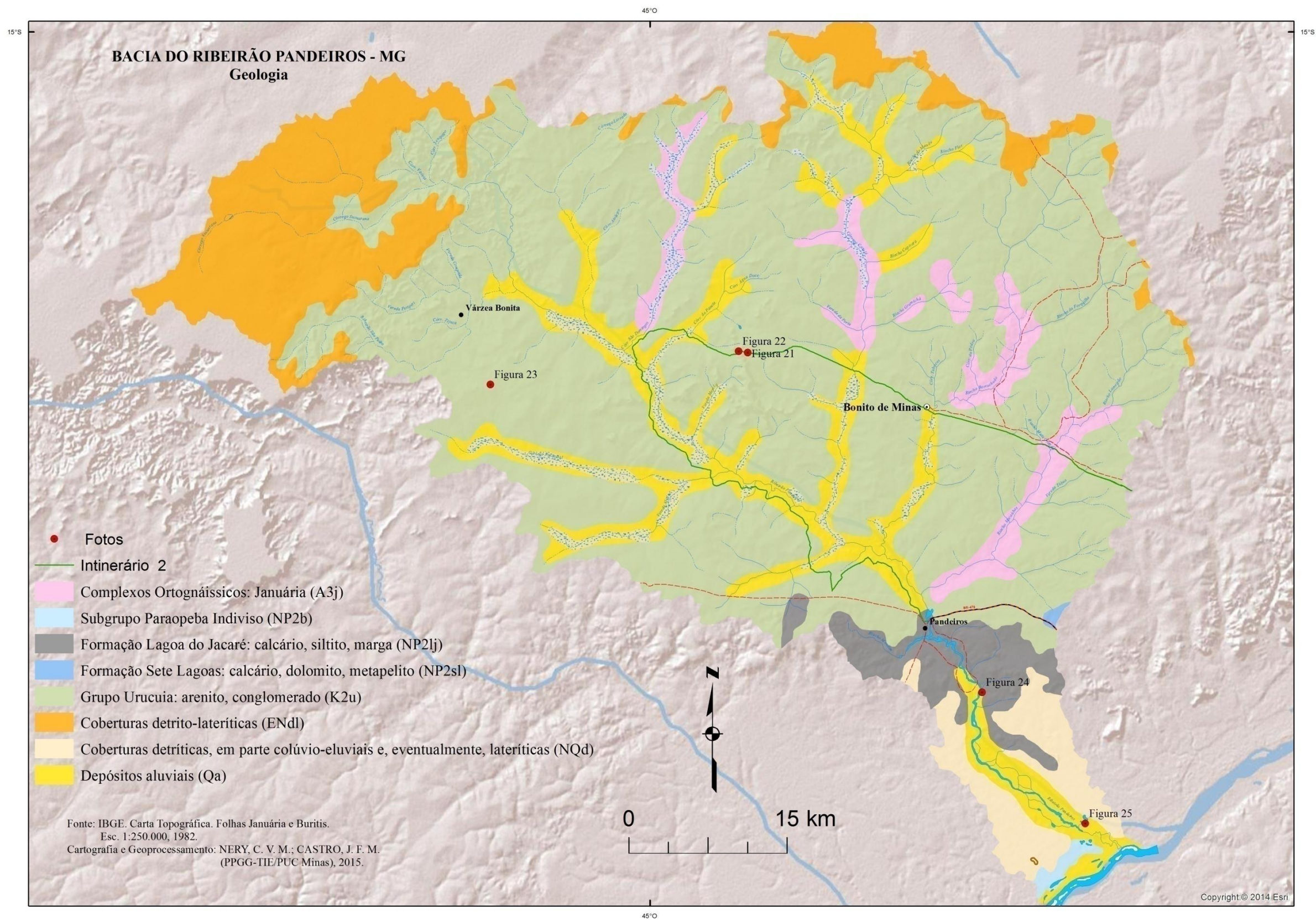


Tabela 10 - Formações geológicas encontradas na Bacia do Rio Pandeiros/MG

LITOFÁCEIS	ÁREA	
	(Ha)	%
Grupo Urucuia: arenito, conglomerado (K2u)	255.262	64,1%
Coberturas detrítico-lateríticas (ENdl)	48.787	12,2%
Depósitos aluviais (Qa)	43.675	11,0%
Complexos Ortognáissicos: Januária (A3j)	22.486	5,6%
Formação Lagoa do Jacaré: calcário, siltito, marga (NP2lj)	15.346	3,9%
Coberturas detríticas, em parte colúvio-eluviais e, eventualmente, lateríticas (NQd)	12.115	3,0%
Formação Sete Lagoas: calcário, dolomito, metapelito (NP2sl)	655	0,2%
TOTAL	398.325	

Fonte: CODEMIG. (2003)

Figura 18 - Serra da Mescla, visão da face norte na bacia do Rio Pandeiros/MG

Fonte: Acervo do Autor, 2014

Figura 19 - Afloramento de arenito na Serra da Mescla, bacia do Rio Pandeiros/MG



Fonte: Acervo do Autor, 2014

As formações Coberturas detrítico Llateríticas (ENdl) são coberturas eluvionares que se desenvolveram a partir do arenito (Figura 20). Segundo Campos e Dardene (1997), são representadas por depósitos *in situ* e ou pouco retrabalhados, possuindo uma espessura de 20 a 30 m. Distribuem nas chapadas com altitude em torno de 800m. Na Bacia do Rio Pandeiros, são observadas nas chapadas e ocupam uma superfície de 48.787 ha (12,2%) da área da bacia.

As Coberturas detríticas, em parte colúvio-eluviais e, eventualmente, lateríticas (NQd), são, segundo Iglesias e Uhlein (2009), coberturas aluvionares resultantes dos intensos processos erosivos que afetaram a área. São compostas de materiais detríticos diversificados e constituídas por areais brancas, amareladas, argilas e algumas concreções calcárias. As coberturas eluvionares são desenvolvidas a partir do material rochoso subjacente que sofreu forte laterização. São constituídas principalmente por argilas avermelhadas. As coberturas eluvionares são desenvolvidas a partir do material rochoso subjacente que sofreu forte laterização.

Figura 20 – Chapada, ao fundo, com formação coberturas detrito lateríticas na bacia do Rio Pandeiros/MG



Fonte: Acervo do Autor, 2015

O grupo Bambuí é formado por rochas carbonáticas da idade neoproterozoica (650 milhões de anos) (Figura 21), constitui uma importante formação geológica da bacia, sendo que a formação Lagoa do Jacaré cobre uma área de 15.346 ha (3,9%) e a formação Sete Lagoas com apenas 655 ha (0,2%). Segundo Iglesias e Uhlein (2009) a formação Sete Lagoas representa a unidade basal do grupo, apresentando espessura em torno de 200 m na região da Bacia. A formação Sete Lagoas é formada por calcários e dolomitos cuja deposição da rocha carbonática se deu em ambiente marinho raso. A formação Santa Helena sucedeu a Sete Lagoas e a formação Lagoa do Jacaré sucedeu a Formação Santa Helena. A deposição da rocha carbonática da formação Lagoa do Jacaré, segundo Iglesias e Uhlein (2009), foi em ambiente marinho de alta energia sob intensa atividade orgânica, que pode ser comprovada pela cor negra dos calcários e a presença de pirita, que se relaciona com um ambiente redutor característico da atividade orgânica. Esta formação está associada à formação vegetacional da Floresta Estacional Decidual.

Figura 21 - Afloramento rochoso de calcário do grupo Bambuí associado à vegetação de Floresta Estacional Decidual na bacia do Rio Pandeiros/MG



Fonte: Acervo do Autor, 2014

Os depósitos aluvionares são sedimentos, como cascalho, areia, silte e argila que se acumularam na planície de inundação dos canais de drenagem em épocas mais recentes ou remotas; nesse caso são, chamados de paleocanais. Segundo Campos e Dardene (1979) esses depósitos possuem até dez metros de profundidade, sendo que “os cascalhos ocupam as porções basais e são constituídos por seixos de quartzitos e de arcósios e metassiltitos do embasamento local”. Na bacia do Rio Pandeiros, ocupam uma extensão de 43.675 ha (11%) e

estão distribuídos pelos canais do Rio São Francisco e do Rio Pandeiros e seus principais afluentes (Figura 22).

Figura 22–Canal fluvial do Rio Pandeiros, local de deposição de material de origem aluvionar, na bacia do Rio Pandeiros/MG



Fonte: Acervo do Autor, 2016

2.4. Geomorfologia

A bacia está localizada sobre o cráton do São Francisco e compreende uma superfície rebaixada pela erosão com ocorrência de relevos residuais. A depressão do São Francisco se estende do Norte de Minas Gerais ao Vale Médio do Rio São Francisco e recorta diferentes de tipos de rochas formando tipos de solos, como areias quartzosas, latossolos vermelho distróficos, solos litólicos, solos gleizados e podzóis. Na bacia do Rio Pandeiros a presença de rochas sedimentares, principalmente o Arenito Urucuia, favoreceu o recuo paralelo das vertentes.

A resistência ao escoamento superficial em direção ao do Rio São Francisco, dada em função de composição, textura e estrutura dos elementos componentes do solo e da

geologia, fez com que se formassem diferentes arranjos clinográficos. No mapa de declividade (Figura 24), a classe de declividade dominante na bacia é de 0 a 6% de declividade, o que se revela um relevo plano a suave ondulado (Tabela 11). As áreas em que a declividade é maior que 30% são áreas no entorno de morros testemunhos, inselbergues, em arenito Urucuia, como na Serra da Mescla e nos morros da Tábua, da Capivara, do Sumidouro, e nas bordas das Chapadas, juntas perfazem uma superfície de 701 ha, ou seja, 0,2 % e estão localizadas nos escarpamentos da superfície Sul Americana. Na porção sul da bacia, as maiores declividades estão associadas à ocorrência de rochas calcárias do grupo Bambuí. A declividade máxima encontrada na bacia foi de 50% e a declividade média de 3,67%.

A amplitude altimétrica da bacia foi de 405 m a 900 m de altitude. Com base no mapa hipsométrico da bacia (Figura 24), são observadas cinco classes hipsométricas. A classe altimétrica mais representativa na bacia está entre 600 a 700 m com área de 176. 872 ha (44%) e a classe de 700 a 800 m de altitude com área de 106.244 ha (27%). Essas classes altimétricas correspondem às áreas de superfícies aplainadas do relevo, com predominância de superfícies onduladas. As áreas de menor altitude, de 400 a 600 m de altitude, correspondem às superfícies aluvionares do Rio São Francisco e de seus tributários. São áreas que ocupam 21% da superfície da bacia (83.918 ha) e representam as partes mais baixas da bacia. As áreas de maior altitude são as chapadas com altitude acima de 800 m, representam 8% da superfície da bacia (31.291 ha). As classes altimétricas e a respectiva área ocupada dentro da bacia são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 11 - Classes de declividade encontradas na Bacia do Rio Pandeiros/MG

CLASSES DE DECLIVIDADE (%)	ÁREA (ha)	%
0 a 6	357.078	89,6%
6 a 12	29.679	7,5%
12 a 20	8.069	2,0%
20 a 30	2.798	0,7%
Acima de 30	701	0,2%
TOTAL	398.325	

Figura 23 - Mapa de declividade da bacia do Rio Pandeiros/MG

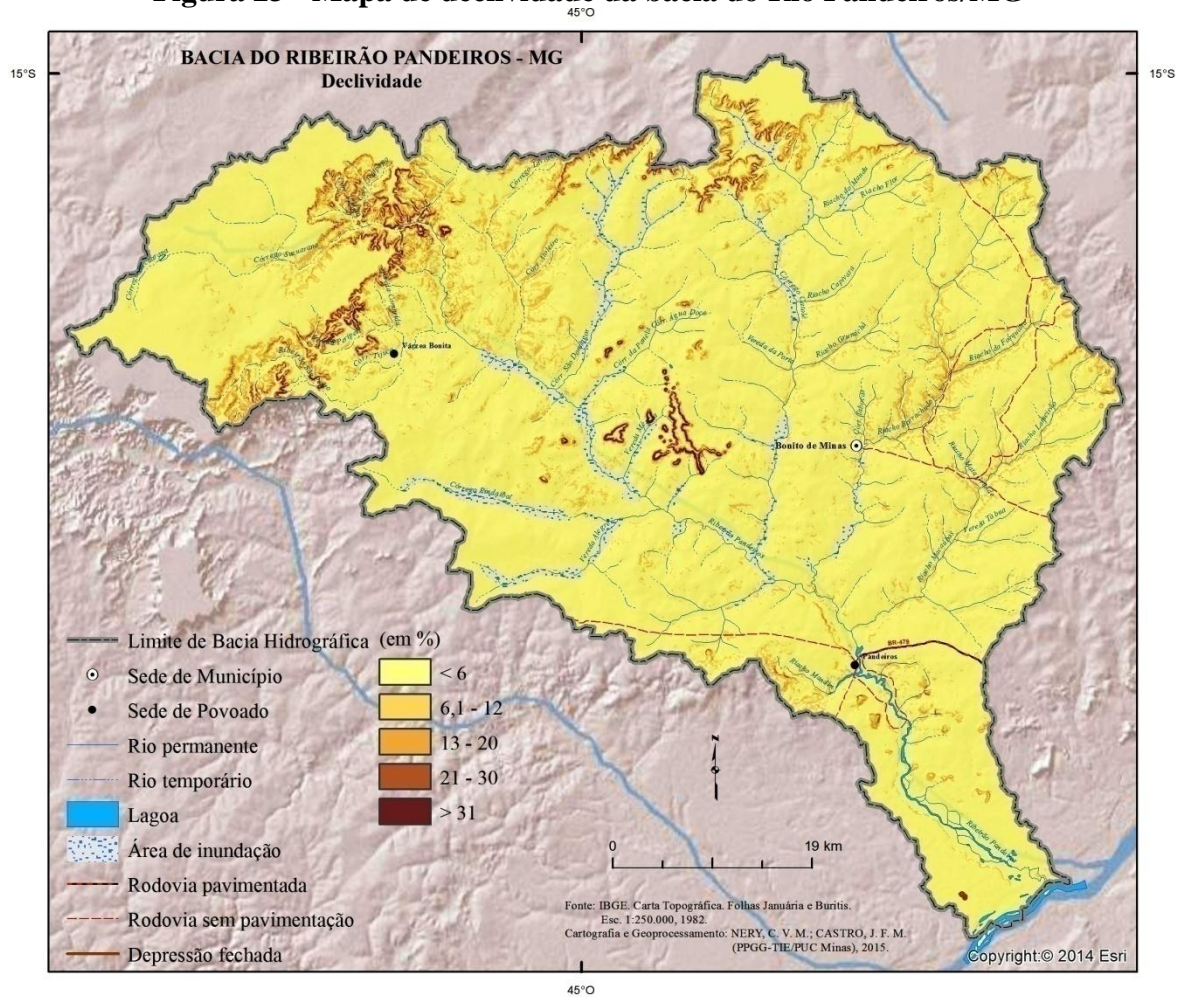
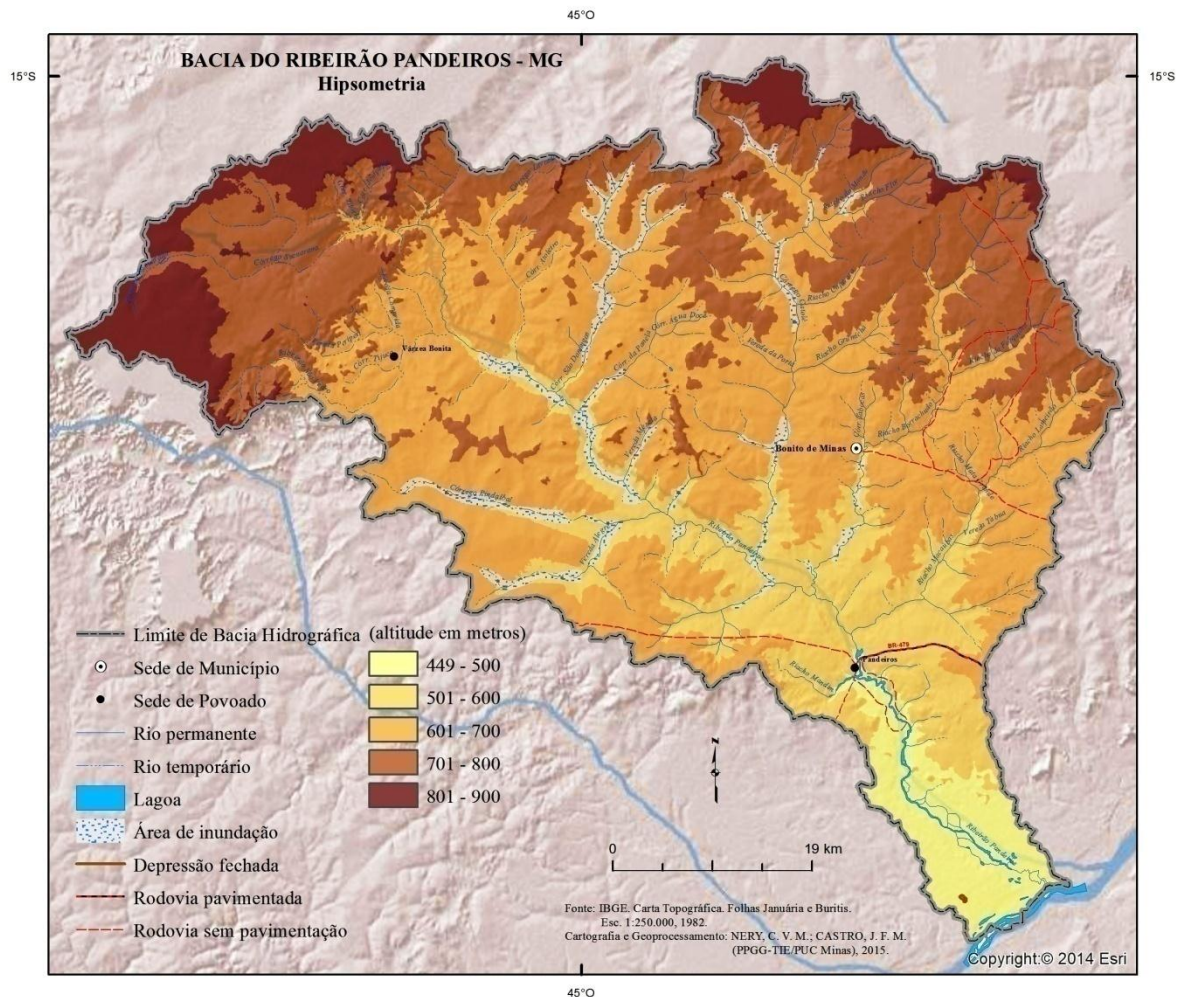


Tabela 12 - Classes de altitude encontradas na Bacia do Rio Pandeiros/MG

CLASSES DE ALTITUDE (m)	ÁREA	
	(Ha)	%
405 a 500	83	5%
501 a 600	62.392	16%
601 a 700	176.872	44%
701 a 800	106.244	27%
801 a 900	31.291	8%
TOTAL	398.325	

Figura 24 - Mapa hipsométrico da bacia do Rio Pandeiros/MG



No estudo geomorfológico da Bacia, procurou-se distinguir as unidades geomorfológicas a partir do modelado, levando-se em conta os fatores causais de natureza climática, morfodinâmica, litológica, pedológica e estrutural. São identificadas na bacia três unidades fisiográficas: o compartimento de cimeira, o compartimento carstificado e o terceiro compartimento, a Depressão do Rio São Francisco. O compartimento de cimeira está compreendido pelas áreas de maior altitude. Esse compartimento tem três unidades geomorfológicas, a superfície de aplanamento degradada inumada. Essa superfície de aplanamento está parcialmente conservada, é encimada por uma cobertura de latossolos de origem detrito laterítica e é separada da superfície limítrofe por escarpas (Figura 25). A unidade limítrofe é a superfície de aplanamento retocada inumada (Figura 26), formada após sucessivos ciclos de erosão, possui vertentes plano inclinadas e, às vezes, topos levemente

côncavos. Pode ser encimada por uma cobertura detrítica ou por encouraçamento pouco espesso, em torno de um metro.

O compartimento carstificado também possui duas unidades, o carste encoberto e o carste descoberto. A unidade geomorfológica do carste encoberto é uma unidade cujas formas do modelado de dissolução estão encobertos e mascaradas por solos, detritos e outros produtos oriundos da descalcificação. A unidade de carste descoberto tem suas formas de dissolução descobertas pela erosão de outras coberturas pré-existentes. A Depressão do Rio São Francisco é composta pela área de acumulação fluvial (Figura 27), uma unidade formada a partir da acumulação fluvial do Rio São Francisco e a unidade de acumulação flúvio lacustre do Rio Pandeiros que consiste em uma unidade de acumulação fluvial e lacustre com canais anastomados e paleomeandros, sujeitos a inundações periódicas.

Figura 25 - Mapa Geomorfológico Simplificado da bacia do Rio Pandeiros/MG

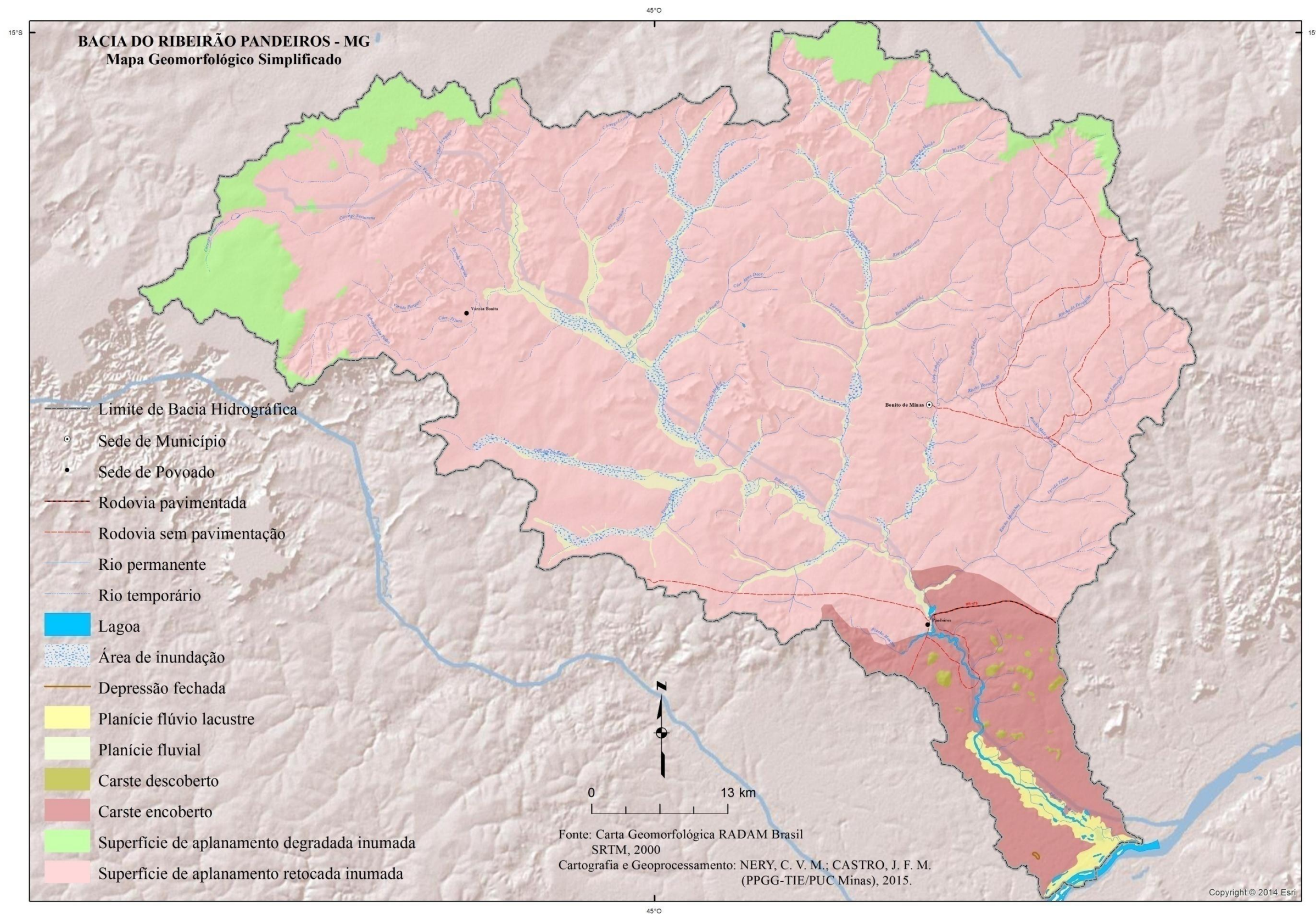


Figura 26 - Unidade geomorfológica superfície de aplanamento degradada inumada na bacia do Rio Pandeiros/MG



Fonte: Google earth, 2015.

