

WALTENCIR MENON JÚNIOR



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS

**EVOLUÇÃO TEMPORAL DAS ÁREAS DE RISCO À OCORRÊNCIA DE  
ESCORREGAMENTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DO  
YUNG – JUIZ DE FORA/MG ENTRE 1968 E 2010**

**Orientador: RICARDO TAVARES ZAIDAN**

JUIZ DE FORA

2016

WALTENCIR MENON JÚNIOR



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS

**EVOLUÇÃO TEMPORAL DAS ÁREAS DE RISCO À OCORRÊNCIA DE  
ESCORREGAMENTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DO  
YUNG – JUIZ DE FORA/MG ENTRE 1968 E 2010**

**Orientador: RICARDO TAVARES ZAIDAN**

Dissertação de Mestrado apresentado  
ao Programa de Pós-Graduação em  
Geografia da Universidade Federal de  
Juiz de Fora como requisito parcial  
para a obtenção do título de Mestre.

JUIZ DE FORA

2016

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Menon Junior, Waltencir.

Evolução Temporal das Áreas de Risco à Ocorrência de Escorregamentos na Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung – Juiz de Fora/MG Entre 1968 e 2010 / Waltencir Menon Junior. -- 2016. 155 p.

Orientador: Ricardo Tavares Zaidan

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Humanas. Programa de Pós Graduação em Geografia, 2016.

1. Uso e Ocupação da Terra. 2. Parcelamento do Solo Urbano. 3. Modelo SINMAP. 4. Áreas de Risco. 5. Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung. I. Zaidan, Ricardo Tavares, orient. II. Título.

EVOLUÇÃO TEMPORAL DAS ÁREAS DE RISCO À OCORRÊNCIA  
DE ESCORREGAMENTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
CÓRREGO DO YUNG - JUIZ DE FORA/MG ENTRE 1968 E 2010

WALTENCIR MENON JÚNIOR

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora, Área de Concentração Espaço e Ambiente, linha de pesquisa Dinâmicas Sócio-Ambientais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 29/04/2016

*Telma Mendes da Silva*

---

Profa. Dra. Telma Mendes da Silva (Membro Externo)  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

*Ricardo Tavares Zaidan*

---

Prof. Dr. Ricardo Tavares Zaidan (Orientador)  
Universidade Federal de Juiz de Fora

*Roberto Marques Neto*

---

Prof. Dr. Roberto Marques Neto (Membro Interno)  
Universidade Federal de Juiz de Fora



## DEDICATÓRIA

*Este trabalho é dedicado às pessoas que mais me incentivaram e me deram apoio ao longo dessa jornada... Minha querida mãe, Telma, que, através do seu amor, sempre me apoiou nos momentos mais difíceis e me ajudou com as suas palavras de sabedoria, e, as melhores irmãs do mundo, Talita e Ignêz que sempre me deram apoio e suporte ao longo dessa caminhada...*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à Deus que, por meio da sua luz divina, me possibilitou ter a paciência e perseverança para a realização de um projeto tão importante em minha vida.

Agradeço a minha família. Primeiramente, a mãe, Telma, a qual esteve sempre presente nos meus anseios e angústias, que através do seu carinho, me possibilitou olhar para frente e enxergar o horizonte de forma mais clara e tranquila. Gostaria também de agradecer, as minhas irmãs, Talita e Ignêz, as quais me incentivaram a todo o momento, e que me apoiaram na caminhada até então.

Quero agradecer ao professor (e mentor) Ricardo Tavares Zaidan que acreditou, desde o primeiro momento, no meu empenho das atividades a serem exercidas, durante os pouco mais de dois anos de mestrado, me possibilitando ganho em formação acadêmica e profissional.

Gostaria de agradecer ao professor Roberto Marques Neto, que foi grande colaborador, e nunca deixou de estar à disposição para ajudar nas explicações do presente trabalho.

Agradeço a professora Telma Mendes da Silva, a qual se disponibilizou desde o início a participar com as suas observações e explicações para o presente trabalho.

Um agradecimento especial ao colega de laboratório, Bruno de Jesus Fernandes, que me ajudou e esteve sempre a disposição para a realização de inúmeros trabalhos de campo.

Agradeço aos demais colegas do Laboratório de Geoprocessamento Aplicado (LGA) da UFJF pelo apoio e colaboração.

Gostaria de agradecer aos demais professores e à secretaria do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFJF (PPGEO/UFJF) que contribuíram para a minha formação acadêmica.

E agradeço à Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que permitiram a viabilização e execução do presente trabalho.