Figura 27 - Unidade geomorfológica superfície de aplanamento retocada inumada na bacia do Rio Pandeiros/MG



Fonte: Arquivo do autor, 2015

2.5. Solos

Para o estudo dos solos da bacia, foram comparados dois mapeamentos, a saber: o mapa de solos disponibilizado pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) (UFV et al., 2010) e o mapa de solos disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (IBGE). O mapa elaborado pelo IBGE (IBGE, 1979) apresentou uma distribuição de classes de solos para a bacia, que, durante os trabalhos de campo, constatou-se ser esse mapeamento de maior acurácia quando comparado com os trabalhos de campo. Dentre as classes apresentadas, a de maior ocorrência é a classe Neossolo Quartzarênico com 244.068 ha, perfazendo um percentual de 61% da área da bacia (Tabela 13). A classe de Latossolo Vermelho distrófico cobre, segundo o IBGE (1979) (Figura 28), uma área de 110.610 ha (28%) seguida pelas classes Neossolo Litólico com 19.405 ha e 5% da área da bacia, Gleissolo Melânico com 16.220 ha e 4% da área e por fim a classe de solo Argissolo Vermelho Amarelo com 8.022 ha e 2% da área total da bacia.

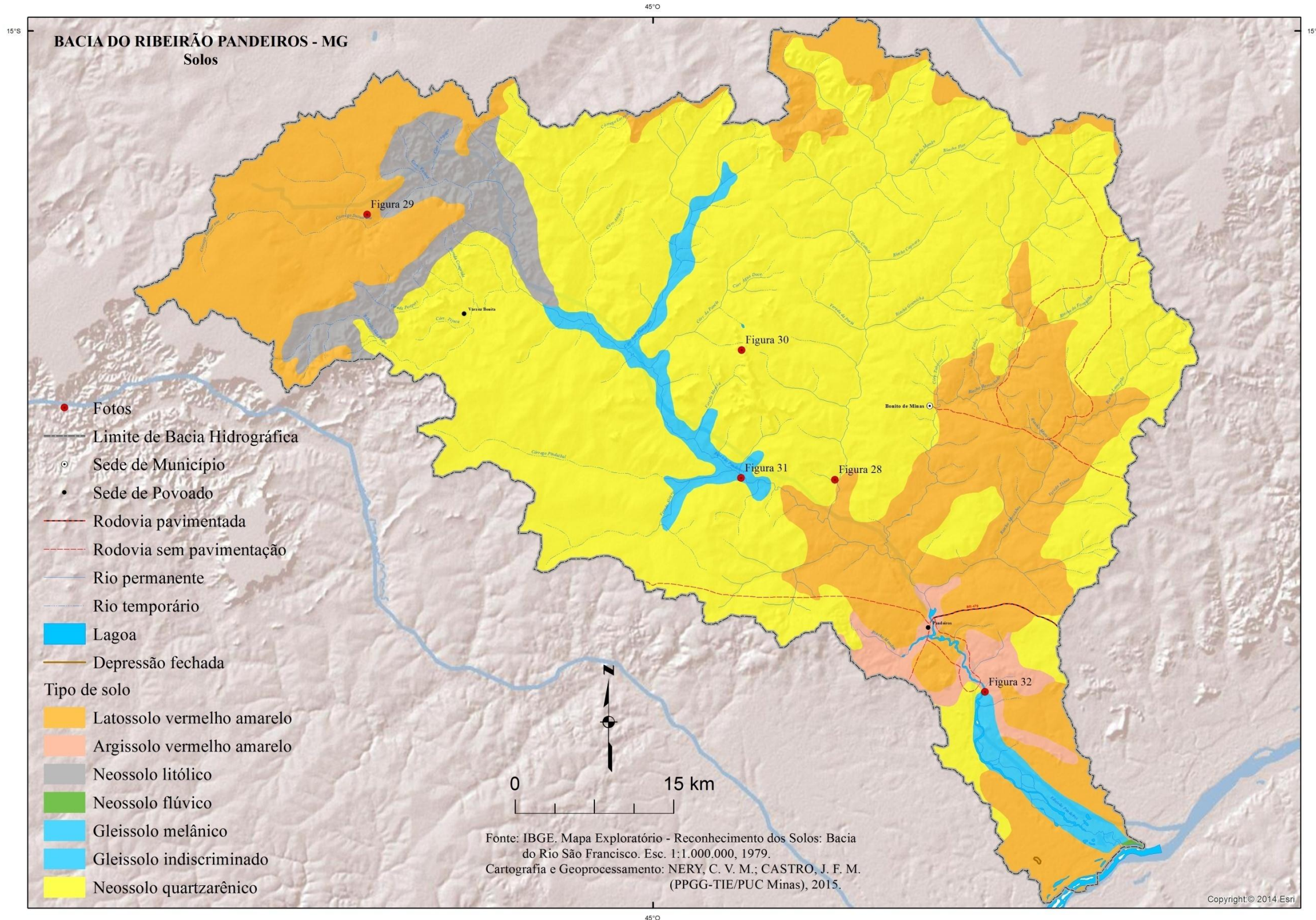
Foi realizado um levantamento de campo de modo a verificar a acurácia e comparar as diferentes fontes de informações de solos. No levantamento de campo, foram retiradas amostras de solo e realizada a abertura de perfis de solos. As amostras foram analisadas no Laboratório de solos do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG) Campus Januária. Após a análise das informações, pode-se perceber que o mapa elaborado pelo IBGE apresenta uma maior semelhança com a verdade de campo, sendo essa fonte de informação a mais acurada e a fonte adotada neste trabalho, cujas classes de solo são descritas abaixo.

Tabela 13 - Classes de solos encontrados na Bacia do Rio Pandeiros/MG

TIPOS DE SOLOS	ÁREA	
	(Ha)	%
Neossolo quartzarênico	244.068	61%
Latossolo vermelho amarelo	110.610	28%
Neossolo litólico	19.405	5%
Gleissolo melânico	16.220	4%
Argissolo vermelho amarelo	8.022	2%
TOTAL	398.325	

Fonte: IBGE, 1979

Figura 28 - Mapa de solos da bacia do Rio Pandeiros / MG



Fonte: IBGE, 1979

Neossolos Quartzarênicos são solos distróficos de coloração vermelho amarelada e estão relacionados à deposição de material laterítico, normalmente associados a um relevo plano ou levemente ondulado (Figura 29). São solos de baixa aptidão agrícola por possuírem baixos teores de argila e matéria orgânica e alta susceptibilidade à erosão, sendo frequentemente origem de voçorocas nas partes mais elevadas, de maior energia potencial, principalmente quando associados aos altos índices clinográficos.

Figura 29 - Perfil de um Neossolo Quartzarênico da Bacia do Rio Pandeiros/MG



Fonte: Acervo do Autor, 2016

Os Latossolos Vermelho Distróficos são solos de ocorrência associada a um relevo plano a levemente ondulado, em ambientes bem drenados, sendo muito profundos e uniformes em cor e estrutura (Figura 30). São solos com baixos teores de fósforo associados a uma alta porosidade e baixa quantidade de água disponível para as plantas. No terceiro nível de classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), apresenta uma baixa fertilidade natural com saturação de bases menor que 50%, são distróficos.

Figura 30 – Perfil de um Latossolo Vermelho Distrófico da bacia do Rio Pandeiros/MG



Fonte: Acervo do Autor, 2014

Neossolos litólicos (Figura 31) são solos de pouca profundidade que estão associados a altas declividades. Possuem, frequentemente, rochas provenientes de encouraçamento ou concreções. Na bacia, possuem baixa fertilidade, com baixos valores de soma de bases, altos valores de alumínio e baixos teores de fósforo. São mais indicados para a preservação da fauna e da flora locais.

Gleissolos Melânicos são solos com alto teor de matéria orgânica e alta capacidade de troca de cátions, ocorrem normalmente em terrenos de várzea (Figura 32). Estão normalmente associados às veredas.

Os solos do tipo Argissolo Vermelho Amarelo (Figura 33) são solos eutróficos com horizonte B textural, sua textura varia de média a argilosa. Estão associados ao relevo ondulado e às florestas caducifólias, matas secas. Têm como substrato litólico as rochas do calcário do grupo Bambui. A fertilidade dessa classe de solos na bacia é relativamente alta, tendo como fator limitante a sua associação com a ocorrência de afloramentos. Dessa maneira, há aptidão dessa classe de solos para a agricultura.

Figura 31 - Perfil de um Neossolo Litólico da bacia do Rio Pandeiros/MG



Fonte: Acervo do Autor, 2014

Figura 32 - Perfil de um Gleissolo Melânico na bacia do Rio Pandeiros/MG



Fonte: Acervo do Autor, 2016

Figura 33 - Perfil de um solo Argissolo Vermelho Amarelo da bacia do Rio Pandeiros/MG



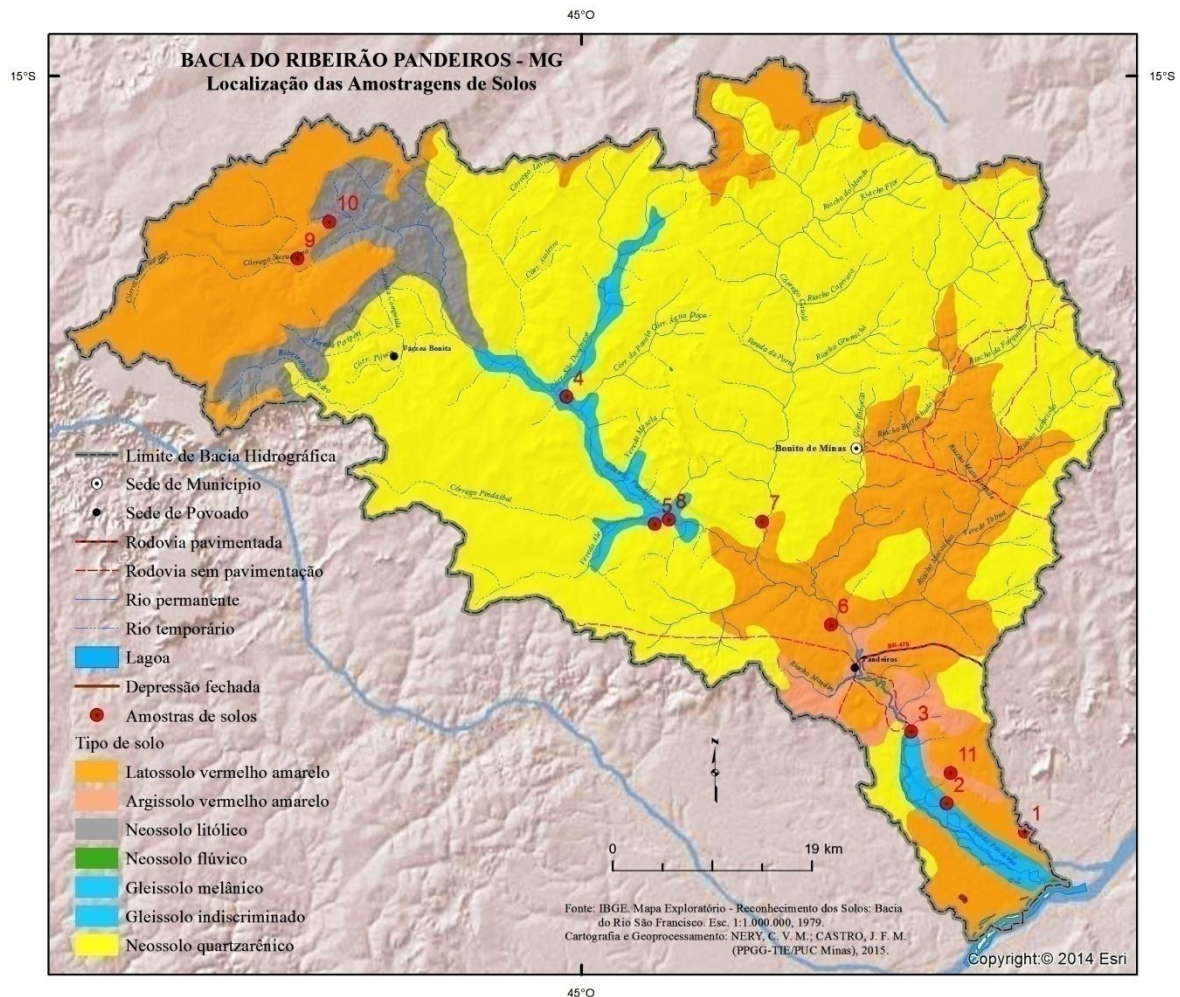
Fonte: Acervo do Autor, 2014

Amostras de solos foram coletadas em diversos pontos da bacia, cuja distribuição espacial encontra-se apresentada na Figura 34, de modo a classificar os diferentes tipos de solos que ocorrem na bacia, confrontando os resultados com o mapeamento realizado. As amostras coletadas, após análise em laboratório e a devida tabulação dos dados permitiram um melhor agrupamento por classes de solos, que, por sua vez, são apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 – Amostragens, por classe de solo, realizadas na Bacia do Rio Pandeiros/MG

Classes de solos	Amostras
Neossolo Quartzarênico	1, 2, 4, 5 e 7
Latossolo Vermelho Distrófico	10
Neossolo Litólico	9
Gleissolo Melânico	8
Argissolo Vermelho Amarelo	3, 6 e 11

Figura 34 - Espacialização das amostragens de solos da bacia do Rio Pandeiros/MG



As amostras de solos foram coletadas nas profundidades de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 60 cm, de modo a representar os parâmetros que caracterizam cada ponto amostral do solo em suas diferentes profundidades, o que é importante tanto para o entendimento de sua fertilidade e de suas características naturais, bem como para avaliar suas potencialidades de uso.

O Neossolo quartzarênico é a classe de solo que cobre a maior extensão da bacia, ou seja, 61% de sua área total. São solos de acidez elevada, com um pH médio de 5,5, baixos teores de matéria orgânica, 0,9 dag/Kg e baixos teores de Ca e Mg. Quanto à sua fertilidade natural, são solos de baixa fertilidade natural, em face da baixa capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva ($0,7\text{cmolc/dm}^3$). Os neossolos quartzarênicos apresentam limitado potencial agrícola devido a uma CTC potencial do solo muito baixa. Esse parâmetro revela o potencial de fertilidade do solo em caso de correção de sua acidez utilizando técnicas de correção de

acidez, amplamente conhecidas na agricultura. A saturação por alumínio trocável é muito elevada (71,6%), revelando que a maior parte da capacidade de troca catiônica está ligada ao alumínio trocável do solo. Os neossolos quartzarênicos que ocorrem na bacia possuem em média 84,7% de fração areia em sua composição textural.

Os solos da classe Latossolos Vermelhos Distróficos da bacia apresentam uma acidez elevada um pH médio de 4,5. Os teores de matéria orgânica são da ordem de 0,5 dag/Kg, revelando, assim, baixos teores de matéria orgânica. A capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva, que se relaciona à fertilidade natural do solo, é muito baixa, (0,6 cmolc/dm³, revelando a baixa fertilidade natural do solo, o que o caracteriza como um solo distrófico. A CTC potencial do solo, caso este tenha seu pH elevado a 7,0, é uma CTC potencial média, caracterizando o potencial agrícola desses solos quando submetidos a um processo de correção de solo e adubação equilibrada. O que deve ser observado para os latossolos é a sua composição textural com mais de 48% de argila, sendo, dessa forma, classificado como um solo argiloso.

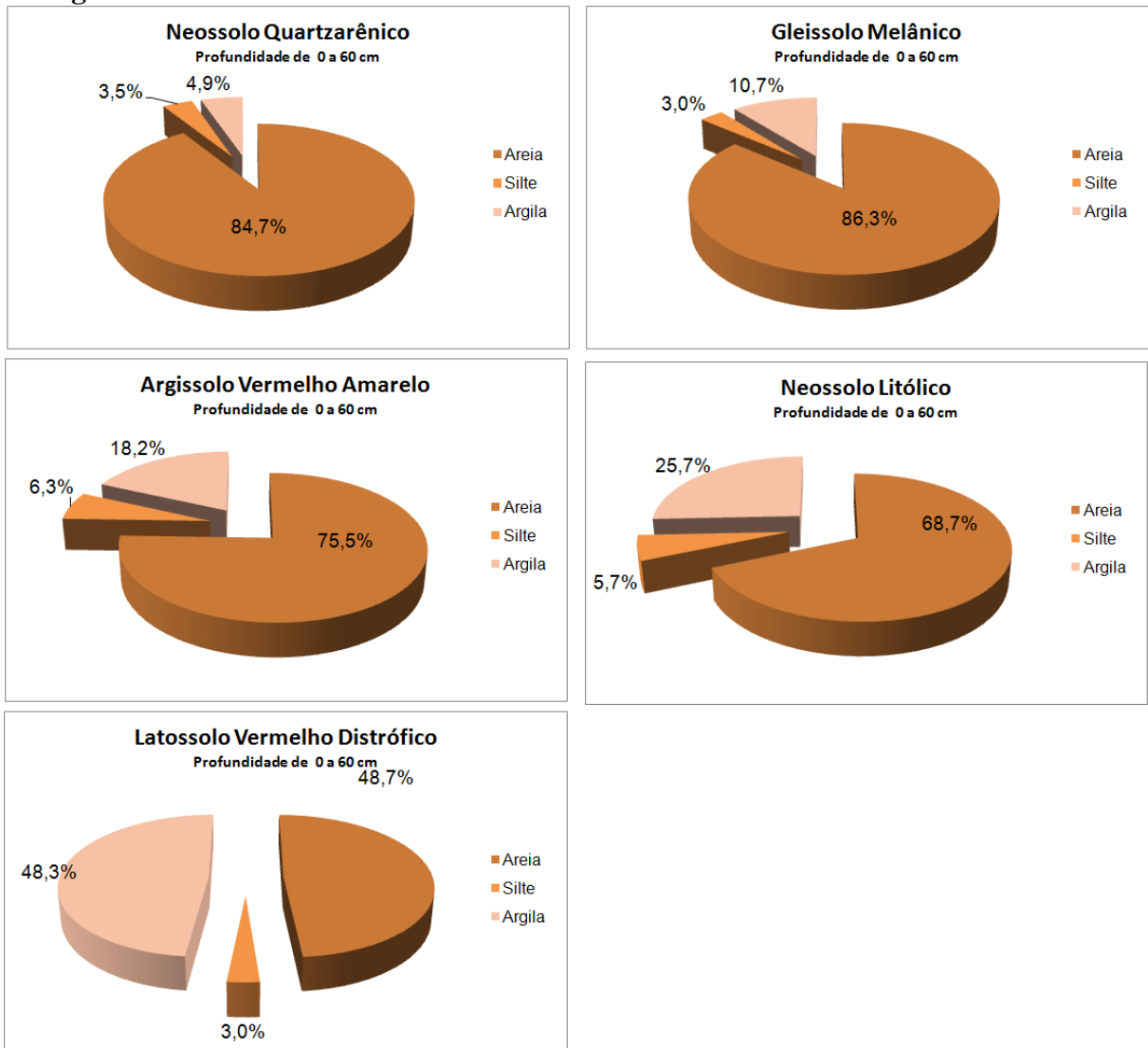
Os Neossolos litólicos são solos que apresentam uma acidez elevada com pH médio de 4,7. Os teores de matéria orgânica são muito baixos, da ordem de 0,4 dag/Kg. A capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva é muito baixa, 0,5 cmolc/dm³. A CTC potencial do solo se enquadra como baixa de acordo com os parâmetros propostos pela EPAMIG (EPAMIG, 2012), caracterizando, assim, o baixo potencial agrícola desses solos, mesmo quando submetidos a um processo de correção de solo e adubação equilibrada. Além da baixa fertilidade, os neossolos litólicos estão quase sempre associados às elevadas declividades e sua composição textural revela teores de argila de 25,7%, 68,7% de areia e 5,7% de silte, um solo de textura franco argila arenosa.

Os Gleissolos são solos associados a um ambiente redutor das áreas úmidas, entre as quais, as veredas. O valor de pH desses solos na bacia foi de 5,3, um pH ácido devido ao alumínio trocável e os compostos húmicos presentes na matéria orgânica. O teor de matéria orgânica presente na amostra apresentou valores baixos (0,2 dag/Kg), um teor baixo em relação ao valor esperado. A amostra apresentou baixos teores de Ca e Mg e a capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva é baixa (0,4 cmolc/dm³). A CTC potencial da amostra também foi considerada como baixa (2,6 cmolc/dm³). A saturação por bases é baixa e a saturação por alumínio trocável é muito elevada, sendo necessária a adoção de calagem do solo em caso de sua incorporação à produção agrícola. Os valores encontrados na amostragem para os Gleissolos melânicos são questionáveis, principalmente em relação ao teor de matéria orgânica e a CTC potencial.

Os Argissolos na bacia apresentaram uma acidez média (pH 5,6), baixos teores de matéria orgânica, 0,6 dag/Kg, e baixos teores de Ca e Mg. A CTC efetiva do solo é de 1,0 cmolc/dm³, o que caracteriza um solo com baixa fertilidade natural. A CTC potencial (T) revela um valor de 7,1 cmolc/dm³, classificada como média, o que mostra o potencial agrícola desses solos em termos de fertilidade do solo, no caso de se elevar seu pH a valores próximos a 7. Dentre os diversos tipos de solos, os argissolos foram aqueles que apresentaram maior saturação por bases (10%), fato esse relacionado à origem do solo. O teor de argila nos argissolos amostrados foi da ordem 18,2dag/kg, o que o caracteriza como um solo de textura média. Os argissolos em dois pontos amostrais possuem um horizonte B textural, com valores de argila superiores aos valores do horizonte superficial. De acordo com as análises realizadas, o potencial agrícola dos argissolos é superior aos latossolos da bacia, pois possuem uma maior fertilidade natural, fertilidade potencial e pH mais adequado às atividades agrícolas.

Os solos Neossolos quatzarênicos, Gleissolos melânicos e os Argissolos vermelho amarelo apresentam uma característica em comum, sua composição textural arenosa. Todas as amostras apresentaram alto teor de areia, com excessão dos Latossolos Vermelho distróficos, que são argilosos e os Neossolos litólicos de textura franco argilo arenosa (Figura 35). Os altos teores de areia presentes na maior parte dos solos da bacia merecem uma maior atenção, devido ao fato de esses solos serem de fácil desagregação, que por sua vez, pode revelar os elevados impactos que determinadas ações humanas causam ao meio ambiente. Ações, como a retirada de regolito para estradas, abertura de estradas, plantio em desnível, não adoção de práticas conservacionistas pelos agricultores e pisoteio do gado, podem resultar em impactos substanciais, que ocasionam o transporte e a deposição de sedimentos nos leitos dos rios.

Figura 35 - Análise textural das amostras de solos da bacia do Rio Pandeiros/MG



2.6. Vegetação natural

O clima, com duas estações bem distintas, um período seco de março a novembro, um período curto de precipitação, a ocorrência de veranicos e temperatura média no mês mais frio acima de 24°C, determina as espécies arbóreas com ocorrência na região. A bacia é coberta pelo bioma do cerrado, uma formação do tipo savana tropical que ocupa em torno de 21% do território nacional e, conforme Klink e Machado (2005), possui um alto índice de endemismo com mais de 7.000 espécies tendo, historicamente, maiores taxas de desmatamento que o bioma da Amazônia.

Além da sua rica biodiversidade, o cerrado, segundo Boaventura (2007), desempenha papel de fundamental importância na manutenção de cursos d'água, devido à característica de abrigar cabeceiras de importantes cursos hídricos em seu interior.

O bioma é composto por formações vegetais diversas do tipo campestre, como o campo limpo, savânicas; como campo cerrado e campo sujo e formações florestais; como cerrado senso restrito, cerradão, florestas decíduas e florestas de galerias. Scolforo e Carvalho (2006) mapearam as seguintes formações vegetais: Campos, Campo Cerrado, Cerrado Stricto Sensu, Veredas, Floresta Estacional Decidual e a Floresta Estacional Semidecidual. No Mapeamento das Formações de Vegetação Natural da Bacia do Rio São Francisco, realizado pelo IBGE em 1978 (IBGE, 1978), foram identificadas as seguintes classes de vegetação natural: Floresta Tropical Caducifólia, Floresta Tropical Densa Subcaducifólia, Cerrado (denso), Cerrado (ralo), Transição Cerrado para Caatinga (densa) e Campo. Na tabela adiante (Tabela 15), é possível visualizar a distribuição da vegetação natural por município da bacia. O mapa da vegetação natural da bacia do Rio Pandeiros elaborado com base no Mapeamento das Formações de Vegetação Natural da Bacia do rio São Francisco, é apresentado na Figura 37.

A Floresta Tropical Caducifólia é também conhecida como Floresta Estacional Decidual ou Mata Seca. É uma formação característica da região em que ocorrem duas estações climáticas bem distintas, a estação chuvosa e a estação seca. No período seco, que vai de abril a novembro, mais da metade dos indivíduos do estrato dominante, um estrato de 15 a 30 m de altura, perde a folhagem. Na bacia do Rio Pandeiros essa classe de formação natural, segundo o mapeamento realizado (IBGE, 1978), ocorre em apenas 2% da área, ou seja, em uma extensão de 8.180,55 ha, sendo que a quase totalidade da área está no município de Januária/MG.

Tabela 15 - Distribuição das classes de vegetação natural por município da bacia hidrográfica do Rio Pandeiros/MG

Classes de Vegetação Natural	Januária (ha)	Bonito de Minas (ha)	Cônego Marinho (ha)	Área Total (ha)	%
Floresta Tropical Caducifólia	7.741,25	439,30	0,00	8.180,55	2%
Floresta Tropical Densa Subcaducifólia	0,00	7.520,99	1.746,92	9.267,91	2%
Cerrado (denso)	21.675,20	22.858,67	2.239,67	46.773,54	12%
Cerrado (ralo)	112.896,81	123.000,52	19.503,39	255.400,72	64%
Transição Cerrado para Caatinga (densa)	12.589,64	0,00	0,00	12.589,64	3%
Campo	60.217,10	5.408,52	487,02	66.112,64	17%
	215.120,00	159.228,00	23.977,00	398.325,00	

A formação natural Floresta Estacional Decidual ocorre em áreas associadas à ocorrência de solos mais férteis. Na bacia do Rio Pandeiros, é comum a associação dessa classe de vegetação natural com os Argissolos e em menor grau com Latossolos Vermelhos, o que faz com essa seja a formação mais antropizada da bacia. É comum a conversão das áreas de mata seca em áreas de culturas agrícolas e principalmente em áreas de pastagem para a exploração da pecuária extensiva. O capim braquiária, trazido do continente africano, se adaptou muito bem aos solos bem drenados e clima do Cerrado Brasileiro que, aliado à sua aceitação pelo gado bovino, expandiu-se rapidamente por toda a região, favorecendo essa conversão.

A sua composição florística está associada aos solos férteis, com maior teor de argila, que ocorrem sobre as rochas do grupo Bambuí, especialmente para a bacia, a formação Lagoa do Jacaré. Dentre as espécies que ocorrem na Mata Seca (Figura 37) tem-se principalmente a *Schinopsis brasiliensis* (pau-preto), *Cavanillesia arborea* (embaré), *Commiphora leptophloeos* (emburaninha) e a *Spondias tuberosa* (Umbu) (SCOLFORO e CARVALHO, 2006).

Figura 36 - Mapa da Vegetação Natural da bacia do Rio Pandeiros/MG

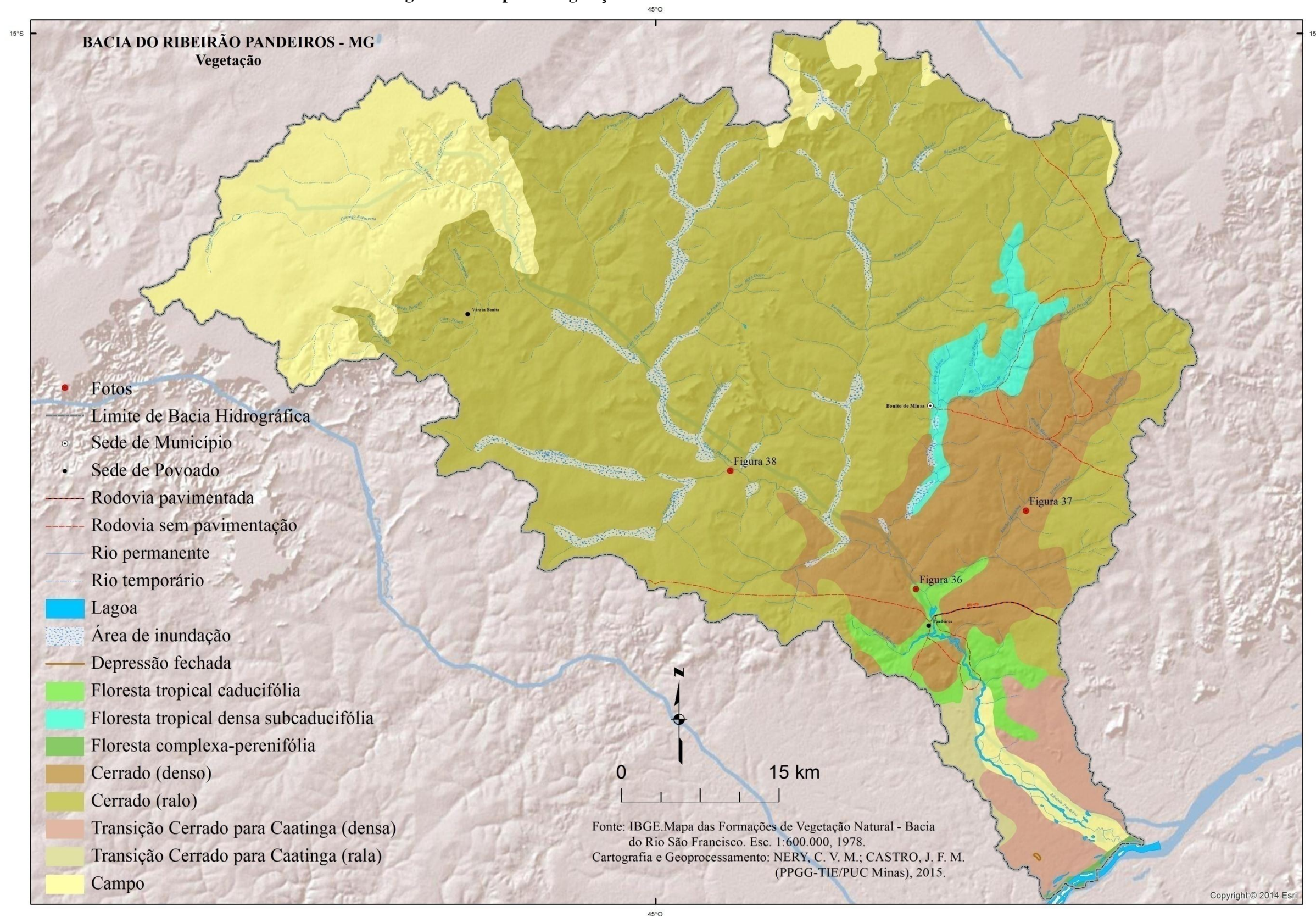


Figura 37 – Floresta Estacional Decidual na bacia do Rio Pandeiros/MG



Fonte: Acervo do Autor, 2014

Dentre as classes de cerrado, no sentido restrito, foram mapeadas as classes de vegetação natural Cerrado denso e Cerrado ralo. O cerrado ralo (Figura 38) é a formação que tem a maior ocorrência na bacia do Rio Pandeiros, sua extensão abrange 64% da superfície da bacia, num total de 255.400,72 (ha). O Município de Bonito de Minas possui quase 50% da superfície com a formação vegetacional natural de Cerrado ralo.

O cerrado ralo é uma formação constituída por arbustos e árvores com altura média de dois a três metros. Essa formação se distingue das anteriores pela ocorrência de um campo de gramíneas, arbustos e ervas.

A formação denominada Transição Cerrado para Caatinga é uma formação que ocorre apenas no município de Januária/MG, sua denominação pode ser de Catanduva ou Carrasco. A formação está associada à depressão do Rio São Francisco, possui alta densidade de indivíduos lenhosos de troncos finos e abundância de trepadeiras lenhosas. Essa formação recobre 3% da área total da bacia, o que corresponde a 12.589,64 ha.

Figura 38 – Cerrado denso na bacia do Rio Pandeiros/MG

Fonte: Acervo do Autor, 2014

Dentre os ambientes do cerrado há o destaque para as áreas de veredas (Figura 39), sendo estas, segundo Magalhães (1956), *apud* Walter (2006), um tipo florístico geralmente circundado pelo campo cerrado localizado em áreas caracterizadas com superfícies planas pantanosas, úmidas ou encharcadas na base de depressões pouco profundas, estilizando-se em faixas ou formas arredondadas. As veredas, segundo Boaventura (2007), são áreas onde há surgência gradual de água acumulada em nível de pouca profundidade do solo, sendo as áreas planas localizadas em regiões mais elevadas cobertas por uma vegetação nativa de cerrado, as zonas de infiltração e recarga, onde a captação de águas pluviais é transmitida para o lençol subterrâneo. As veredas são caracterizadas principalmente pela presença da palmeira *Mauritia vinifera* (Buriti), junto com a ocorrência de outras espécies arbóreas em maiores ou menores densidades, variando de acordo com as características do solo e o grau de saturação d'água (BOAVENTURA, 2007).

Figura 39 – Vereda na bacia do Rio Pandeiros/MG



Fonte: Acervo do Autor, 2014

As áreas de veredas contribuem diretamente para a alimentação das fontes hídricas da região utilizadas para práticas agrícolas, abastecimento humano e dessedentação de animais. Contribuem também para a manutenção de seus afluentes, funcionando como refúgio e corredor natural para a fauna nos períodos secos, além de seu importante significado para o cerrado, funcionando como reguladoras dos cursos hídricos da região (RAMOS et al.2006).

Nesse sentido, as veredas, de acordo com Ferreira (2008), ainda constituem um subsistema de grande significado ecológico, socioeconômico e estético paisagístico, apresentando uma diversidade de espécies da fauna e flora que necessitam diretamente desse ambiente para sua sobrevivência e que segundo Bahia et al. (2009), vêm sofrendo intensas modificações na Bacia do Rio Pandeiros, causadas pelos veredeiros, devido às práticas de desmatamento para a formação de pastagens, ocasionando a compactação do solo por animais domesticados, onde, também, parte da vegetação natural é substituída por pastagens e agricultura de subsistência, entre outros.

2.7. Uso e ocupação do solo

O mapa de uso e ocupação do solo (Figura 40) representa o cenário da bacia em março de 2014. No mapa, percebe-se que a tipologia que possui maior extensão é o cerrado, sendo essa tipologia dividida em Cerrado denso e Cerrado ralo. O cerrado ralo ocupa uma superfície de 156.032 ha, o que representa 39,2% da área da bacia (Tabela 16) e se caracteriza principalmente por áreas de cerrado em que houve o corte raso ou o desmatamento no período de dois a cinco anos aproximadamente. As áreas de cerrado ralo que ocorrem na bacia foram objeto de desmatamento para a produção de carvão vegetal como insumo na produção de aço e ferro gusa nas indústrias siderúrgicas, ou ainda, foram áreas atingidas por incêndios recentes, 2 a 5 anos. A prática de incêndios para a renovação de pastos naturais e a limpeza de áreas ainda é comum na bacia e, conforme afirmação de Tricart (1977), a cobertura vegetal é a primeira a ser afetada pelo homem para o desenvolvimento de suas atividades.

Valendo-se dos conceitos de unidades ecodinâmicas de Tricart (TRICART, 1977), o cerrado ralo (Figura 41) é uma formação em regeneração e pode ser considerada como uma Unidade Ecodinâmica Intergrade de Tricart, pois é um meio em transição entre meios instáveis, a classe solo exposto, e meios estáveis, o Cerrado Senso Restrito.

A classe cerrado denso (Figura 42) caracteriza-se por ser um tipo vegetacional em mais avançado estado de regeneração que a categoria anterior. O cerrado denso cobre uma superfície de 127.800 ha (32,1%) e constitui uma Unidade Ecodinâmica Estável, conforme proposto por Tricart, por se tratar de uma unidade em estado climático em perfeito equilíbrio ecológico, principalmente em função de sua maior cobertura vegetal, praticamente inexplorada.

Figura 40 - Mapa de uso e ocupação do solo da bacia do Rio Pandeiros/MG

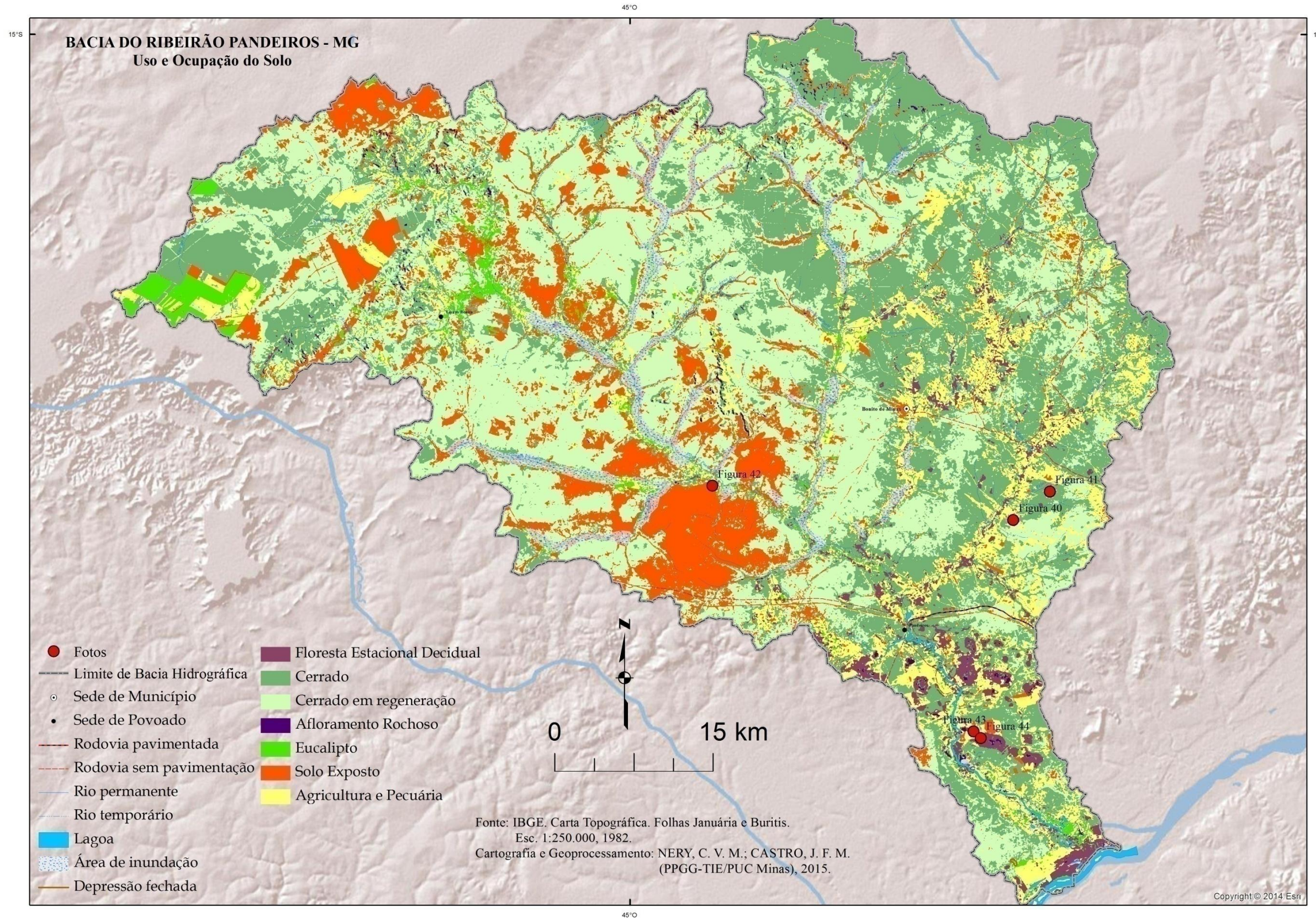


Tabela 16 - Classes de declividade encontradas na Bacia do Rio Pandeiros/MG

Classes de uso e ocupação	Área (ha)	%
Cerrado ralo	156.032	39,2%
Cerrado denso	127.801	32,1%
Solo Exposto	51.937	13,0%
Agricultura e Pecuária	40.215	10,1%
Floresta Estacional Decidual	10.486	2,6%
Eucalipto	9.086	2,3%
Afloramento Rochoso	1.845	0,5%
Água	923	0,2%
TOTAL	398.325	

Figura 41 - Cerrado ralo em regeneração na bacia do Rio Pandeiros/MG

Fonte: Acervo do Autor, 2014

A cobertura vegetal protege o solo, pois intercepta a precipitação e diminui o impacto das gotas, diminuindo a compactação superficial e a consequente erosão. A cobertura vegetal também protege a superfície do solo, interceptando a radiação que aquece o solo e interfere na flora e fauna, na mineralização de compostos húmicos presentes na matéria orgânica do solo, a nitrificação e consequentemente a fertilidade. Com maior cobertura vegetal, a queda de detritos vegetais, a serrapilheira, garante uma reciclagem de nutrientes para o solo, melhor estrutura e menor erosão.

Figura 42 - Cerrado denso na bacia do Rio Pandeiros/MG

Fonte: Acervo do Autor, 2014

A classe solo exposto recobre uma superfície de aproximadamente 51.937 ha (13%) da bacia. Trata-se de uma Unidade Ecodinâmica Instável, segundo a teoria de unidades ecodinâmicas de Tricart (Tricart, 1977), pois, com a retirada da cobertura vegetal, todos os benefícios dessa cobertura para o solo, que foram citados acima, se perderam. Essa classe de cobertura do solo é um sistema em bioestasia, degradado, em dinâmica regressiva de H. Erhart. Superfícies com essa cobertura do solo ultrapassaram sua capacidade de resiliência, sendo impossível seu retorno ao estágio original, ou seja, sua recuperação natural. A ocorrência de solos sem cobertura vegetal na bacia se dá principalmente na margem direita do Rio Pandeiros entre a Vereda Alegre e o Riacho Mandin, área de implantação da cultura do eucalipto na década de 1970 (Figura 43).

A classe de uso do solo denominada Agricultura e Pecuária ocupa 40.215 ha e cobre aproximadamente 10% da área da bacia. Esse uso do solo se dá principalmente às margens do Rio Pandeiros e de seus tributários e em áreas da vegetação natural floresta estacional decidual, a mata seca. A distribuição espacial da ocorrência da agricultura e pecuária na bacia do Rio Pandeiros pode ser explicada pela proximidade da água e a fertilidade dos solos. Nas margens dos rios, o solo predominante é do tipo Gleissolo Melânico que tem sua fertilidade associada aos compostos húmicos de seu maior teor de matéria orgânica. Como são solos um pouco mais férteis, sua ocupação antrópica se dá

principalmente pela agricultura de subsistência e implantação de pastagens. Fato semelhante acontece com as áreas associadas à mata seca, nesse caso, a fertilidade dos solos, formados a partir de rochas calcárias do grupo Bambuí, resultou em solos do tipo argissolos, com maiores teores de argila, melhor pH e maior fertilidade natural. Os terrenos bem drenados e o clima tropical permitiram uma boa adaptação das pastagens do tipo braquiária na bacia e, por consequência, permitiu a expansão da atividade da pecuária, que é o principal uso dessas áreas.

As Braquiárias (Figura 44) se adaptaram muito bem aos solos e ao clima da região e, em conjunto com sua boa palatabilidade para o gado bovino, fomentaram a incorporação de terras, antes inaptas para a pecuária, ao processo produtivo. Nas últimas décadas grandes áreas de cerrado e mata seca foram convertidas para a exploração de pecuária extensiva de corte por meio do plantio de lavouras em consórcio com milho, feijão e mandioca.

Figura 43 - Área explorada com a cultura do eucalipto na bacia do Rio Pandeiros/MG



Fonte: Acervo do Autor, 2014

Figura 44 - Área de pastagem de Braquiária na bacia do Rio Pandeiros/MG



Fonte: Acervo do Autor, 2014

A Floresta estacional decidual, a Mata Seca (Figura 45), representa atualmente 10.486 ha da bacia, ou seja, 2,6% de sua área. Sua ocorrência está associada aos argissolos que são os solos naturalmente mais férteis encontrados na bacia.