## RESUMO

Nas últimas décadas ocorreu no Brasil um forte processo de expansão urbana, que em grande parte, aconteceu de forma desordenada. Portanto, o mapeamento de uso e ocupação da terra, a aplicação de legislações de parcelamento do solo urbano e a identificação de áreas de risco constituem componentes importantes na gestão de desastres e funciona como base para promover a ocupação humana de forma segura. No município de Juiz de Fora está a Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung (BHCY) é um local com potencial de risco ambiental, devido ao seu intenso histórico de uso e ocupação da terra. Portanto o objetivo desse trabalho foi analisar a evolução das áreas de risco na BHCY, associado aos processos de escorregamentos em encostas, e Interpretar a evolução da ocupação urbana na BHCY, além da sua inter-relação com a legislação de parcelamento e uso do solo para os anos de 1968, 1983 e 2010. Para o presente trabalho foram utilizados diversos materiais cartográficos: Imagens Aerofotogramétricas dos anos supracitados; Modelo Digital de Elevação (MDE) e Declividade com base no modelo LiDAR; Legislação de parcelamento e ocupação do solo urbano; e Parâmetros de calibração do Modelo SINMAP. Para aplicar as metodologias foram utilizados: ArcGIS, Módulo SINMAP e Metodologia de Análise de Riscos. Os resultados mostram que o processo acelerado de mudança na paisagem de provocou mudanças nas inúmeras classes de uso (vegetação, pastagem, mineração e etc) e que a urbanização se direcionou, em maior parte, a áreas não favoráveis a ocupação na BHCY. Além disso, o grau de risco mais comum, para as áreas edificadas, identificada nos três períodos (1968, 1983 e 2010) é das classes de Alto risco, isso significa que os riscos individuais são aqueles com o maior potencial de ocorrência na BHCY. E no caso das áreas com risco Muito Alto apresentaram abrangência associadas ao risco Alto. Portanto, as legislações colocam pontos importantes no que tangem a essa ocupação, porém a ocupação se dá de uma maneira muito mais veloz, ou seja, a produção do espaço urbano muda a dinâmica e o equilíbrio das planícies e vertentes, potencializando e acelerando processos naturais que pode causar prejuízos e danos às pessoas que ali estão inseridas.

**Palavras-chave:** Uso e Ocupação da Terra, Parcelamento do Solo Urbano, Modelo SINMAP, Áreas de Risco, Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung.

## ABSTRACT

In recent decades occurred in Brazil a strong process of urban sprawl, which largely took place in a disorderly fashion. Therefore, the mapping of use and occupation of land, the application of laws installment of urban land and the areas of risk identification are important components in disaster management and serves as a basis for promoting human occupation safely. In Juiz de Fora city, Yung's Watershed (BHCY) is a place with potential environmental risk because of its intense history of use and occupation of land. Therefore the aim of this study was to analyze the evolution of risk areas in BHCY, associated with landslides processes on slopes, and interpret the evolution of urban settlement in BHCY, as well as their relationship with the installment of legislation and land use to the years 1968, 1983 and 2010. For this work was used various cartographic materials: Aerophotogrametric Images of the above years; Digital Elevation Model (DEM) and Slope based on LiDAR model (Light Detection and Ranging); Installment legislation and occupation of urban land; and SINMAP Model calibration parameters. To apply the methodologies were used: ArcGIS, SINMAP Module and Risk Analysis Methodology. The results show that the accelerated process of change in the landscape caused changes in numerous classes of use (vegetation, grazing, mining, etc.) and the urbanization is directed, in most part, to unfavorable areas occupation in BHCY. Moreover, the degree of most common risk to the built environment, identified the three periods (1968, 1983 and 2010) is of high risk classes, it means that the individual risks are those with the highest occurrence of potential in BHCY. And in the case of areas with a risk Very High presented scope associated with higher risk. Therefore, s laws put important points in that concern this placement, however occupancy occurs at a much faster manner, that is, the production of space urban changes the dynamics and the balance of the plains and slopes, increasing and accelerating natural processes that could result in injury and damage to people that there are inserted.