A área remanescente da mata seca na bacia se dá principalmente pela presença de afloramentos rochosos e fragmentos de rochas, o que dificulta, apesar da fertilidade, a sua incorporação ao processo produtivo convencional. São consideradas Unidades Ecodinâmicas Estáveis dado a seu equilíbrio homeostático. A vegetação produz grande quantidade de serrapilheira, principalmente no período seco, época em que a maior parte das espécies perde suas folhas. A produção de serrapilheira melhora a nutrição e a estrutura do solo, bem como o torna mais resistente à erosão. Na primavera, nas primeiras chuvas, ocorre um intenso brotamento e a recomposição gradativa da folhagem, que protege o solo contra o impacto das gotas de água e evita a incidência direta da radiação solar na superfície do solo. A ocorrência da Mata seca na bacia já foi bem mais expressiva em

tempos anteriores, sendo que nos últimos anos houve uma rápida conversão dessa classe de uso para a formação de pastagens e a agricultura de subsistência.

Figura 45 - Floresta estacional decidual na bacia do Rio Pandeiros/MG



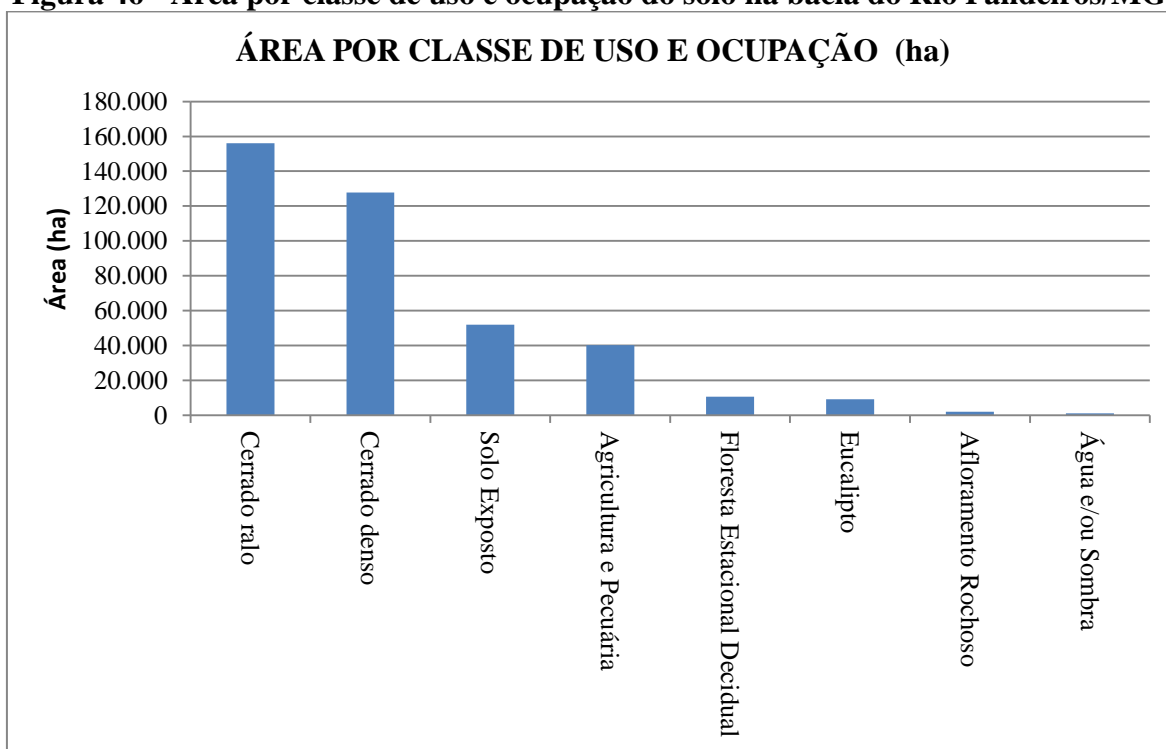
Fonte: Acervo do Autor, 2015

A classe de uso e ocupação Eucalipto representa 2,3% da área da bacia e soma aproximadamente 9.086 ha. Sua ocorrência se dá, até o presente momento, apenas nas áreas de relevo de chapadas, mais a nordeste da bacia. A aplicação recente de modernas técnicas de produção agrícola incorporou novas terras ao processo produtivo, como nas chapadas. O potencial agrícola das áreas de chapada, que são cobertas por latossolos vermelho distróficos, que são solos argilosos de bom potencial produtivo, aliado às políticas de incentivo à silvicultura, com a disponibilização de capitais para o seu financiamento, principalmente por meio do programa agricultura de baixo carbono, Programa ABC, tem incentivado o avanço da cultura do eucalipto não somente sobre essas áreas, mas sobretudo sobre a bacia como um todo.

As áreas de afloramento rochoso somaram 1.845 ha (0,5%) e são representadas principalmente pelos afloramentos de calcário do grupo Bambuí na porção sul da bacia. Complementarmente, segue a classe Água/Sombra com 923ha (0,2%) que representa, além dos corpos hídricos, as sombras formadas pelas nuvens durante o imageamento.

Um gráfico resumo com distribuição das áreas ocupadas por classe de uso e ocupação do solo é apresentado na figura adiante (Figura 46)

Figura 46 - Área por classe de uso e ocupação do solo na bacia do Rio Pandeiros/MG



2.8. Caracterização socioeconômica dos municípios da bacia

A bacia do Rio Pandeiros abrange parte dos municípios de Januária, Bonito de Minas e Cônego Marinho. Esses municípios fazem parte da microrregião de Januária no norte do Estado de Minas Gerais (Figura 47).

De acordo com o levantamento censitário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010), a população residente nos municípios de influência da Bacia do

Rio Pandeiros está estimada em 82.237 habitantes (Tabela 17). O município de Januária é o município de maior população na bacia (65.463 habitantes), sendo que a maioria de sua população é urbana, diferentemente da população dos municípios de Bonito de Minas e Cônego Marinho que possuem 78% e 74% respectivamente, de população rural. Dos três municípios aos quais a bacia pertence, apenas o município de Bonito de Minas possui sede localizada no interior da bacia.

Figura 47–Microrregião de Januária com a localização da bacia do Rio Pandeiros/MG em destaque

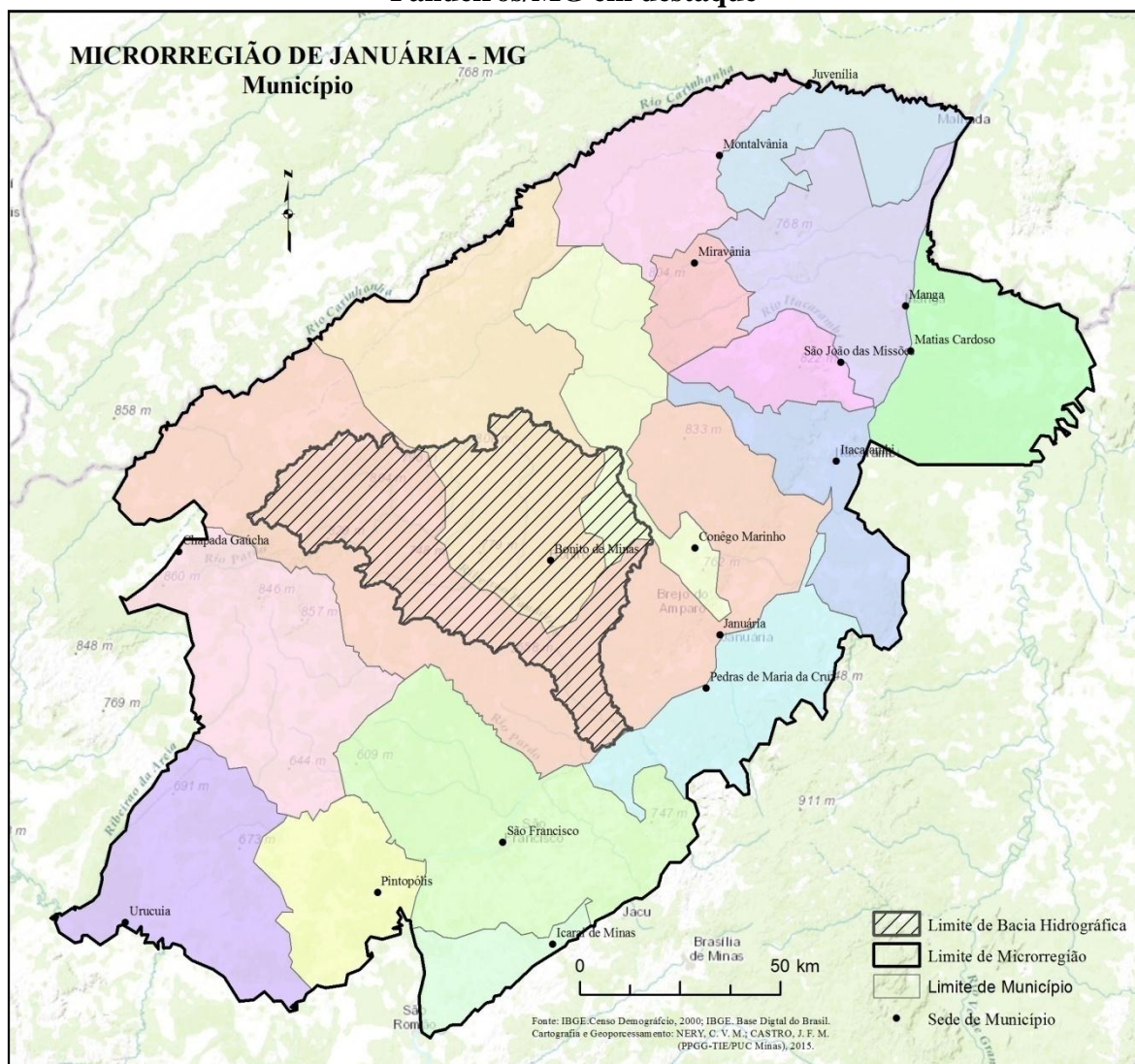


Tabela 17 - População dos municípios de abrangência da bacia do Rio Pandeiros/MG

Município	Total (Hab)	Urbana (Hab)	Urbana (%)	Rural (Hab)	Rural (%)
Januária	65.463	41.242	63%	24.221	37%
Bonito de Minas	9.673	2.128	22%	7.545	78%
Cônego marinho	7.101	1.846	26%	5.255	74%
	82.237	45.216		37.021	

Fonte: IBGE (2010)

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) dos municípios no ano de 2010, segundo o Atlas Brasil do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (ATLAS DE DESENVOLVIMENTO HUMANO, 2013), foi de 0,537 para Bonito de Minas; 0,621 para Cônego Marinho e 0,658 para Januária (Tabela 18). Além de possuir maior população, Januária é o município de maior IDH entre os três que abrangem a bacia. Dentre os municípios, aquele que teve a maior melhoria dos indicadores entre os anos de 2000 e 2010, ou seja, teve o maior incremento de IDH entre os anos 2000 e de 2010 foi do município de Bonito de Minas (59,8%), seguido pelos municípios de Cônego Marinho (41,1%) e Januária (21,6%) (Figura 48).

Os dados de IDH também permitem a constatação de que, entre os anos de 2000 e 2010, a perspectiva Educação foi a que mais contribuiu para o incremento do IDH dos municípios, seguida pela perspectiva Renda e Longevidade, respectivamente. Nesse sentido, há de se ressaltar a contribuição do município Bonito de Minas para a melhoria da perspectiva Educação entre os anos de 200 e 2010, sendo que seu indicador cresceu mais de 162% entre os respectivos anos. O município de Cônego Marinho foi o que teve a maior melhoria no indicador de renda per capita entre os anos de 2000 e 2010, sendo que seu indicador cresceu 36,8% na década, seguido pelos municípios de Bonito de Minas (34,9%) e Januária (12,5%).

O que se pode notar em relação aos dados de IDH foi uma melhoria em todos os municípios que abrangem a bacia na última década, com destaque para o município de Bonito de Minas, o que mais melhorou seus indicadores. O crescimento dos municípios foi calcado principalmente na melhoria da educação e, em segundo plano, a melhoria da renda per capita, o que reflete uma melhora no padrão de vida das famílias na década, na área de abrangência da bacia.

Tabela 18 - Índice de Desenvolvimento Humano dos municípios de abrangência da bacia do Rio Pandeiros/MG

Município	IDH			IDH Renda			IDH Longevidade			IDH Educação		
	1991	2000	2010	1991	2000	2010	1991	2000	2010	1991	2000	2010
Januária	0,391	0,541	0,658	0,509	0,543	0,611	0,652	0,749	0,820	0,180	0,389	0,568
Cônego Marinho	0,306	0,440	0,621	0,390	0,402	0,550	0,664	0,734	0,799	0,111	0,289	0,544
Bonito de Minas	0,239	0,336	0,537	0,357	0,381	0,514	0,588	0,673	0,776	0,065	0,148	0,388

Fonte: Adaptado de www.atlasbrasil.org.br/2013

Figura 48– Índice de Desenvolvimento Humano dos municípios de abrangência da bacia do Rio Pandeiros/MG



Ao analisar-se o Produto Interno Bruto (PIB) dos três municípios (Tabela 19), fica evidente o tamanho da economia do município de Januária em relação aos outros dois municípios, sendo o PIB do município de Januária em torno de dez vezes maior que os outros municípios. O PIB dos três municípios que abrangem a bacia cresceu em média em torno de 9,6% ao ano entre os anos de 2008 e 2011. Quanto à renda per capita dos municípios da bacia, a maior renda per capita em 2001 é a do município de Januária, seguido pelos municípios de Cônego Marinho e Bonito de Minas, respectivamente.

A principal atividade econômica exercida no meio rural nos municípios é a agropecuária extensiva para subsistência e a produção de carne e leite. As unidades produtivas rurais exercem tal atividade com baixa tecnologia, numa exploração quase

rudimentar, sem aplicação de técnicas mais modernas de correção e adubação de solo bem como técnicas de melhoramento genético, manejo de pastagens, dentre outras disponíveis.

A exploração agropecuária com baixa produtividade, sem aplicação de técnicas básicas citadas anteriormente, pode levar à exaustão dos recursos naturais, se se levar em conta a sustentabilidade, que, associada à vulnerabilidade natural do meio, pode e tem levado a um desastre ambiental na bacia do Rio Pandeiros.

Tabela 19 - Produto Interno Bruto a preços correntes e Produto Interno Bruto per capita dos municípios de abrangência da bacia do Rio Pandeiros/MG

Municípios	Produto Interno Bruto					<i>Per capita</i> (R\$) 2011
	A preços correntes (1 000 R\$)					
	2007	2008	2009	2010	2011	
Januária	277.245,01	326.386,77	337.440,42	358.309,48	382.687,15	5.833,11
Bonito de Minas	22.876,71	29.092,53	31.482,06	38.043,54	41.752,99	4.255,30
Cônego Marinho	20.504,25	25.083,19	25.963,33	34.297,68	36.270,55	5.073,51

Fonte: IBGE, 2016

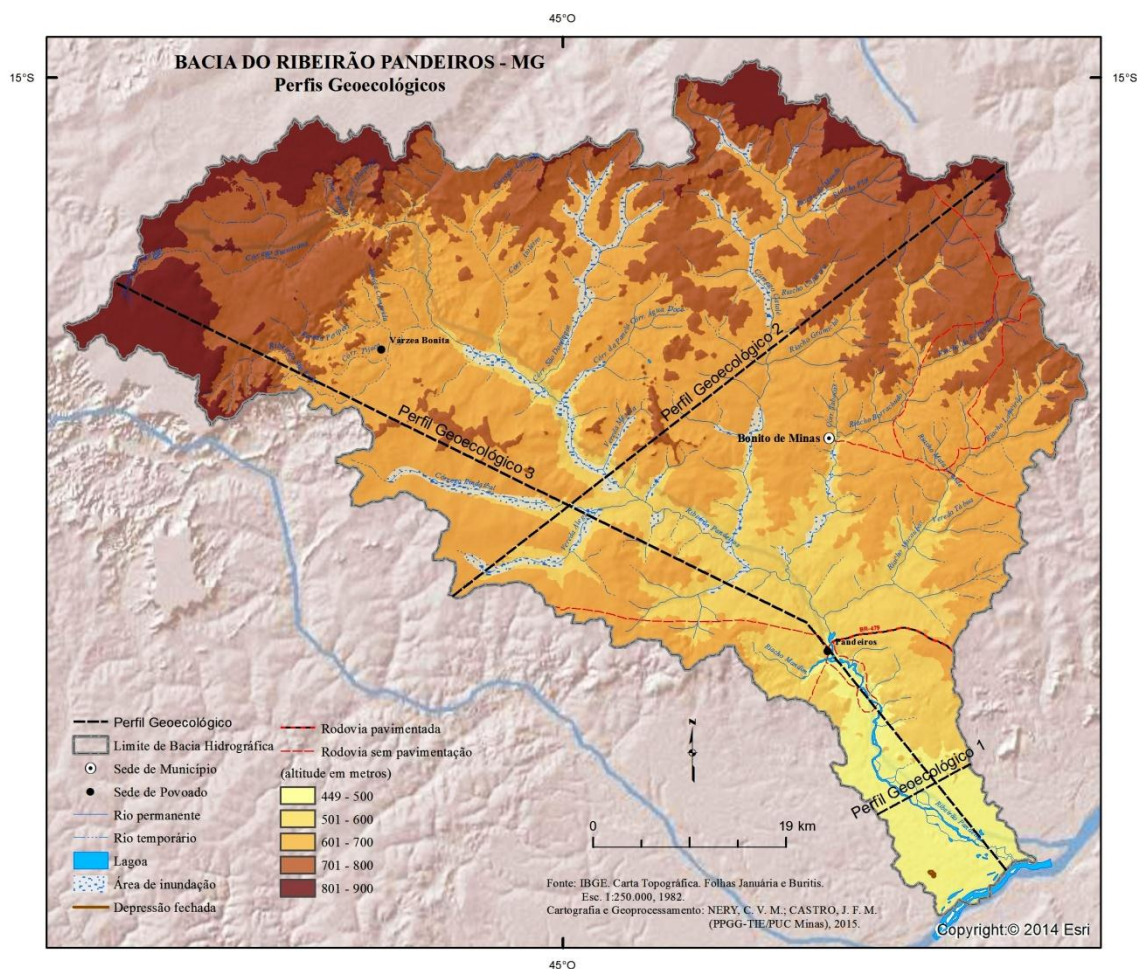
3. ANÁLISE GEOECOLÓGICA DA PAISAGEM DA BACIA DO RIO PANDEIROS POR MEIO DA ELABORAÇÃO DE PERFIS GEOECOLÓGICOS

Foram elaborados três perfis geoecológicos na bacia (Figura 49). O perfil geoecológico 1 secciona a bacia na sua porção sul, numa distância de 11 km acima de sua foz; o perfil geoecológico 2 secciona a bacia transversalmente em sua porção mediana e o perfil geoecológico 3 secciona a bacia longitudinalmente.

3.1. O perfil geoecológico 1

O perfil 1 secciona a bacia na porção transversal sul, atravessando somente terras pertencentes ao município de Januária (Figura 50).

Figura 49 - Localização dos perfis geoecológicos na bacia do Rio Pandeiros/MG



No transecto primeiro, na porção sul da bacia, pode se notar a presença de duas classes litológicas, a unidade de Coberturas detríticas, colúvio - eluviais e, eventualmente, lateríticas e os Depósitos aluviais, a última, associada à calha fluvial Rio Pandeiros. As coberturas detríticas, colúvio - eluviais e, eventualmente, lateríticas deram origem principalmente aos solos do tipo latossolos e argissolos.

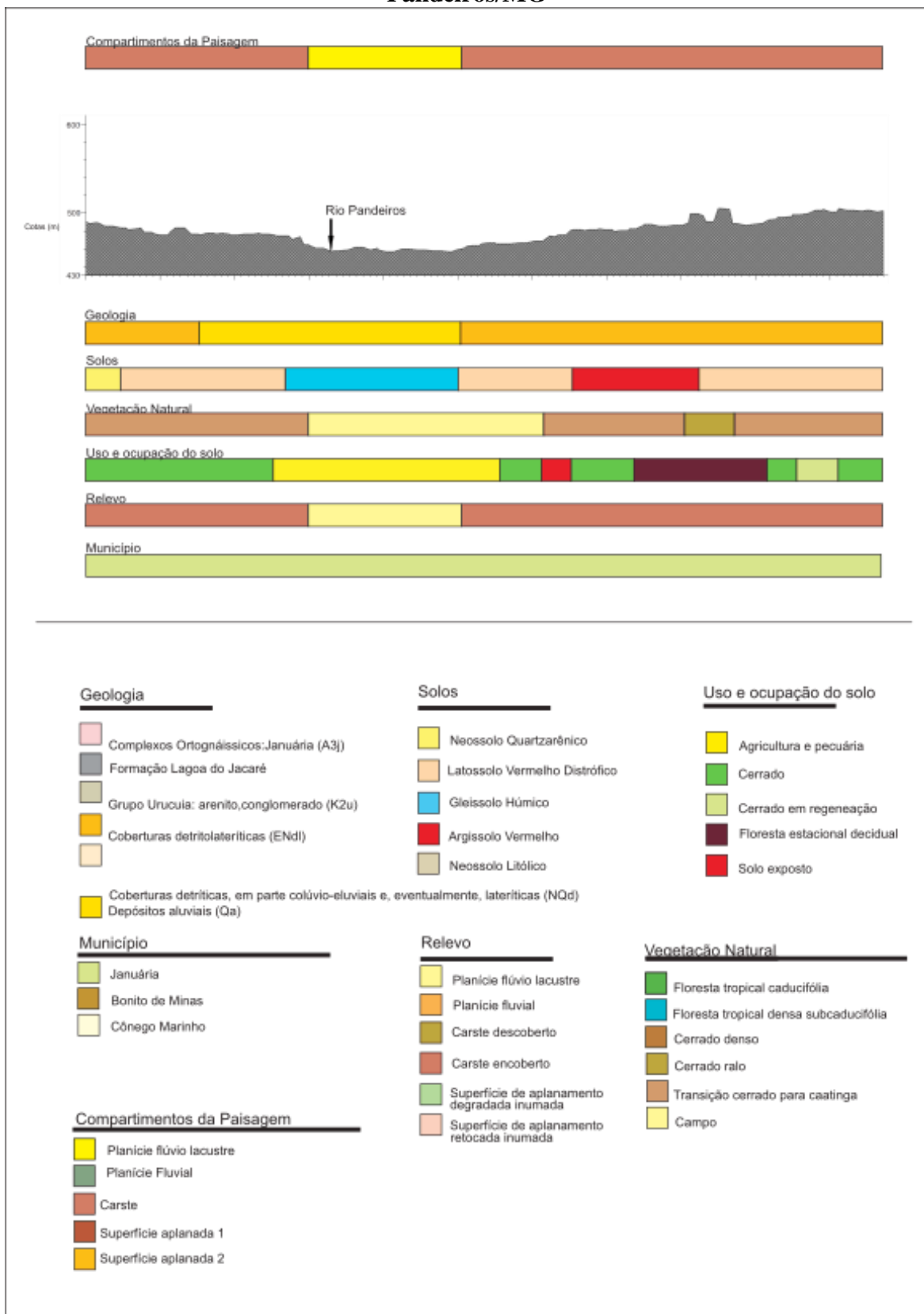
Aos Depósitos aluviais estão associados principalmente os solos do tipo Gleissolos melânicos. Esses solos estão localizados na planície flúvio lacustre do Rio Pandeiros. Quanto à vegetação natural, percebe-se a ocorrência da vegetação de Transição de cerrado para a caatinga nas partes mais elevadas e a vegetação de campo associadas à calha do rio e aos solos úmidos do tipo Gleissolos melânicos.

Quanto ao uso e ocupação do solo, é possível estabelecer a relação entre a planície do Rio Pandeiros e a classe de uso e ocupação Pastagens e agricultura, cujas atividades antrópicas estão associadas à proximidade da água e aos solos húmicos ali presentes. A floresta estacional decidual, mata seca, está associada aos solos mais férteis do tipo argissolos e parte por latossolos.

As demais classes de uso e ocupação são cerrado, que reflete a conservação da vegetação natural, o Cerrado em regeneração que se relaciona, junto com as áreas de agricultura e pecuária, as áreas mais antropizadas na bacia e o solo exposto, que reflete as áreas em que houve a remoção da vegetação natural, sem a sua recuperação, com a exposição do solo, sendo possível o rompimento do limite de resiliência do meio nesses ambientes.

A integração dos geoelementos formadores da paisagem permitiu sua compartimentação e, em última análise, o elemento principal para tal compartimentação foram as unidades do relevo. O relevo deve ser entendido como um importante recurso natural sob o qual se assenta toda e qualquer análise geoecológica. Na compartimentação da paisagem, duas unidades são apresentadas no transecto: a primeira, a Planície flúvio lacustre e nas partes mais elevadas a unidade do Carste. As unidades de compartimentação da paisagem serão objeto de discussão adiante.

Figura 50 - Perfil geocológico 1, transversal na porção sul da bacia do Rio Pandeiros/MG



3.2. O perfil geocológico 2

No perfil geocológico 2, a secção da bacia se dá na forma transversal na sua porção mediana, cruzando os municípios de Januária, Bonito de Minas, em maior extensão e Cônego Marinho (Figura 51). As unidades litológicas por onde cruza o perfil são os Depósitos aluviais nas calhas desses rios, Urucuia, Gnaisses arqueanos nas calhas dos rios Catolé e da Vereda da Porta e por fim as Coberturas detríticas lateríticas nos remanescentes de Chapadas. Além das associações entre os Depósitos aluviais e os Gleissolos melânicos, pode-se perceber a associação entre a unidade litológica do Arenito Urucuia com os solos do tipo Neossolos quartzarênicos. Os Neossolos quartzarênicos estão localizados principalmente na Superfície de aplanamento retocada.

A vegetação de cerrado ralo, que predomina nesse transecto, está associada aos solos arenosos, pouco férteis e ricos em alumínio trocável, de elevada toxidez. A vegetação natural alterna uso e ocupação mais ou menos preservados, representados pelas classes de uso e ocupação Cerrado e Cerrado em regeneração. Outras associações que podem ser feitas nesse perfil estão relacionadas às chapadas, cuja unidade do relevo é a Superfície de aplanamento degradada. Pelo transecto, é possível associar a unidade litológica de Cobertura detrítico lateríticas com a formação dos Latossolos vermelho distróficos e a formação natural de Campo. Atualmente o uso e ocupação predominante nessas áreas é a própria formação natural, que se encontra preservada até então.

Em contrário, o que se percebe nesse transecto é a ocorrência de diversas e extensas áreas de solo exposto na margem direita do Rio Pandeiros, no município de Januária.

Após a análise desse perfil, além das unidades geocológicas da Planície flúvio lacustre e a unidade do Carste, foi possível classificar as unidades de Superfície aplanada 2 e Superfície aplanada 1, que serão discutidas no capítulo a seguir, levando-se em conta a estrutura e a conectividade dos goe elementos formadores da paisagem.

Figura 51 - Perfil geocológico 2, transversal na porção mediana da bacia do Rio Pandeiros/MG



3.3. O perfil geocológico 3

O Terceiro perfil geocológico (Figura 52) traçado, um perfil longitudinal de orientação sudeste a noroeste, que cruza apenas terras pertencentes ao município de Januária, passa por formações litológicas de Depósitos aluviais na planície fluvial do Rio Pandeiros e seus afluentes, Coberturas detríticas, colúvio-eluviais e, eventualmente, lateríticas, a formação Lagoa do Jacaré que cobre a área de modelado de dissolução às margens do Rio Pandeiros até pouco acima da Vila de Pandeiros, o Arenito Urucuia na porção média do perfil e as Coberturas lateríticas associadas ao relevo de chapadas. Os Depósitos aluviais estão associados aos solos do tipo Gleissolos na bacia, o Arenito Urucuia, são de origem litológica dos Neossolos quartzarênicos e as Coberturas lateríticas deram origem aos Latossolos vermelho distróficos. Na Planície flúvio lacustre do Rio Pandeiros, onde predominam os Gleissolos melânicos, tem-se a ocorrência da formação natural da vegetação de campo.

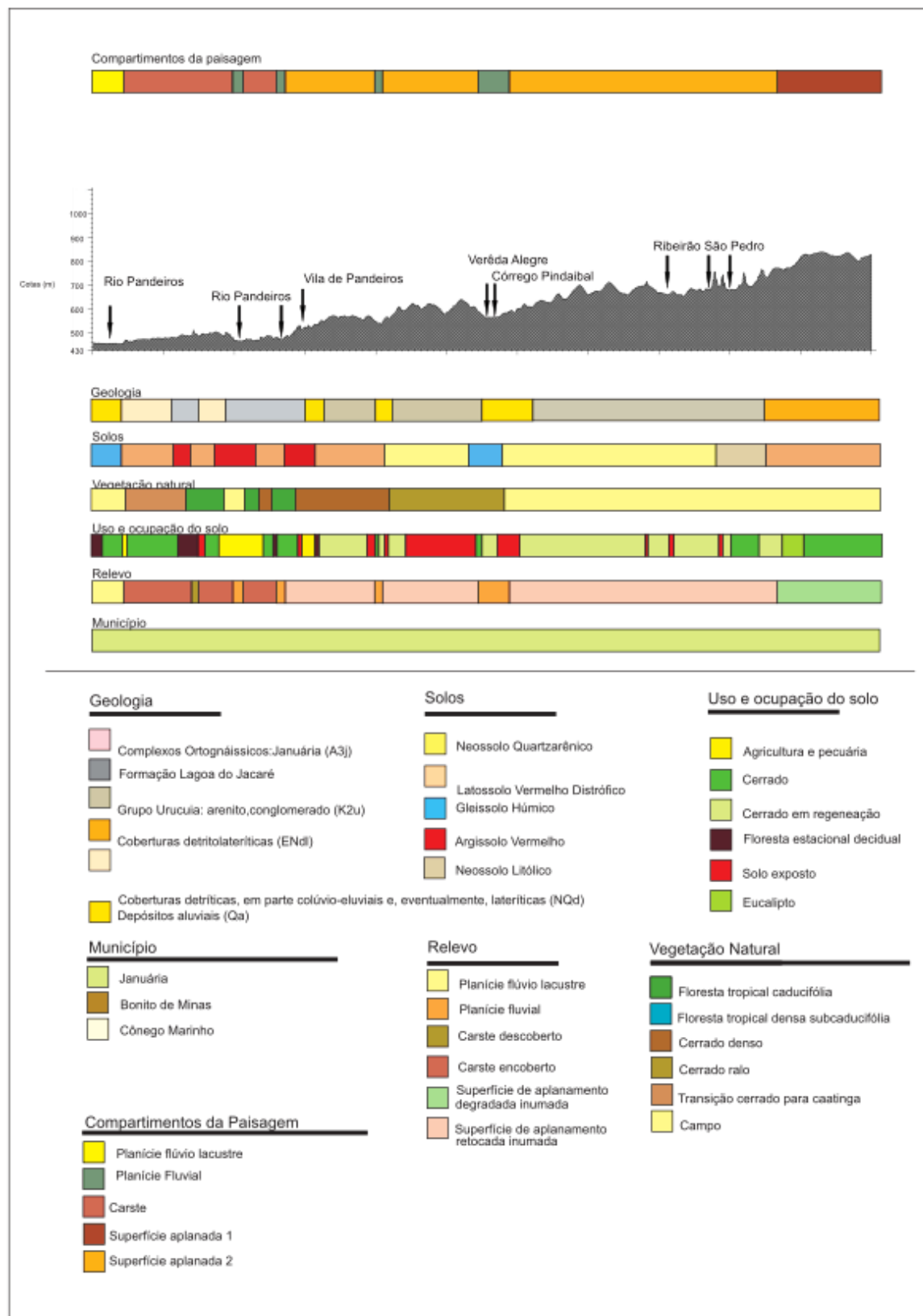
Os Latossolos e Argissolos originados a partir de rochas carbonáticas do grupo Bambuí estão associados à formação natural de Floresta tropical caducifólia e cerrado denso, devido principalmente à fertilidade dos solos ali presentes. O arenito urucuia e as formações naturais de Cerrado ralo e Campo estão associados na porção mediana do transecto. Na porção de maiores altitudes, há a formação natural de Campo relacionada às Coberturas lateríticas e, conseqüentemente, aos latossolos. Na análise de uso e ocupação do solo ao longo do perfil, percebe-se a associação da classe de uso e ocupação Agricultura e Pecuária com os terrenos mais férteis e úmidos das margens dos rios e córregos, a ocorrência de grandes áreas de solo exposto na margem direita do Rio Pandeiros e as classes de uso e ocupação de Cerrado, Cerrado em regeneração e Eucalipto na porção final do perfil. Pelo exposto pode notar a maior preservação da vegetação natural na margem esquerda da bacia que abrange os municípios de Bonito de Minas e Cônego Marinho.

Após a análise dos perfis geocológicos elaborados, é possível apresentar uma síntese com a classificação dos compartimentos da paisagem, no próximo capítulo, nos quais se percebe a ocorrência de padrões recorrentes.

O Uso e ocupação do solo pela agricultura e pecuária nas margens do Rio Pandeiros e seus afluentes, principalmente os rios Macaúbas, Borrachudo e Catolé, é devido à proximidade da água e ocorrência de terras mais férteis. O Grupo Urucuia

desenvolveu principalmente solos arenosos, Neossolos quartzarênicos, Gleissolos melânicos, quando em presença de água nas margens dos rios e córregos e os litossolos, cuja formação se dá em maiores declividades. Verificou-se a ocorrência intensa do solo exposto na margem direita do Rio Pandeiros onde houve a retirada da vegetação natural, o plantio de eucalipto e sua retirada. Verificou-se a ocorrência da classe de relevo de Chapada associada à classe de geologia de Cobertura detrito lateríticas que deu origem aos Latossolos vermelho distróficos e hoje se encontram ocupadas com cerrado e eucalipto. A análise dos perfis geoecológicos permitiu a compartimentação da paisagem em unidades por sobreposição, conforme se segue.

Figura 52 - Perfil geocológico 3, longitudinal na porção mediana da bacia do Rio Pandeiros/MG



4. AS UNIDADES DA PAISAGEM NA BACIA DO RIO PANDEIROS E SUA FRAGILIDADE AMBIENTAL

Com base no paradigma sistêmico, nas teorias de geossistemas e paisagem, sendo a paisagem entendida neste estudo como a fisionomia resultante da interação dos elementos componentes do geossistema, buscou-se a classificação das unidades da paisagem, que ora é apresentada.

A base para a definição dos compartimentos da paisagem considerou como elemento principal de análise, o relevo. A importância do relevo se baseia na premissa de que sobre ele se assenta toda e qualquer ocupação humana, sendo seu modelado a base para a ocupação humana. Os diferentes modelados do relevo são resultado dos fenômenos geomorfológicos dominantes, sendo identificados os modelados de acumulação, aplanamento e dissolução. Há de se ressaltar que, além do relevo, os elementos de geologia e clima, a ele associados, foram preponderantes na análise. Nesse sentido, foram classificadas cinco unidades da paisagem, a saber: a superfície aplanada 1, a superfície aplanada 2, o carste, a planície fluvial e a planície flúvio lacustre. O resultado apresentando a classificação das unidades da paisagem foi cartografado e pode ser visualizado na Figura 53, cuja representação em mapas serve como síntese do estudo e correlação dos geoelementos componentes e ponto de partida para análises de fragilidade do meio ambiente, que serão discutidas no próximo capítulo.

Na bacia do Rio Pandeiros, foram identificadas cinco unidades geológicas de paisagem, cujas superfícies foram quantificadas, conforme Tabela 20.

4.1. A Planície flúvio lacustre

Dentre as unidades da paisagem classificadas, a Planície flúvio lacustre é unidade de mais baixa altitude da bacia, entre 450 e 500 m. Na Planície flúvio lacustre, está localizada a área denominada, segundo Nunes (2009), de Pantanal Mineiro (Figura 54 e 55), que é responsável pela reprodução da ictiofauna do rio São Francisco. O modelado geomorfológico predominante na planície é o de acumulação que recebe, de forma natural, matéria que se desloca das partes mais acima na bacia, ou seja, ocorre um fluxo de matéria de outras unidades da paisagem. O processo de acúmulo de sedimentos no pântano vem-se agravando em anos recentes. A litologia da área é de Depósitos aluviais e os solos desse

compartimento são, em sua maior parte, seus solos predominantemente Gleissolos melânicos, dada à situação constante da inundação

Tabela 20 - Unidades de paisagem da Bacia do Rio Pandeiros/MG

Classes de compartimentação da paisagem	Área (ha)	%
Planície flúvio lacustre	4.665	1,2%
Planície fluvial	20.386	5,1%
Carste	32.972	8,3%
Superfícies aplanada 1	27.374	6,9%
Superfícies aplanada 2	312.927	78,6%
Total	398.325	

Figura 53 - Mapa de compartimentação da paisagem da bacia do Rio Pandeiros/MG

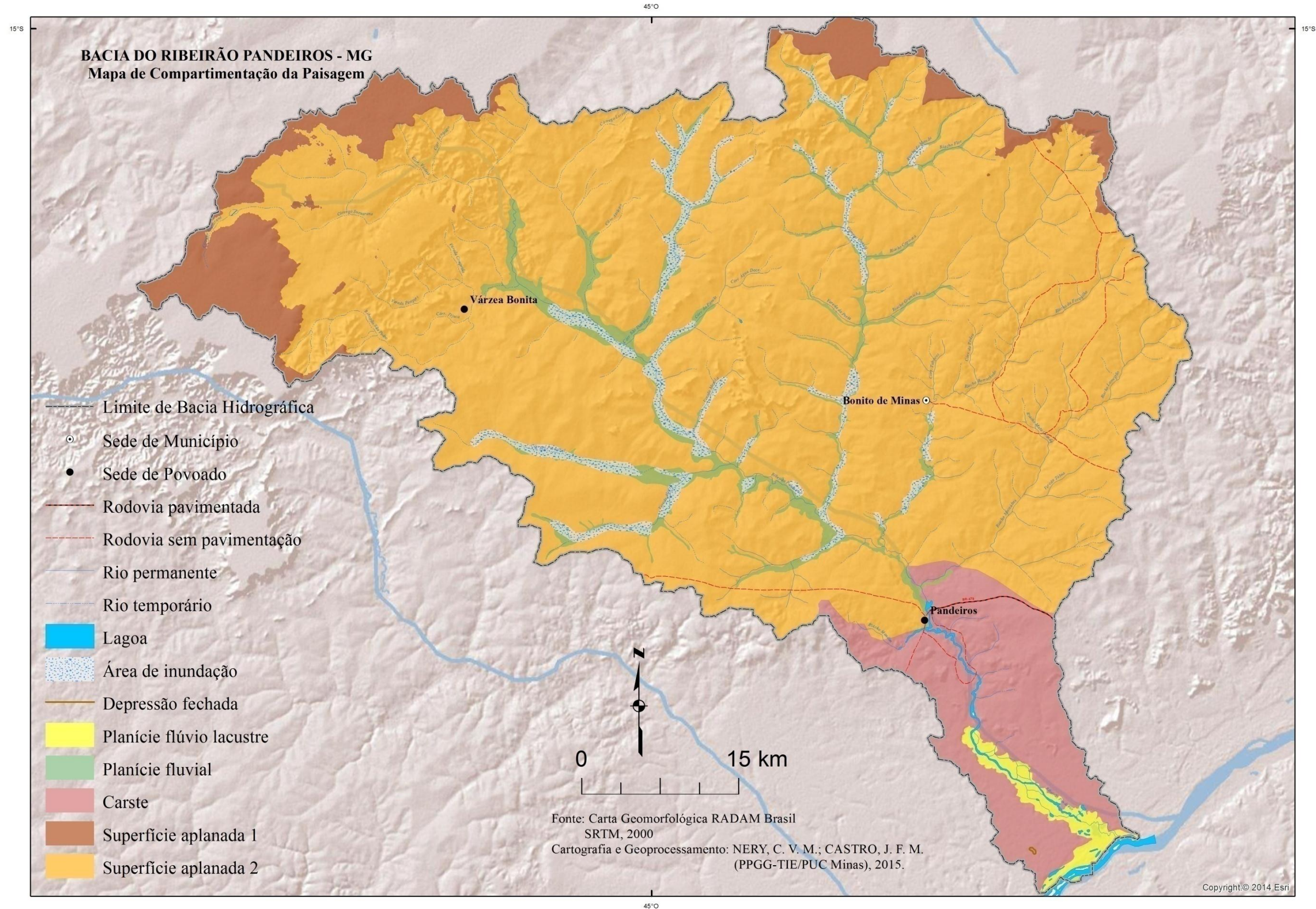
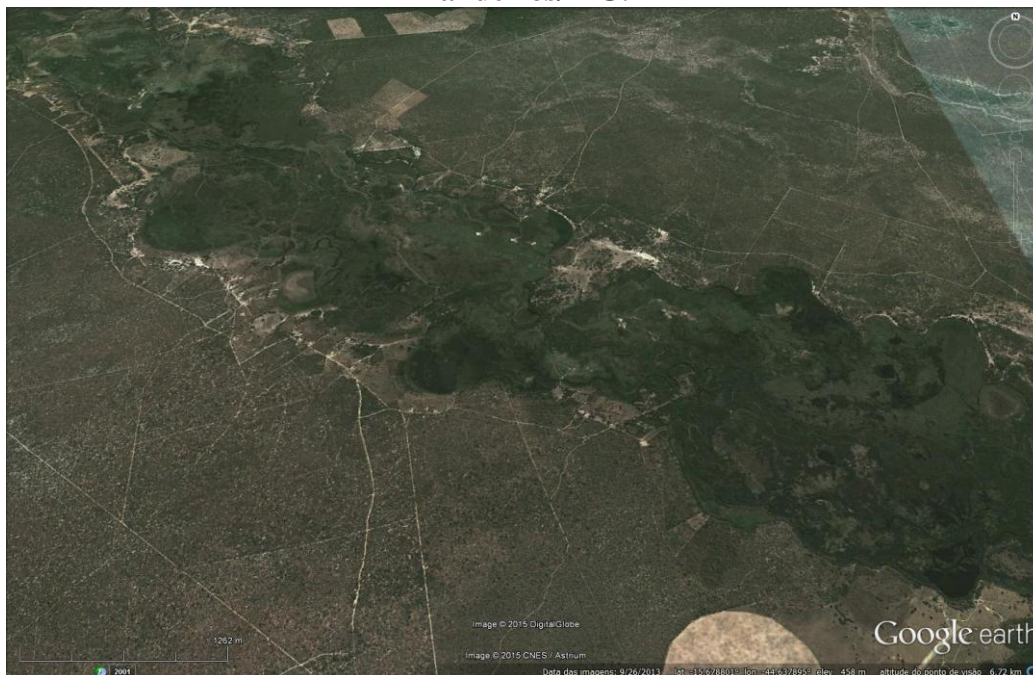


Figura 54–Unidade da paisagem Planície flúvio lacustre da bacia do Rio Pandeiros/MG.



Fonte: Google earth, 2016.

Figura 55–Unidade da paisagem Planície flúvio lacustre da bacia do Rio Pandeiros/MG. (A) 15° 40' 16"S - 44° 36' 45"W (B) 15° 40' 15"S - 44° 37' 13"W



Fonte: Arquivo do autor, 2016.

Na área pantanosa, dada à sua importância ecológica, foi criado o refúgio de vida silvestre pelo Instituto Estadual de Florestas (IEF) e construída uma torre de observação do pântano e uma casa de abrigo para os guarda-parques (Figura 56). A planície flúvio lacustre abrange uma área de 4.665 ha (1,2%) que está recoberta pela formação natural de Campo, como resultado, principalmente, da condição de solos encharcados, de pouca oxigenação que se denota nessa unidade. A comunidade local explora as pastagens naturais que ocorrem na margem do rio, sendo prática comum dos fazendeiros o uso da pastagem

natural como reserva alimentar estratégica para uso como alimentação verde para o gado no período mais seco do ano, que vai de abril a novembro (Figura 57). Há uma forte pressão antrópica sobre a unidade, como área de pesca, o que é proibido com a criação do refúgio de vida silvestre. Era comum a apreensão de redes e aparatos de pesca na área do pântano, o que vem diminuindo com a fiscalização exercida pelo IEF.

Figura 56–(A) Torre de observação do pântano e (B) Residência dos Guarda-parques localizada no pântano da bacia do Rio Pandeiros/MG. 15° 40' 15"S - 44° 37' 13"W



Fonte: Arquivo do autor, 2016.

Figura 57–Uso da pastagem natural às margens do Rio Pandeiros como fonte alimentar para o gado bovino no período seco. 15° 39' 53"S - 44° 38' 02"W



Fonte: Arquivo do autor, 2016.

Pode se notar pelo estudo que o Rio Pandeiros assume um aspecto meandrante, principalmente no interior desse compartimento da paisagem, onde é possível observar muitos meandros abandonados ao longo da calha do rio. Esse aspecto meandrante do rio é reflexo da carga de sedimentos, fluxo de matéria advindos de outras unidades da paisagem.

4.2. O Carste

A unidade geocológica do Carste abrange uma área de 32.972 ha, o que representa 8,3% de toda a superfície da bacia. É composto principalmente pelo carste encoberto, sendo poucos os afloramentos rochosos de calcário na unidade. O relevo cárstico e seu modelado de dissolução caracterizam a unidade da paisagem que leva o mesmo nome. Nesse compartimento da paisagem, nota-se a existência de afloramentos de rochas calcárias do grupo Bambuí, o carste descoberto que está associado à formação da Floresta estacional semidecidual (Figura 58). A formação geológica dessa unidade é dada pela formação Lagoa do Jacaré do grupo Bambuí, pelas Coberturas detriticas, colúvio-eluviais e, eventualmente, lateríticas.

Sobre essa unidade geológica se formaram principalmente os Argissolos vermelho amarelo e Latossolos vermelho distróficos. Os solos desse compartimento são solos relativamente férteis e seu uso e ocupação se dá principalmente pela Agricultura e Pecuária (Figura 59), o que se justifica pela sua fertilidade. A Formação vegetacional natural da unidade é composta pela Floresta estacional decidual, a mata seca, em associação com o relevo cárstico, uma formação de transição de cerrado para caatinga entre esse compartimento e o anterior e o cerrado ralo.

No compartimento, está localizada importante área de recreação utilizada pela população residente nas imediações e das cidades da região (Figura 60).

O balneário possui uma pequena estrutura de lazer disponível e uma área de camping (Figura 59). A área atrai muitos turistas durante os finais de semana, principalmente durante os meses de verão. A estrutura de lazer também conta com um restaurante que foi construído pelo IEF, mas ainda sem uso pela população, por não ter sido ainda inaugurado.

Figura 58–Afloramento de calcário no compartimento do Carste na bacia do Rio Pandeiros. 15° 35' 57"S - 44° 41' 26"W



Fonte: Arquivo do autor, 2016.

Figura 59–Pastagem plantada no compartimento do Carste na bacia do Rio Pandeiros. 15° 35' 57"S - 44° 41' 26"W



Fonte: Arquivo do autor, 2016.

Figura 60 - Balneário do Rio Pandeiros, (A) Cachoeira no Rio Pandeiros e (B) Área de camping do Balneário. 15° 30' 46''S - 44° 45' 12''W



Fonte: Arquivo do autor, 2015.

Nesse compartimento, também é possível perceber o transporte e a deposição dos sedimentos por canais escoadouros em direção ao compartimento anterior, a planície flúvio lacustre (Figura 61). Esse transporte de sedimentos tem assoreado o pântano do Rio Pandeiros e comprometido todo o equilíbrio dinâmico dessa unidade, comprometendo inclusive a reprodução de peixes do Rio São Francisco.

Figura 61—Carreamento e deposição de sedimentos na unidade do Carste na bacia do Rio Pandeiros. 15° 33' 04''S - 44° 43' 13''W



Fonte: Arquivo do autor, 2015.

O transporte e deposição de sedimentos são potencializados pela uso das terras para a produção agrícola e pecuária, principalmente as margens dos rios, pelo desmatamento da vegetação natural e por fatores climáticos, a ocorrência de chuvas de forte intensidade no período chuvoso do ano, fato característico do clima semiárido.

4.3. A Planície Fluvial

O compartimento denominado neste trabalho de Planície Fluvial abrange uma área de 20.386 ha (5,1%) da área de toda bacia (Figura 62). Ocupa a calha, ao nível de inundação, e o terraço de grande parte do Rio Pandeiros e de seus afluentes, o compartimento é resultado de um modelado de acumulação de sedimentos. Por se tratar de uma área de drenagem, a dinâmica dessa unidade é dada pelo transporte e deposição de sedimentos para a calha do rio, sendo sua litologia composta por depósitos aluvionares. Os solos são em geral húmicos, do tipo Gleissolo melânico, de coloração escura e de composição textural arenosa.

Figura 62—A unidade de Planície Fluvial na bacia do Rio Pandeiros.



Fonte: Google earth, 2016.

A vegetação natural na unidade é composta pelo campo, associado aos Gleissolos melânicos, cercada pela Mata de Galeria, ao sul do compartimento e cercada por Cerrado nas partes mais ao norte. Nesse compartimento, estão localizadas as veredas da bacia (Figura 63 A). As veredas são áreas de surgência da água cobertas por uma vegetação nativa de campo envolta pelo cerrado, são caracterizadas principalmente pela presença da palmeira *Mauritia vinifera*, o Buriti (Figura 63 B).

Figura 63–A -Vereda, B – Palmeira Buriti (*Mauritia vinifera*) na bacia do Rio Pandeiros. 15° 14' 55"S - 45° 11' 29"W



Fonte: Arquivo do autor, 2014.

A planície fluvial, por ser uma unidade em que há a deposição de sedimentos advindos de outros compartimentos, tem sido objeto de assoreamento. Ao nível de vegetação, o desmatamento retira a proteção contra o impacto das gotas de chuva, pois a vegetação natural intercepta e diminui a energia cinética das gotas. Com a retirada da vegetação, o solo recebe o impacto da chuva que, devido ao caráter arenoso associado tem suas partículas facilmente carregadas e depositadas na planície fluvial. É notório o assoreamento dos rios e de algumas veredas, dada à carga de sedimentos que são transportados e ali depositados (Figura 64A e 64B). Além do desmatamento, ocorre a abertura indiscriminada de estradas tanto para a retirada do carvão vegetal produzido quanto para o transporte de pessoas e mercadorias pela bacia (Figura 64C e 64D). As estradas são abertas e, dada à condição de rápida erosão, são abandonadas, sendo abertas novas estradas logo ao lado da primeira. Esses fatores, associados à ocorrência de chuvas fortes, durante o período chuvoso, eventos comuns no semiárido, têm contribuído, em muito, para o assoreamento dos rios e veredas da bacia.

Figura 64–A – Vereda assoreada 15° 14' 55"S - 45° 11' 29"W, B – Canal do Rio Pandeiros 15° 11' 33"S - 45° 07' 16"W, C – Forno para a produção de carvão vegetal 15° 14' 54"S - 45° 11' 30"W e D- Estrada abandonada na bacia do Rio Pandeiros. 15° 15' 00"S - 45° 12' 34"W



Fonte: Arquivo do autor, 2015.

Na calha da Planície Fluvial, encontra-se instalada a Usina Hidrelétrica de Pandeiros pertencente às Centrais Elétricas de Minas Gerais (CEMIG), com potencial de geração de 4 MW, hoje desativada. Inaugurada no final dos anos 50, anexa à usina, foi construída uma vila, hoje utilizada parcialmente pelo IEF composta por escritório, alojamentos, casa de pesquisador e centro de reunião, hotel, entre outros. A empresa responsável pela geração foi autuada por retenção de água e descargas de fundo de barragem repletas de sedimentos, causando grande mortandade de peixes, o que gerou um termo de ajustamento de conduta com o Ministério Público Estadual, sendo a partir daí a usina desativada e tendo seu uso apenas para o equilíbrio de tensão na rede de transmissão.

Todo o compartimento da Planície fluvial está envolto pelo maior de todos os compartimentos definidos, a Superfície Aplanada 2.

4.4. Superfície Aplanada 2

Esse compartimento da paisagem é o maior entre aqueles definidos neste estudo, com área de 312.927 ha, recobre 78,6% da bacia. A geologia do compartimento é predominante pelo Arenito Urucuia, uma formação que, aliada à geomorfologia e ao clima, deu origem principalmente aos solos do tipo Neossolos quartzarênicos. Os neossolos desse compartimento são caracterizados principalmente pelos altos índices de alumínio trocável, baixa fertilidade natural e textura muito arenosa. O modelado do relevo dominante é o modelado de aplanamento. A formação foi sendo elaborada por meio dos sucessivos ciclos de erosão e sedimentação sem perder suas características de aplanamento, como foi observado nas serras e nas unidades relictuais, inselbergs (figura 65 e 66).

A formação natural predominante no compartimento é a formação de cerrado ralo, sendo que essa formação foi muito mais antropizada na margem direita do Rio Pandeiros em relação à margem esquerda, principalmente em terras do município de Januária.

Figura 65–Serra de São Domingos, na bacia do Rio Pandeiros. 15° 15' 00"S - 45° 12' 34"W



Fonte: Arquivo do autor, 2016.

Figura 66–Mesa relictual bacia do Rio Pandeiros. 15° 15' 00”S - 45° 12' 34”W

Fonte: Arquivo do autor, 2016.

Nessa unidade da paisagem, é possível observar áreas em que foi implantada a cultura do eucalipto nas décadas de 1970 e 1980. A implantação da cultura do eucalipto (Figura 67 A) para a produção de carvão vegetal levou, com sua retirada, à exposição do solo agrícola (Figura 67 B). A retirada da vegetação natural e depois da cultura plantada interferiu no equilíbrio sistêmico ali presente, alterando os fluxos de energia e de matéria. A intervenção antrópica alterou, pela retirada da vegetação, na absorção e reflexão da radiação solar, proteção contra a energia cinética da chuva e no transporte e deposição de sedimentos, modificando a fertilidade natural dos solos, pelo seu aquecimento, diminuição da atividade biológica, facilitando a erosão laminar do solo. A atividade antrópica retira o sistema da sua condição climática e o levou acima da capacidade de resiliência. O resultado da intervenção humana foi a exposição do solo em grandes áreas da bacia, principalmente nesse compartimento da paisagem. Um fator atenuante à degradação do solo nessas áreas é a sua declividade baixa, porém as alterações no meio contribuíram, já que aconteceram sob solos muito arenosos, no transporte e deposição dos sedimentos nas calhas fluviais.

Figura 67–A - Restos culturais de eucalipto 15° 19' 02"S - 44° 59' 59"W e B Área impactada pela implantação da cultura do eucalipto na bacia do Rio Pandeiros. 15° 21' 38"S - 44° 58' 07"W



Fonte: Arquivo do autor, 2016

Os solos dessa unidade são pouco estruturados, com baixos teores de argila, quando associados à antropização, como o desmatamento e a abertura de estradas, vêm desencadeando processos erosivos intensos. O voçorocamento é facilmente percebido na unidade; Podem ser observados vários pontos em que a vegetação natural foi removida dando lugar a enormes crateras que atingem até o subsolo (Figura 68A). O material desagregado das voçorocas é transportado e depositado na unidade da Planície fluvial, impactando principalmente nas veredas e na unidade da paisagem da Planície flúvio lacustre, assoreando o pântano na foz do Rio Pandeiros (Figura 68B).

Figura 68–A – Voçoroca na bacia do Rio Pandeiros 15° 14' 55"S - 45° 11' 29"W e B - transporte dos sedimentos pelo Rio Pandeiros 15° 16' 56"S - 45° 00' 45"W



Fonte: Arquivo do autor, 2016

No compartimento da planície aplanada 2 está localizada a única sede municipal dentro dos limites da bacia, a cidade de Bonito de Minas (Figura 69 A), cujo município foi emancipado no ano de 1995 pela Lei nº 12.030/95 (MINAS GERAIS, 1995). No censo do IBGE de 2010 (IBGE, 2010) dos 9.673 habitantes residentes naquele município 78% residiam na zona rural, sendo que somente 2.128 habitantes residiam na zona urbana do município. Pelos dados de IDH chama a atenção o aumento do índice na última década, contribuição dada principalmente pela componente educação, porém seu IDH no ano de 2010 foi calculado em 0,537, considerado como um índice baixo. O acesso à sede municipal foi muito difícil, pelas estradas muito arenosas até o ano de 2009 quando foi inaugurado o asfaltamento da rodovia de acesso à cidade. A rodovia intercepta o limite da bacia, a 21 km da sede municipal (Figura 69B).

A superfície aplanada 2 tem como compartimento limítrofe a Planície aplanada 1, sendo a altitude de aproximadamente 800 metros o limite entre as duas unidades.

Figura 69–A – Cidade de Bonito de Minas 15° 19' 23"S - 44° 45' 23"W e B - Placa indicativa da APA Pandeiros, na rodovia de acesso a bonito de Minas 15° 23' 26"S - 44° 34' 44"W



Fonte: Arquivo do autor, 2016.

4.5. A Superfície Aplanada 1

Esse é o compartimento de maior altitude na paisagem da bacia, seu limite com a unidade anterior é a altitude por volta de 800 m. A unidade corresponde a 6,9% da área da bacia perfazendo 27.374 ha de superfície.

A geologia desse compartimento é constituída por Cobertura detrito lateríticas que deram origem a Latossolos vermelho distróficos. Os latossolos do compartimento de cimeira possuem uma característica que os diferencia de todos os demais solos da bacia, o alto teor de argila (48,3%). Além de serem solos argilosos, eles possuem uma baixa CTC efetiva e alta CTC potencial, o que revela a baixa fertilidade natural do solo e o grande potencial agrícola desses solos se submetidos a processos de correção de acidez e fertilidade. A formação natural que predomina nesse compartimento é o campo que se encontra bastante preservada. É nesse compartimento que se observam atividades antrópicas de silvicultura e pecuária (Figura 70).

Na borda do compartimento, também chamado de Chapada, estão localizadas as nascentes que formam o Rio Pandeiros (Figura 71). A água interceptada e acumulada em toda a superfície aplanada vai sendo lentamente escoada pelas nascentes em sua borda. Esse fato chama a atenção para a importância da chapada para a recarga dos aquíferos que estão em sua face, sendo que atividades antrópicas nesse compartimento podem refletir nas nascentes do rio.

Nesse sentido, é possível perceber a ocorrência de vários processos erosivos próximos às nascentes do rio (Figura 72), os processos erosivos estão associados às altas declividades do relevo na borda do compartimento, sendo que os valores de declividade percentual estão na classe de maior declividade adotada neste estudo e podem ultrapassar 40%. Outro fator preponderante para a formação das voçorocas na borda desse compartimento é a retirada da cobertura vegetal pelas frequentes queimadas que ali ocorrem.

Figura 70–A – Plantio de eucalipto 15° 07' 52"S - 45° 14' 42"W e B – Pastagem plantada na bacia do Rio Pandeiros 15° 10' 46"S - 45° 17' 13"W



Fonte: Arquivo do autor, 2016

Figura 71– Nascente do Rio Pandeiros na borda do compartimento de Superfície Aplanada 1 - 15° 07' 24"S - 44° 12' 19"W



Fonte: Arquivo do autor, 2016

As queimadas retiram a cobertura vegetal expondo o solo à energia cinética das gotas de chuva que desagregam suas partículas. Ao nível de radiação, a remoção da vegetação altera o balanço de radiação, promovendo maior absorção dos comprimentos de onda do infravermelho, o que leva a um maior aquecimento do solo. O aquecimento do solo tem ligação direta com a ação dos micro-organismos, diminuindo a atividade microbiana do solo. O solo empobrecido, desestruturado, associado à alta declividade, permite o fluxo de matéria de áreas de maior potencial gravitacional para áreas de menor potencial, ou seja, permite a desagregação do solo e o transporte de sedimentos para os canais fluviais, nesse caso, o canal do Rio Pandeiros. Os sedimentos são deslocados e causam impactos ambientais em outros compartimentos da paisagem, a Planície Fluvial e a Planície Flúvio Lacustre, que são naturalmente compartimentos de acumulação. As queimadas são práticas comuns na agropecuária local, como forma de limpeza de áreas

para a implantação de culturas anuais ou como forma de promover a rebrota da pastagem natural para a alimentação do gado com brotos mais tenros da pastagem.

Figura 72–Voçorocas próximas à nascente do Rio Pandeiros na borda do compartimento de Superfície Aplanada 1 - 15° 06' 39"S - 44° 13' 00"W



Fonte: Arquivo do autor, 2016.

Não menos impactante dentre as atividades antrópicas, a silvicultura promoveu a retirada da vegetação natural e a implantação da cultura do eucalipto, principalmente na década de 1970 e 1980. A implantação da cultura do eucalipto nesse compartimento não adotou uma faixa de proteção na borda da chapada, ocasionando processos erosivos na bordadura, que contribuem para o fluxo de matéria em direção à foz do Rio Pandeiros. A área de eucalipto implantada e em produção na bacia hoje soma aproximadamente 9.000 ha, sendo que essa área de plantio está localizada principalmente nesse compartimento de cimeira. É bastante controverso o tema cultura do eucalipto em áreas de recarga de chapada, a cultura do eucalipto, assim como a vegetação natural, mas em escala maior, provoca um fluxo ascendente da água do solo para a atmosfera, por meio do fluxo de água

das raízes até a parte aérea durante a transpiração, consumindo para isso energia. Esse fluxo de água pode alterar a gênese do solo e o armazenamento de água pelo solo (TRICART, 1977). A cultura do eucalipto promove a proteção do solo em relação à energia cinética das gotas de chuva, desde que a altura do dossel não seja acima de oito metros e que sejam adotadas técnicas de conservação de água e solo.

Em maiores altitudes, a contribuição de sedimentos transportados pelo Rio Pandeiros é bem menor, o que pode ser visualmente comparado em dois registros fotográficos realizados no mesmo dia (Figura 73). Sendo o primeiro, colocado mais a jusante, à 36 km abaixo da nascente. O ponto mais à montante está localizado a 4 km abaixo da nascente do Rio Pandeiros.

Figura 73 – Registros fotográficos do transporte de sedimentos na bacia do Rio Pandeiros. A - 15° 16' 56" S - 45° 00' 45" W e B 15° 07' 24" S - 45° 12' 19" W



Fonte: Arquivo do autor, 2016

Almeida (2015) utilizando o modelo de compartimentação da bacia em unidades de paisagem, na Bacia do Rio Pacuí, na mesorregião norte do estado de Minas Gerais, identificou três superfícies de aplanamento e duas superfícies de relevo ondulado. A primeira, uma superfície de aplanamento cimeira é a única que tem os topos aproximadamente nivelados; as outras duas, situadas em altitudes inferiores e correspondentes a eventos de aplanamento posteriores, inclinam-se para oeste, na direção da calha do Rio São Francisco. Entre cada superfície de aplanamento há uma superfície ondulada intermediária, cuja gênese foi atribuída ao processo de dissecação da superfície de aplanamento situada a montante. Essas superfícies onduladas de erosão contêm relevos

residuais das superfícies aplanadas situadas a montante. A superfície aplanada de menor altitude corresponde aos terraços do Rio São Francisco.

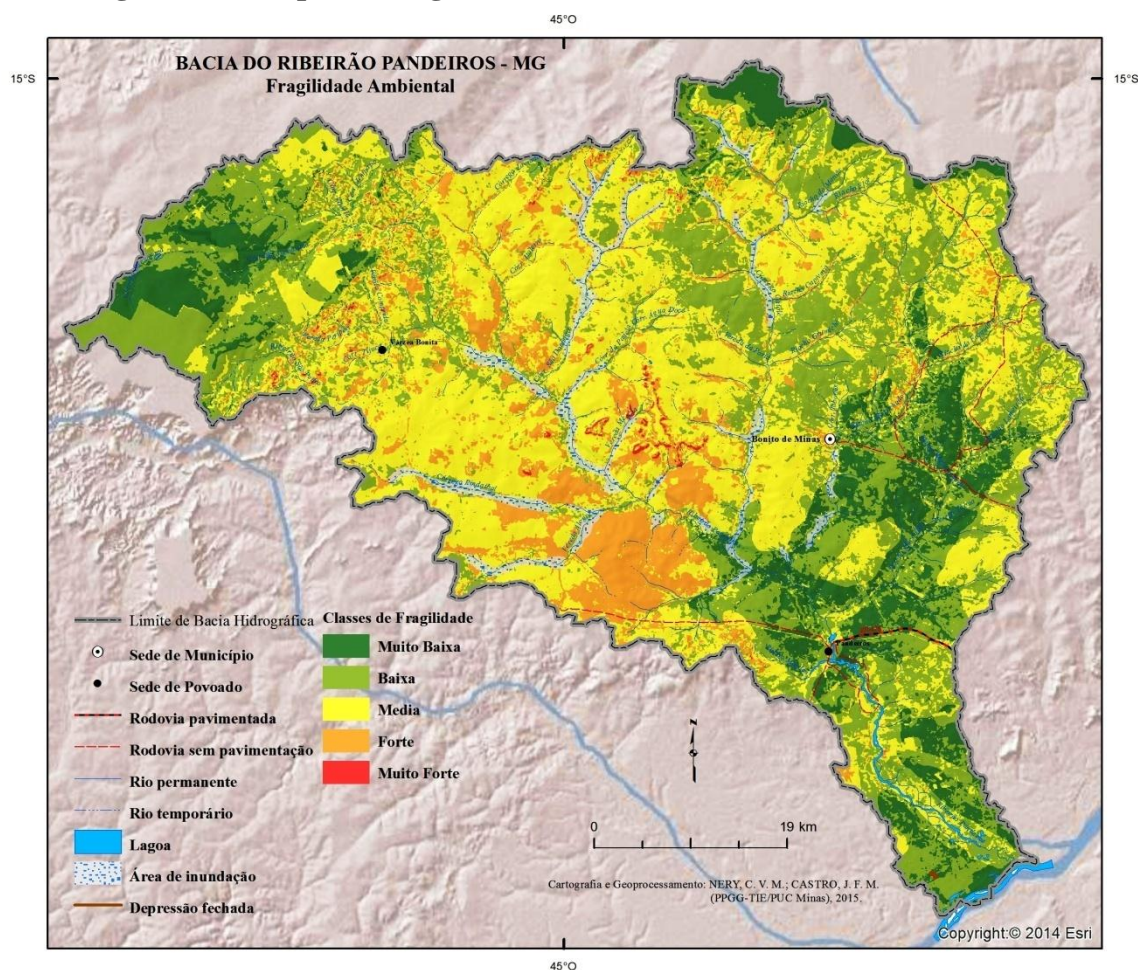
O estudo da fragilidade dos sistemas ambientais por meio da modelagem em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) utilizando álgebra de mapas foi elaborado, com base na teoria de unidades ecodinâmicas de Tricart (TRICART, 1977). Para Tricart a estabilidade dos meios pode ser classificada em um *continuum* de meios estáveis a instáveis passando por meios de estabilidade intermediária, chamados de meios intergrades. Para Ross (ROSS, 1994), a instabilidade dos meios pode ser classificada em diferentes graus, passando de uma instabilidade muito fraca a uma instabilidade muito forte, levando-se em consideração seus elementos constituintes e as atividades antrópicas exercidas. Nesse sentido, a primeira aproximação para o cálculo da fragilidade dos meios, levando-se em consideração os elementos formadores da paisagem, solos, declividade e uso do solo, utilizando a adaptação da metodologia proposta por Ross é apresentada na Tabela 21.

Pela análise dos resultados obtidos percebe-se que quase 76% da superfície da bacia foi classificada como classe em que os meios são de instabilidade média ou baixa., sendo que 139.171 ha (35%) são meios de instabilidade baixa e 165.159 ha (41,5%) são meios de instabilidade média. Os meios de instabilidade muito baixa representam 11,78% da área da bacia, com 46.918 ha e estão principalmente associados aos solos do tipo Latossolo vermelho amarelo e Argissolos vermelho amarelo na porção mais ao sul da bacia e aos Latossolos vermelho amarelo nas chapadas, assim como aqueles de instabilidade baixa. Os meio de instabilidade média estão na porção mediana da bacia associados aos Neossolos quartzarênicos em baixas declividades. As áreas classificadas como de fragilidade ambiental forte estão associadas à classe de uso e ocupação de solo exposto sob solos do tipo Neossolo quartzarênico às áreas de Neossolo litólico e altas declividades nas rampas de aplanamento entre os compartimentos das Superfícies Aplanadas 1 e 2. Essa classe de fragilidade ambiental ocupa uma superfície de 46.165 ha que representa 11,59% da área da bacia. As áreas classificadas como de fragilidade ambiental muito forte estão associadas, principalmente, às serras e morros testemunhos onde se percebe a associação de neossolos quartzarênicos com altas declividades, sendo ocupada uma superfície de apenas 1012 ha que representa 0,25% do total. O mapa com a distribuição espacial da fragilidade Ambiental da bacia é apresentado na Figura 74.

Tabela 21–Distribuição de área por classes de Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Pandeiros/MG

Tipos de Solos	Área (ha)	%
Muito Baixa	46.918	11,78%
Baixa	139.171	34,94%
Média	165.059	41,44%
Forte	46.165	11,59%
Muito Forte	1.012	0,25%
Total	398.325	

Figura 74 – Mapa de Fragilidade ambiental da bacia do Rio Pandeiros.



Os resultados permitem a identificação e a conexão dos elementos formadores da paisagem que mais contribuíram para o cômputo final da fragilidade dos meios, utilizando

a técnica álgebra de mapas. É possível notar, áreas, apesar da declividade fraca, menores que 6%, associadas aos neossolos quartzarênicos, que se encontram atualmente com o solo em exposição, foram consideradas como áreas de fragilidade ambiental muito forte pelo método aplicado. A fragilidade dessas áreas está em acordo com a realidade de campo, haja vista que a retirada da cobertura vegetal expõe os solos à ação da energia cinética das gotas de chuva que desagregam o solo, causa também uma alteração na resposta dada à incidência da radiação solar, o que provoca um aquecimento maior das camadas superficiais do solo. A retirada da cobertura vegetal interfere na ciclagem da matéria orgânica interrompendo a transformação da serrapilheira em nutrientes disponíveis ao solo, e na sua atuação como barreira para o escoamento superficial. Com o maior aquecimento do solo, sua exposição ao impacto da chuva e a indisponibilidade de matéria orgânica, este se torna propenso à erosão, principalmente a erosão laminar, porém também é frequente a formação de erosão em sulcos evoluindo para voçorocas, que faz com que material mineral e, às vezes, material orgânico seja deslocado e transportado aos rios e córregos, nesse caso, os compartimentos da Planície fluvial e da Planície Flúvio Lacustre. Em um sistema climático, o transporte de material mineral e orgânico é naturalmente e de modo equilibrado transformado em solo, predominando a pedogênese sobre a morfogênese. O plantio de eucalipto e a sua retirada promoveram nessas áreas o rompimento no equilíbrio do sistema local, provocando a exposição do solo e impedindo que a vegetação natural retrocedesse a seu estado original. O que se percebe pela análise é que a implantação da cultura do eucalipto rompeu a capacidade de resiliência do meio. Essas áreas passaram a contribuir com uma carga muito maior de sedimentos do que em uma situação de desequilíbrio.

Para essa mesma classe de fragilidade ambiental, a classe forte, percebe-se sua ocorrência em associação com neossolos litólicos, solo exposto e classes de declividade acima de 30%, ou seja, a associação de altos valores para as três componentes, solos, uso/ocupação e a componente declividade, nas escarpas formadas entre os compartimentos da Superfície Aplanada 1 e a Superfície Aplanada 2. As altas declividades facilitam o processo de desprendimento, transporte e carreamento de material, que associado à exposição do solo pelas queimadas, a abertura de carreadores e as estradas em desnível e aos fatores do solo, em função da composição, espessura e idade podem gerar combinações que promovem a ativação do processo de erosão e, evoluir de sulcos para voçorocas muito rapidamente.

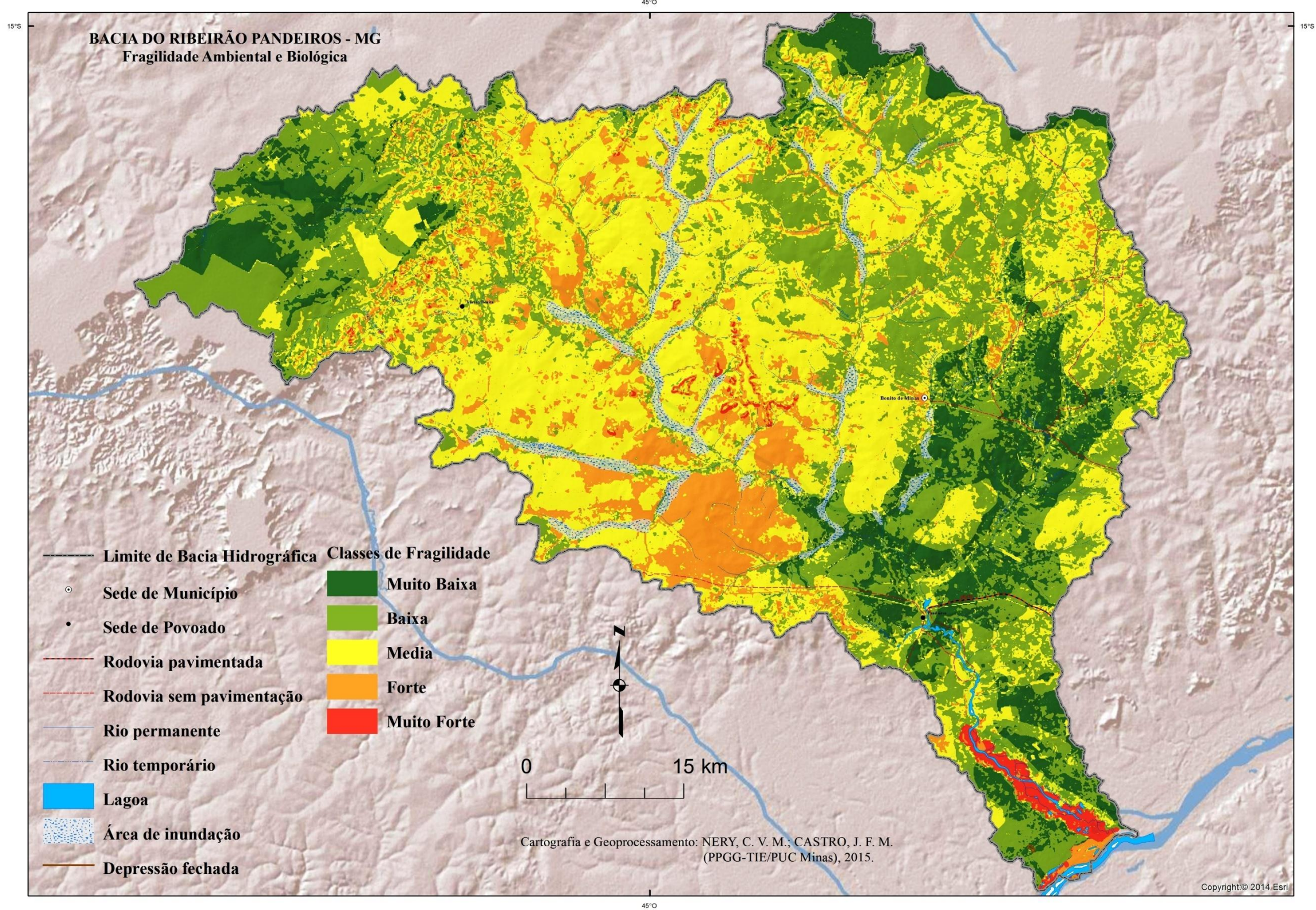
A importância da cobertura vegetal, mesmo que em estágio secundário, para a proteção do meio natural, pode ser notada no modelo e, ao analisarmos as classes de fragilidade média e baixa no compartimento da Superfície Aplanada 2 da bacia, verificamos que a componente uso e ocupação é que determina o grau de fragilidade do meio.

Na análise de fragilidade o segundo modelo proposto, adotando a metodologia adaptada de Cunha *et. al.* (2013), considerando um novo plano de informação no modelo, a importância biológica. O mapa elaborado com a inclusão da componente importância biológica no cálculo da fragilidade ambiental é apresentado na figura abaixo (Figura 75).

A inclusão do novo plano na metodologia adotada neste estudo repercutiu na necessidade de ressaltar a importância biológica do pântano como local de reprodução da ictiofauna do Rio São Francisco. Para elaboração de um modelo cujo resultado ressaltasse a importância biológica da área do pântano, foi associado um peso de valor 5 à Planície Flúvio Lacustre no plano de compartimentação da paisagem. O acréscimo do plano de informação não alterou as classes de fragilidade anteriormente classificadas, dando novo status à área pantanosa como área de fragilidade muito forte. Nesse sentido, a nova distribuição das classes de fragilidade ambiental por área de superfície passou a ser conforme a tabela que se segue (Tabela 22).

Com a nova metodologia aplicada, as áreas, cuja fragilidade ambiental foi considerada como Forte ou Muito Forte tiveram suas áreas aumentadas e as classes Muito Baixa, Baixa e Média tiveram suas áreas de ocorrência reduzidas (Figura 76). A classe de fragilidade Muito Forte aumentou de área em 3.268 ha e a classe de fragilidade Forte aumentou em 1.199 ha. Esse aumento de área deu com a inclusão do plano de informação da importância biológica, de modo a contemplar a importância da área do pântano como área de grande relevância biológica.

Figura 75 – Mapa de Fragilidade ambiental da bacia do Rio Pandeiros considerando a importância biológica

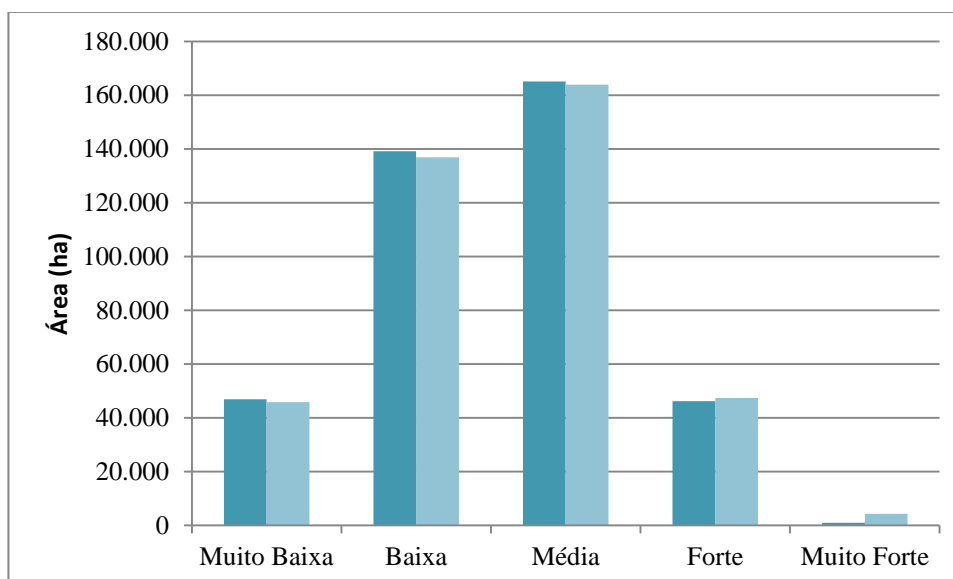


O modelo de cômputo da fragilidade ambiental da bacia, por meio da álgebra de mapas em ambiente de sistemas de informações geográficas, com base no conceito de unidades ecodinâmicas de Tricart, revelou uma superfície acima de 54% da área da bacia (215.575 ha) que apresenta fragilidade ambiental de média ou acima, sendo essa fragilidade associada à importância biológica do meio natural, à alta ocorrência de solos jovens, do tipo neossolos quartzarênicos e neossolos litólicos e à exposição desses solos com a retirada da vegetação natural.

Tabela 22–Distribuição de área por classes de Fragilidade Ambiental, considerando a importância biológica na Bacia do Rio Pandeiros/MG

Classes de fragilidade	Área	
	(ha)	%
Muito Baixa	45.831	11,51%
Baixa	136.919	34,37%
Média	163.931	41,16%
Forte	47.363	11,89%
Muito Forte	4.280	1,07%
Total	398.325	

Figura 76- Mudança de Classes de Fragilidade ambiental da bacia do Rio Pandeiros, considerando os dois modelos aplicados



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No estudo da paisagem na bacia do Rio Pandeiros sob a ótica sistêmica, utilizou-se como métodos a cartografia dos geoelementos que compõem a paisagem, a elaboração de perfis geoecológicos da área e a álgebra de mapas para determinação da fragilidade ambiental da paisagem.

A primeira hipótese de trabalho de que a formação geológica e o modelado geomorfológico são os principais condicionantes para a formação da paisagem na Bacia do Rio Pandeiros foi confirmada, haja vista que os demais geoelementos foram derivados desses temas em associação com o clima. O clima, por sua vez, não apresenta grande variação para a bacia. A hipótese de que a ocupação antrópica da bacia é resultado de uma combinação de fatores do meio natural e possui um padrão de uso e ocupação também foi confirmada, considerando que as áreas ocupadas por atividades de agricultura e pecuária estão próximas aos rios e córregos, principalmente nos compartimentos da Planície Flúvio Lacustre e da Planície Fluvial e as áreas de silvicultura ocupam os latossolos mais férteis no relevo de chapada, na parte mais ao norte da bacia. A terceira e última hipótese de trabalho, a variação do método de cômputo da fragilidade ambiental baseado na média ponderada, sugerido nessa tese, é capaz de representar a fragilidade ambiental da bacia foi confirmada com a aplicação de métodos utilizados neste estudo e sua confirmação a partir dos levantamentos de campo.

Dentre os métodos utilizados, a cartografia dos elementos que compõem a paisagem foi executada, com a elaboração de mapas com o detalhamento desses elementos e sua distribuição espacial, como o clima, o uso e ocupação do solo, a vegetação natural, os solos, a geomorfologia e a geologia. No ambiente de SIG, foi elaborada uma base de dados sendo os mapas acima citados obtidos a partir da importação, processamento e análise das informações. Com a cartografia dos elementos componentes do sistema, foi possível apreender sobre a formação da paisagem como fisionomia do sistema, sobre a estrutura estabelecida entre os entes que compõem o sistema na sua formação final, bem como reconhecer as conexões estabelecidas entre esses elementos formadores.

A aplicação do método de elaboração de transectos na bacia serviu como base para a investigação e como forma de apreender como os geoelementos estão estruturados e estabelecer conexões entre esses elementos. Foi possível perceber que os depósitos aluvionares, unidades litológicas associadas às planícies fluviais e flúvio lacustre, deram

origem, em associação com o clima, aos gleissolos que, por sua vez, estão associados à formação natural de campo. Dada à sua posição altimétrica, esse ambiente é de acumulação, onde são depositados sedimentos oriundos de áreas mais à montante na bacia. O principal uso/ocupação identificado nessas áreas foi a agricultura e pecuária, dada à umidade disponível nos solos e proximidade da água. Esse uso também é caracterizado pela utilização da vegetação campestre como reserva alimentar de pastagem natural para o gado bovino, principalmente durante a estação seca. Nesse ambiente, também está localizada a área de maior relevância biológica da bacia, o pântano do Rio Pandeiros, local de reprodução da ictiofauna do rio São Francisco. Devido ao intenso fluxo e deposição de matéria em direção ao ambiente lacustre, este tem sido negativamente impactado com o acúmulo de sedimento na calha do rio. As veredas, outro ambiente importante na bacia, também estão localizadas nas áreas de mesma característica, sofrendo os mesmos impactos anteriormente citados, além de ter suas águas drenadas para o plantio de culturas de subsistência. As rochas carbonáticas do grupo Bambuí, em associação com o clima e o modelado de dissolução, deram origem, em primeira instância aos argissolos vermelho amarelo e, em segunda, aos latossolos vermelho amarelo. Esses solos, por possuírem uma maior disponibilidade de nutrientes em função de um pH mais elevado, estão associados à formação vegetal da Floresta estacional decidual, a mata seca e no caso de áreas mais próximas aos rios, às matas de galeria. O carste descoberto encontrado nessas áreas representa apenas 1081 ha. O uso e ocupação das áreas cársticas se dão principalmente pela agricultura e pecuária, motivados pela fertilidade dos solos. Pela elaboração dos perfis geocológicos, também foi possível perceber a associação entre os neossolos quartzarênicos, advindos da intemperização do Arenito Urucuaia com a vegetação do cerrado, cuja conservação está em melhores condições em áreas dos municípios de Bonito de Minas e Cônego Marinho. No município de Januária, o plantio e a retirada da cultura do eucalipto tornaram parte dos solos dessas áreas expostos, o que altera a resposta ao fluxo de radiação incidente e facilita o transporte e deposição de matéria no curso dos rios. Por fim, pelo método de elaboração dos transectos, foi possível perceber a relação entre a litologia de coberturas lateríticas e os latossolos nas partes de maior altitude da bacia, com a formação natural de campo. Parte dessas áreas estão ocupadas com o eucalipto, sendo que em épocas passadas, a cultura do eucalipto contribuiu, ao lado das queimadas e a abertura de estradas para a ocorrência de voçorocas na cabeceira do Rio Pandeiros.

Após o entendimento da estrutura e conexão entre os elementos formadores da paisagem, foi possível identificar, individualizar e classificar os compartimentos da paisagem da bacia. As unidades geológicas foram classificadas e mapeadas em ambiente SIG. Com a análise, foi possível mapear seis unidades geológicas, a saber: a Planície Flúvio Lacustre, a Planície Fluvial, o Carste e as Superfícies Aplanadas 1 e 2. A Planície Flúvio Lacustre é uma área inundada próxima à foz do Rio Pandeiros, onde estão sendo depositadas grandes quantidades de sedimentos, diminuindo o lago disponível para a reprodução de peixes. São áreas de solos do tipo gleissolos, com vegetação de campo, que são utilizadas como áreas de pastagem natural, principalmente durante a estação seca. A Planície Fluvial engloba áreas de deposição de sedimentos aluviais nas calhas dos rios e córregos, sendo que nessa unidade estão localizadas as veredas, áreas brejosas caracterizadas principalmente pela presença do Buriti. As veredas estão sendo impactadas com seu uso como áreas de dessedentação de animais e como áreas de culturas agrícolas de subsistência, quando suas águas são drenadas. A terceira unidade geológica classificada foi o Carste. Na bacia, o relevo cárstico está praticamente encoberto, sendo que apenas uma área de 1081 ha é de relevo cárstico descoberto. O Carste é caracterizado por áreas de solos do tipo argissolos ou latossolos de fertilidade mais elevada, dada à sua condição de fertilidade. Sobre esses solos, desenvolvem-se a vegetação natural da Mata Seca, que se encontra muito desflorestada em função do uso desses solos para a agropecuária. A maior unidade geológica da bacia é a Superfície Aplanada 2, uma área recoberta principalmente pelo arenito Urucuia que foi trabalhada durante os diversos ciclos erosivos, deu origem aos solos do tipo Neossolos Quartzarênicos de textura muito arenosa. Nesses solos a formação vegetacional predominante é o Cerrado, principalmente o cerrado ralo que se encontra mais preservado na margem esquerda do Rio Pandeiros. Na margem esquerda, no município de Januária, grandes plantios de eucalipto substituíram a vegetação natural que, com sua retirada, não permitiu a regeneração da vegetação natural, levando à exposição do solo. A exposição do solo facilita sua desagregação, levando a uma intensificação da erosão laminar, do transporte e da deposição de sedimento nos cursos dos rios e córregos da bacia. Na borda desse compartimento, formam-se grandes erosões devido ao desmatamento, às queimadas, abertura de estradas e carregadores, que retiram a cobertura vegetal do solo ou canalizam o fluxo da enxurrada, favorecendo a formação dessas erosões. A erosão nesse compartimento é um fenômeno natural, porém as atividades antrópicas ali exercidas têm acelerado os processos erosivos, aumentando o transporte e

deposição dos sedimentos ao longo dos rios e no pântano do Rio Pandeiros. O compartimento de cimeira, a Superfície Aplanada 1 é uma área de chapada, que por sua formação litológica de coberturas lateríticas, deu origem aos latossolos cobertos com a vegetação natural de campo. O uso ou cobertura do solo mais identificado nessas chapadas, além da vegetação natural é o plantio de eucalipto. O plantio de eucalipto nas chapadas da bacia, que teve início nas décadas de 1970 e 1980, não respeitou uma faixa de bordadura de, pelo menos, cem metros da borda da chapada, o que provocou pontos de erosão e voçorocas na borda do compartimento.

Além da compartimentação da paisagem da bacia, foi realizado o estudo da fragilidade dos meios com auxílio de um modelo empírico apoiado na álgebra de mapas. O estudo da fragilidade ambiental se baseou na teoria de equilíbrio ecodinâmico de Tricart (TRICART, 1977) com a aplicação de uma adaptação ao método proposto por Ross (ROSS, 1994). O método utilizado na primeira etapa para a estimativa da fragilidade ambiental levou em consideração os planos de informação de declividade, tipo de solo e uso/cobertura do solo. Os planos de informação foram ponderados de acordo com sua vulnerabilidade intrínseca em diferentes graus que variaram de um a cinco. Os resultados obtidos mostraram que áreas de fragilidade média e forte foram mais encontradas na bacia, principalmente na sua porção mediana, onde solos arenosos estão expostos ou recobertos por vegetação de pouca proteção natural. Na borda do compartimento de cimeira, também foi possível perceber essas classes de fragilidade, principalmente devido às altas declividades ali encontradas. O que se pode perceber é que o compartimento da Planície Flúvio lacustre, dada à sua importância biológica, não recebeu uma classificação condizente. Para essa correção, a metodologia foi adaptada com a inclusão de um novo plano de informação, a importância ecológica do meio. Após a aplicação do modelo considerando o novo plano de informação, a área do pântano recebeu nova classificação de fragilidade ambiental adequada à verdade de campo, sendo que o segundo método de cálculo de fragilidade ambiental aplicado considerou a importância biológica dessa área.

Com a aplicação do método acima, foi possível estabelecer uma relação entre os entes formadores da paisagem e sua fragilidade ambiental, considerando suas características físicas, biológicas e as ações antrópicas. No estudo da fragilidade ambiental da bacia, o componente solo contribui muito para acentuar a fragilidade, dada à sua condição textural e sua ampla ocorrência na bacia, principalmente quando associada a alguns usos ou ocupação presentes no plano de informação de uso/ocupação, como solo

exposto, em maior grau e a vegetação em rala ou em regeneração. É perceptível também a associação de regiões de alta declividade com o solo arenoso, ou mesmo solos litólicos jovens, nas escarpas entre os compartimentos das Superfícies Aplanadas 1 e 2 e nas bordas das serras e morros da Superfície Aplanada 2, como na Serra da Mescla, Serra São Domingos e nos Morros da Tábua e da Capivara. Nas áreas de classes de Fragilidade ambiental Baixa e Muito baixa, é possível perceber, na porção sul da bacia, a associação de relevo plano e solos do tipo argissolos e latossolos com maiores teores de argila que os solos arenosos. Nessas áreas, a componente uso e ocupação também contribui para a baixa classificação de fragilidade, pois são áreas de cobertura vegetal primária em sua maior parte. Nessas mesmas classes de fragilidade, Baixa e Muito Baixa, na porção ao norte da bacia, é possível perceber a associação de baixas declividades com latossolos de textura argilosa. São áreas de eucalipto e áreas de vegetação, em estágio secundário e primário de sucessão vegetal. As áreas de sucessão secundária são formadas principalmente por áreas onde a cultura do eucalipto foi plantada e retirada.

Apoiado no paradigma sistêmico, utilizando métodos, como a cartografia, a elaboração de transectos e a álgebra de mapas, foi possível identificar e compartimentar as unidades da paisagem na bacia do Rio Pandeiros na região Norte de Minas Gerais aplicando a concepção sistêmica, bem como estimar a fragilidade ambiental desses ambientes.

A ocupação humana na bacia, dada à sua vulnerabilidade natural, promoveu alterações no meio, elevando sua fragilidade com a retirada da vegetação natural, as queimadas, abertura de estradas, favorecendo o desenvolvimento de voçorocas e causando impactos ambientais bastante significativos, como o assoreamento de rios e veredas da bacia. Nesse sentido, a ocupação da bacia necessita de instrumentos que orientem sua ocupação, fornecendo um maior conhecimento sobre os elementos formadores da paisagem e o grau de fragilidade dos meios. Os órgãos competentes para tutelar determinados usos ou ocupação na APA Pandeiros, cujos limites se aproximam muito, até então não possuem trabalhos que orientem a liberação para a instalação de empreendimentos em toda a bacia. Sendo assim, essa pesquisa vem ampliar o conhecimento sobre a bacia e orientar o uso e ocupação de suas terras com base em sua fragilidade ambiental.

Como sugestão para trabalhos posteriores, tem-se a necessidade de melhoria na espacialização dos solos da bacia, sendo que neste trabalho foram testados dois mapas de solos, o primeiro de IBGE (IBGE, 1972) e o segundo, o mapa de solos produzido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV, 2010), sendo este preterido em função da maior aproximação do primeiro com os tipos de solos encontrados na bacia. Mesmo assim há a necessidade de melhoria no mapeamento de solos da bacia, haja vista a grande variabilidade espacial dos solos que a compõem.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. I. S. DE. Unidades de Paisagem na Bacia Hidrográfica do Rio Pacuí/Norte de Minas Gerais. **Tese de Doutorado**. Programa de Pós-Graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial. PUC/Minas, Belo Horizonte: 2015.
- AMARAL, Rosângela do; ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. As unidades ecodinâmicas na análise da fragilidade ambiental do Parque Estadual do Morro do Diabo e entorno, Teodoro Sampaio/SP. **GEOUSP: espaço e tempo**, n. 26, p. 59-78, 2011.
- AMORIM FILHO, Oswaldo Bueno. A Formação do Conceito de Paisagem Geográfica: os Fundamentos Clássicos, in: **Paisagens**, vol. 3. Coord. Oliveira, L.; Machado, L. M. C. P. Rio Claro: UNESP, 1998.
- AMORIM, Raul Reis; OLIVEIRA, Regina Célia de. As unidades de paisagem como uma categoria de análise geográfica: o exemplo do município de São Vicente-SP. **Sociedade & Natureza**, v. 20, n. 2, p. 177-198, 2008.
- ATLAS DE DESENVOLVIMENTO HUMANO. Disponível em www.atlasbrasil.org.br. Acessado em: 15 de janeiro de 2014.
- BAHIA, T. O; LUZ, G. R. da; VELOSO, M. D. M.; NUNES, Y. R. F.; NEVES, W. V.; BRAGA, L. L.; LIMA, P. C. V. de. **Veredas na APA do Rio Pandeiros: importância, impactos ambientais e perspectivas**. MG. Biota, Belo Horizonte, v.2, n.3, 2009.
- BERRY, Brian J. **America's utopian experiments: Communal havens from long-wave crises**. 1995.
- BERTRAND, Georges. **Paisagem e geografia física global: esboço metodológico**. Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, 1972.
- BERTRAND, Georges. Le paysage entre la nature et la société. **Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest**, v. 49, n. 2, p. 239-258, 1978.
- BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global - esboço metodológico. **Ra'ê Ga**, n.8, p.144-152, 2004
- BOAVENTURA, R. S. **Veredas berço das águas**. Belo Horizonte: Ecodinâmica, 2007.
- BOTELHO, R.G.M. Planejamento Ambiental em microbacia. **In**. GUERRA, A.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. 269-293.
- BUENO, Guilherme Taitson. e LOBO, Carlos Fernando Ferreira. A questão da unidade espacial nos estudos ambientais e o caso do diagnóstico sócio-ambiental da bacia do Córrego do Cercadinho – Belo Horizonte. **Anais do X Simpósio Brasileiro De Geografia Física Aplicada, Rio de Janeiro: UERJ, 2003**.

BURROUGH, Peter A. Dynamic modelling and geocomputation. In: **Geocomputation: a primer**. John Wiley & Sons Inc, 1998. p. 165-192.

CALIJURI, Maria Lúcia et al. Proposta metodológica para geração da carta de fragilidade ambiental, utilizando lógica fuzzy e combinação linear ponderada. **Proceedings of XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, Brasil**, p. 3311-3318, 2007.

CAMPOS, José Eloi Guimarães; DARDENNE, Marcel Auguste. Estratigrafia e sedimentação d Bacia Sanfranciscana: uma revisão. **Brazilian Journal of Geology**, v. 27, n. 3, p. 269-282, 1997.

CHRISTIAN, C. S. **The concept of land units and land systems**. 1958.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Análise de Sistemas em Geografia: introdução**. Editora Hucitec, Editora da Universidade de São Paulo, 1979.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

CHORLEY, Richard J. **Geomorphology and general systems theory**. Washington, DC: US Government Printing Office, 1962.

CHORLEY, RICHARD J. Models in geomorphology. **Models in Geography**, p. 59-96, 1967.

CHORLEY, Richard J.; KENNEDY, Barbara A. **Physical geography: a systems approach**. Prentice Hall, 1971.

CODEMIG, COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS; COMPANHIA MINERADORA DE MINAS GERAIS. CPRM/COMIG (convênio). **Dados digitais do Mapa Geológico de Minas Gerais**, escala de 1:1.000.000, 2003. Disponível em: <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>. Acesso em: junho, 2014.

CREPANI, Edison et al. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996.

CREPANI, Edison et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Inpe, 2001.

CUNHA, E. R.; SILVA, L. F.; BACANI, V. M.; OLIVEIRA, T. C. M.; BARBOSA, E. H. B.; SAKAMOTO, A. Y.; PEREIRA, Z. V. Caracterização da fragilidade potencial da Área de Proteção Ambiental (APA) Municipal das Nascentes do Rio Apa: uma adaptação metodológica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR)., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 4201-4208. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00066-9 (Internet), 978-85-17-00065-2 (DVD).

Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQTRW34M/3E7GF72>>. Acesso em: 12 out. 2016.

DAVIS, William M. The geographical cycle. **The Geographical Journal**, v. 14, n. 5, p. 481-504, 1899.

EPAMIG, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. **Análise de solo, determinações cálculos e interpretação**. EPAMIG, Lavras. 2012.

FERREIRA, I.M. Cerrado: Classificação Geomorfologia de Vereda. In: IX Simpósio Nacional Cerrado, 12-17/Out, 2008, Brasília. **II Simpósio Internacional Savanas Tropicais**, Brasília, 2008.

FOSTER, C.; RAPOPORT, A.; TRUCCO, E. Some Unsolved Problems in the Theory of NonIsolated Systems. **General Systems Yearbook**, v. 2. 9-29p. 957.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2011. 128p.

FREITAS FILHO, Manuel Rodrigues de; SOUZA, Marcos José Nogueira de. Análise geoambiental com aplicação de geotecnologias nas nascentes do riacho dos Macacos: bacia do rio Acaraú-CE. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil**, p. 16-21, 2005.

HAGGETT, Peter; CHORLEY, Richard J. Models, paradigms and the new geography. **Models in geography**, v. 19, p. 41, 1967.

HAGGETT, Peter; CHORLEY, Richard J. (Ed.). **Frontiers in geographical teaching**. 1975.

HUGGETT, Richard J. **Earth surface systems**. Springer Science & Business Media, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Base cartográfica digital**, escala 1:1.000.000, IBGE, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Carta Buritis**, SD-23-Y-D, escala 1:250.000, IBGE, 1982.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Carta Januária**, SD-23-Z-C, escala 1:250.000, IBGE, 1982.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha municipal digital**, IBGE, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa Exploratório - Reconhecimento dos Solos: Bacia do Rio São Francisco**. Esc. 1:1.000.000, 1978.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acessado em: 20 de maio de 2011.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - IEF. Disponível em <http://www.ief.mg.gov.br>. Acesso em 20/07/2015.

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS APLICADAS - IGA. **Áreas de Proteção Ambiental no Estado de Minas Gerais: demarcação e estudos para o pré- zoneamento ecológico - APA Bacia do Rio Pandeiros**. Belo Horizonte: IGA, 2006. Relatório Técnico.

IGLESIAS, M.; UHLEIN, A.. Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no vale do rio São Francisco, norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 39, n. 2, p. 256-266, 2009.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - IEF. Disponível em <http://www.ief.mg.gov.br>. Acesso em 20/10/2014.

KAWAKUBO, Fernando Shinji et al. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil**, p. 16-21, 2005.

KING, L. C. A geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 147- 265, 1956.

KLINK, Carlos A.; MACHADO, Ricardo B. Conservation of the Brazilian cerrado. **Conservation biology**, v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005.

LEVIGHIN, Susimara Cristina; VIADANA, Adler Guilherme. A aplicação dos perfis geo-ambientais em setores da cidade de Rio Claro (SP). **Ambientes estudos de geografia. Rio Claro**, p. 75-88, 2003.

LIMA, Felipe Aquino et al. Utilização do Sistema de Informações Geográficas Terraview para delimitação da bacia hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros–MG. **Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto-Geonordeste, VI**, 2012.

LOTKA, Alfred J. **Elements of physical biology**. 1925.

MASSA, Eric Macedo; ROSS, Jurandy Luciano Sanches. Aplicação de um modelo de fragilidade ambiental relevo-solo na Serra da Cantareira, bacia do Córrego do Bispo, São Paulo-SP. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 24, p. 57-79, 2012.

MONTEIRO, Carlos Augusto F. Geossistemas; DE FEGUEIREDO, Geossistemas. a história de uma procura. **São Paulo: Contexto**, 2000.

NERY, César Vinícius Mendes et al. Avaliação das Técnicas de Classificação MAXVER, MAXVER–ICM e Distância Mínima Euclidiana de acordo com Índice Kappa (Evaluation of Classification Techniques MAXVER, MAXVER-ICM and Minimum Euclidean Distance according to Kappa Index). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 2, p. 320-328, 2013.

- RADAMBRASIL, Projeto. Ministério das Minas e Energia. **Secretaria Geral-Folhas SF**, v. 23, n. 24, p. 20-100, 1982.
- RAMOS, M.V.V. et al. **Veredas do Triângulo Mineiro: Solos, Água e uso. Ciênc. Agrotec.**, Lavras. V. 30, n. 2, p. 283-293, 2006.
- RODRIGUEZ, J.M.M.; SILVA, E.V.; CAVALCANTI, A.P.B. **Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. 2.ed. Fortaleza: Edições UFC. 2007.
- RODRIGUEZ, José Manuel Mateo; DA SILVA, Edson Vicente. A classificação das paisagens a partir de uma visão geossistêmica. **Revista Mercator**, v. 1, n. 1, 2009.
- ROSIM, Sergio et al. TERRAHIDRO-Uma plataforma computacional para o desenvolvimento de aplicativos para a análise integrada de recursos hídricos. **XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR**, p. 2589-2596, 2003.
- ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. Editora Contexto, 1990.
- ROSS, JLS. Análises e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **RDG Revista do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, São Paulo**, v. 8, p. 65-75, 1994.
- ROSS, J. L. S. et al. Plano de conservação da bacia do Alto Paraguai. **Brasília: PNMA**, 1995.
- ROSS, JLS. Os Fundamentos da Natureza. **Geografia do Brasil. Org. JLS Ross**, p. 15-65, 2003
- ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. A sociedade industrial e o ambiente. **IN: ROSS, Jurandyr Luciano Sanches (org.). Geografia do Brasil**, v. 5, 2005.
- ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Geografia e as transformações da natureza: relação sociedade-natureza. **Coleção por uma Geografia Latino-Americana. Ed. Expressão Popular. 1ª Edição. São Paulo**, 2009.
- SANTOS, H. G. *et al.* **O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada**. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, Brasil, 2011.
- SANTOS, Milton. Espaço e sociedade. **Petrópolis: Vozes**, p. 20-35, 1979.
- SANTOS, Milton. Metamorfoses do espaço habitado. **São Paulo: Hucitec**, v. 4, 1988.
- SAUER, Carl Ortwin. **The morphology of landscape**. University of California press, 1925.

SCOLFORO, J. R.; CARVALHO, L. M. T. Inventário e mapeamento da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais. **Lavras: UFLA**, 2006.

SPÖRL, Christiane; ROSS, JL Sanches. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP-Espaço e Tempo**, v. 15, p. 39-49, 2004.

SOTCHAVA, Viktor Borisovich. **O estudo de geossistemas**. Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, 1977.

SOTCHAVA, Viktor Borisovich. Por uma teoria de classificação de geossistemas de vida terrestre. **Biogeografia. São Paulo**, n. 14, p. 1-24, 1978.

STRAHLER, Arthur N. Systems theory in physical geography. **Physical Geography**, v. 1, n. 1, p. 1-27, 1980.

TERRAVIEW, I. N. P. E. 4.1. 0. **São José dos Campos, SP: INPE**, 2010.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. Centerton: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p. **Publications in climatology**, v. 8, n. 1, 1955.

TRICART, Jean. Ecodinâmica. In: **Série recursos naturais e meio ambiente**. SUPREN/IBGE, 1977.

TROPPEMAIR, H.; GALINA, M.H. Geossistemas. **Mercator-Revista de Geografia da UFC**, v. 5, n. 10, p. 79-89, 2006.

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

VALADÃO, Roberto Célio. Geodinâmica de superfícies de aplanamento, desnudação continental e tectônica ativa como condicionantes da megageomorfologia do Brasil orientado. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, n. 2, 2009.

VERSTAPPEN, Herman Theodoor. **Applied geomorphology: geomorphological surveys for environmental development**. Amsterdam: Elsevier, 1983.

VON BERTALANFFY, Ludwig. **Teoria geral dos sistemas**. vozes, 1977

NUNES, Yule Roberta Ferreira et al. Pandeiros: o pantanal mineiro. **MG Biota**, v. 2, p. 4-17, 2009.

WALTER, B.M.T. **Fitofisionomias do bioma cerrado: síntese terminológica e relações florísticas**. 2006. 373 f. Tese (Doutorado) Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília (UnB). Brasília, 2006.

ZONNEVELD, Isaak S. The land unit—a fundamental concept in landscape ecology, and its applications. **Landscape ecology**, v. 3, n. 2, p. 67-86, 1989.

APÊNDICES

Apêndice 1

Tabela 23 - Resultados das análises de solos para a classe de solo Neossolo Quartzarênico na Bacia do Rio Pandeiros/MG

Ident.	pH	MO	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia	Silte	Argila
		dag/kg	mg/dm ³	cmolc/dm ³									mg/dm ³			dag/kg			
1 (0 - 20)	6,5	1,2	11	0,2	0,0	0,34	1,12	0,2	0,5	1,3	14	65,1	0,0	43,9	0,0	0,0	81	10	9
1 (20-40)	5,9	1,0	6	0,1	0,0	0,44	1,15	0,1	0,6	1,3	10,7	76,3	0,0	70,4	0,5	0,0	88	3	9
1 (40 - 60)	5,8	1,0	0	0,1	0,0	0,41	1,02	0,1	0,6	1,2	12,5	73,8	0,0	72,6	0,3	0,0	89	4	7
2 (0 - 20)	5,6	1,4	15	0,4	0,0	0,43	1,62	0,4	0,8	2,0	19,5	52,3	0,2	44,4	8,2	0,0	86	2	12
2 (20-40)	5,3	1,2	13	0,1	0,0	0,65	1,55	0,2	0,8	1,7	10,3	78,5	0,0	71,4	3,3	0,1	84	3	13
2 (40 - 60)	5,2	1,2	10	0,2	0,0	0,69	1,6	0,2	0,9	1,8	13,4	73,6	0,0	66,9	3,6	0,3	82	3	15
4 (0 - 20)	6,2	1,3	0	0,1	0,0	0,61	10,67	0,2	0,8	10,8	1,6	77,7	0,0	124,7	0,6	0,0	90	0	10
4 (20-40)	5,2	0,9	0	0,0	0,0	0,43	6,18	0	0,5	6,2	0,5	92,7	0,0	98,5	0,0	0,0	92	5	3
4 (40 - 60)	5,2	0,9	0	0,0	0,0	0,42	5,05	0	0,5	5,1	0,9	90,1	0,7	66,2	0,2	0,1	86	5	9
5 (0 - 20)	5,4	1,0	11	0,1	0,0	0,46	5,34	0,1	0,6	5,4	1,9	82	0,0	92,8	0,0	0,0	84	3	13
5 (20-40)	5,3	1,0	0	0,5	0,0	0,45	5,28	0,5	1	5,8	8,8	46,8	0,0	113,1	0,0	0,1	83	3	14
5 (40 - 60)	6,6	1,0	0	0,9	0,0	0,43	9,34	0,9	1,3	10,3	9	31,9	0,0	125,5	0,0	0,1	84	3	13
7 (0 - 20)	5,1	0,2	1,6	0,1	0,0	0,44	3,8	0,1	0,5	3,9	2,7	80,5	0,0	92,6	0,0	0,0	80	3	17
7 (20-40)	4,9	0,1	1,4	0,1	0,0	0,36	3,01	0,2	0,5	3,2	5,1	69,2	0,0	94,7	0,0	0,0	81	2	17
7 (40 - 60)	5,0	0,0	0,8	0,1	0,0	0,36	2,6	0,1	0,4	2,7	2,7	83,4	0,0	79,4	0,0	0,0	80	3	17
Média	5,5	0,9	4,7	0,2	0,0	0,5	4,0	0,2	0,7	4,2	7,6	71,6	0,1	83,8	1,1	0,0	84,7	3,5	11,9

Apêndice 2

Tabela 24 - Resultados das análises de solos para a classe de solo Latossolo Vermelho Distrófico na Bacia do Rio Pandeiros/MG

Ident.	pH	MO	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia	Silte	Argila
		dag/kg	mg/dm ³	cmolc/dm ³								%	mg/dm ³			dag/kg			
10 (0 - 20)	4,9	0,8	15	0,0	0,0	0,46	5,75	0,1	0,5	5,8	1,1	88,3	0,8	112,1	0,0	0,0	54	3	43
10 (20-40)	4,5	0,5	8	0,0	0,0	0,62	4,92	0	0,6	4,9	0,6	95,6	7,9	92	0,0	2,7	48	2	50
10 (40 - 60)	4,3	0,3	6	0,0	0,0	0,67	4,07	0	0,7	4,1	0,4	97,5	1,0	27,9	0,0	0,0	44	4	52
Média	4,5	0,5	9,7	0,0	0,0	0,6	4,9	0,0	0,6	4,9	0,7	93,8	3,2	77,3	0,0	0,9	48,7	3,0	48,3

Apêndice 3

Tabela 25 - Resultados das análises de solos para a classe de solo Neossolo Litólico na Bacia do Rio Pandeiros/MG

Ident.	pH	MO	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia	Silte	Argila
		dag/kg	mg/dm ³	cmolc/dm ³								%	mg/dm ³			dag/kg			
9 (0 - 20)	4,85	0,5	8	0	0	0,44	4,02	0	0,5	4	0,6	95,1	0,3	89,5	0	0	72	6	22
9 (20-40)	4,84	0,4	8	0,1	0	0,49	2,78	0,1	0,6	2,9	2,9	85,6	1,7	86,1	0	0,1	68	5	27
9 (40 - 60)	4,51	0,3	5	0	0	0,4	3,11	0	0,4	3,1	1	92,9	0,4	92,9	0	0	66	6	28
Média	4,7	0,4	7,0	0,0	0,0	0,4	3,3	0,0	0,5	3,3	1,5	91,2	0,8	89,5	0,0	0,0	68,7	5,7	25,7

Apêndice 4

Tabela 26 - Resultados das análises de solos para a classe de solo Gleissolo Melânico na Bacia do Rio Pandeiros/MG

Ident.	pH	MO dag/kg	K mg/dm ³	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V %	m	Cu	Fe mg/dm ³	Mn	Zn	Areia	Silte	Argila	
							cmolc/dm ³											dag/kg		dag/kg
8 (0 - 20)	4,9	0,4	11	0,1	0,0	0,49	3,98	0,1	0,6	4,1	2,4	83,5	0,1	127,3	0,0	0,0	84	3	13	
8 (20-40)	5,2	0,1	7	0,1	0,0	0,3	1,99	0,1	0,4	2,1	3,6	80,1	0,0	0	0,0	0,0	86	3	11	
8 (40 - 60)	5,7	0,0	6	0,0	0,0	0,22	1,59	0	0,2	1,6	1,7	89	0,1	0	0,0	0,0	89	3	8	
Média	5,3	0,2	8,0	0,1	0,0	0,3	2,5	0,1	0,4	2,6	2,6	84,2	0,1	42,4	0,0	0,0	86,3	3,0	10,7	

Apêndice 5

Tabela 27 - Resultados das análises de solos para a classe de solo Argissolo vermelho amarelo na Bacia do Rio Pandeiros/MG

Ident.	pH	MO dag/kg	K mg/dm ³	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V %	m	Cu	Fe mg/dm ³	Mn	Zn	Areia	Silte	Argila	
							cmolc/dm ³											dag/kg		dag/kg
3 (0 - 20)	5,9	1,5	48	1,1	0,2	0	0,85	1,4	1,4	2,2	61,6	0	0,0	21,8	20,3	0,3	84	4	12	
3 (20-40)	6,2	1,4	32	0,9	0,2	0	1,06	1,2	1,2	2,2	52,7	0	0,2	20,8	19,2	0,2	78	8	14	
3 (40 - 60)	6,2	1,4	22	0,9	0,2	0	1,06	1,2	1,2	2,2	52,2	0	0,1	15,1	14,1	0,7	77	6	17	
6 (0 - 20)	6,2	1,4	11	1,0	0,0	0,37	9,44	1	1,4	10,4	9,6	27	0,0	90,9	4,4	0,0	81	7	12	
6 (20-40)	6,1	1,0	0	0,8	0,0	0,35	11,29	0,8	1,1	12,0	6,3	31,6	0,0	94,5	2,9	0,0	79	10	11	
6 (40 - 60)	6,0	1,0	0	0,6	0,0	0,29	10,21	0,6	0,9	10,8	5,6	32,3	0,0	88,5	3,1	0,0	78	7	15	
11 (0 - 20)	5,3	0,1	10	0,3	0,0	0,35	2,43	0,3	0,7	2,8	2,4	50,4	0,0	0	0,0	0,0	70	5	25	
11 (20-40)	4,9	0,1	6	0,2	0,0	0,45	2,38	0,2	0,6	3,6	7,7	69,5	0,0	0	8,6	0,0	72	5	23	
11 (40 - 60)	5,2	0,2	8	0,9	0,0	0,36	2,28													
								0,9	1,3	3,2	28,4	28,5	2,9	25,9	17,7	0,8	73	4	23	
Média	5,6	0,6	5,8	0,6	0,0	0,4	6,3	0,6	1,0	7,1	10,0	39,9	0,5	50,0	6,1	0,1	75,5	6,3	18,2	