**Keywords:** Use and Occupation of Land, Land Installment Urban, Model SINMAP, Risk Area, Yung's Watershed.

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Principais tipos de Movimentos de Massa, adaptado de Varnes (1978) .....	24
Quadro 2: Termos e Definições utilizados nos estudos relacionados à risco ambiental. ...	30
Quadro 3: Definições das Classes de Estabilidade, modificado de (PACK et al, 1998)...	43
Quadro 4: Critérios morfométricos para a definição de categorias de relevos de dissecação. Fonte: Torres et. al. (2012) .....	61
Quadro 5: Classes morfológicas X Área (km <sup>2</sup> ) .....	63
Quadro 6: Relação das Classes de Declividades presentes na BHCY .....	64
Quadro 7: Classes de Solos presentes na BHCY.....	69
Quadro 8: Informação sobre os levantamentos utilizados para os mapeamentos de Uso e Ocupação da Terra.....	78
Quadro 9: Parâmetros de entrada utilizados no modelo SINMAP.....	83
Quadro 10: Exemplo de atribuição de pesos e notas para um quadro de risco ambiental.	90
Quadro 11: Graus de Probabilidade de Risco e seus fatores relacionados.....	91
Quadro 12: Relação de Classes e suas respectivas Áreas em Km <sup>2</sup> e Porcentagens na BHCY para o ano de 1968.....	95
Quadro 13: Relação de Classes e suas respectivas áreas em Km <sup>2</sup> e porcentagens para o ano de 1983.....	100
Quadro 14: Relação de Classes e suas respectivas Áreas em Km <sup>2</sup> e Porcentagens para o ano de 2010.....	104
Quadro 15: Áreas edificadas e seus valores (areais e percentuais) de acordo com as áreas passíveis ou não de ocupação para o período de 1968. ....	113
Quadro 16: Áreas edificadas e seus valores (areais e percentuais) de acordo com as áreas passíveis ou não de ocupação para o período de 1983. ....	115
Quadro 17: Áreas edificadas e seus valores (areais e percentuais) de acordo com as áreas passíveis ou não de ocupação para o período de 2010. ....	117
Quadro 18: Classes de Estabilidade e suas respectivas áreas de abrangência (km <sup>2</sup> e %) e total de cicatrizes Fonte: Elaborado pelo próprio autor.....	122
Quadro 19: Classes de Risco e seus valores (areais e percentuais) para o período de 1968. ....	132
Quadro 20: Classes de Risco e seus valores (areais e percentuais) para o período de 1983. ....	136

Quadro 21: Classes de Risco e seus valores (areais e percentuais) para o período de 2010. .....	140
--	-----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema básico de um Escorregamento Rotacional e um exemplo ocorrido no município de Lima Duarte – MG no ano de 2014.....	26
Figura 2: Esquema básico de um Escorregamento Translacional e um exemplo ocorrido na Bacia do Yung (Juiz de Fora – MG).....	27
Figura 3: Classificação de riscos, com destaque para os riscos de natureza geológicas, causados por dinâmica exógena (Cerri & Amaral, 1998). ....	29
Figura 4: Esquema representativo dos diversos modelos presentes na Geomorfologia, e as suas diversas categorias de estudo.....	40
Figura 5: Esquema do modelo de estabilidade do talude infinito, Pack et al (1998). ....	45
Figura 6: Conceitos dos fatores de coesão adimensional, Nery (2011) modificado de Pack et al (1998).....	47
Figura 7: Definição da área específica da bacia, Pack et al (1998).....	47
Figura 8: Índice de estabilidade definido pela relação área de contribuição X ângulo da encosta (Pack et. al., 1996).....	51
Figura 9 : Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung no contexto da região sudeste do Brasil.....	52
Figura 10: Vista panorâmica da porção Noroeste da BHCY.....	53
Figura 11: Avenida por onde passa o canal principal do Córrego do Yung.....	53
Figura 12: Parte da vertente esquerda na porção Sudeste da BHCY .....	53
Figura 13: Pedreira na parte Norte da BHCY.....	53
Figura 14: Vista Panorâmica da BHCY a partir do Mirante do Morro do Imperador. ....	55
Figura 15: Unidades de mapeamento Geológico da Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung. ....	57
Figura 16: Compartimentação do relevo na Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung.....	62
Figura 17: Distribuição das Classes de Declividade na Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung .....	65
Figura 18: Representação da Altimetria da BHCY .....	65

Figura 19: Solos presentes na Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung.....	67
Figura 20: Exemplo de Perfis das Unidades de Mapeamento encontradas.....	71
Figura 21: Área Mapeada como Neossolo Litólico na porção extremo norte da BHCY..	72
Figura 22: Área da Pedoforma de Fundo de Vale com o Gleissolo Háptico.....	73
Figura 23: Média das séries Precipitação Média x Temperatura Média (1980 - 2011). ...	74
Figura 24: Imagens utilizadas para os mapeamentos de uso e ocupação da terra para os anos de 1968, 1983 e 2010 para a Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung..	77
Figura 25: Classes de Uso e Cobertura da Terra identificadas para os mapeamentos. ....	80
Figura 26: Modelo digital de elevação e Declividade modelo digital de elevação para a Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung.....	82
Figura 27: Proporcionalidade de Escorregamentos na BHCY .....	85
Figura 28: Módulo SINMAP em Ambiente de Trabalho ARCGIS .....	87
Figura 29: Fluxograma de Funcionamento do Módulo SINMAP 2.0.....	88
Figura 30: Imagens referentes a ocupação da BHCY em 1968.....	96
Figura 31: Uso e Ocupação da Terra na BHCY no ano de 1968. ....	97
Figura 32: Área de Saibreira.....	98
Figura 33: Área plana da BHCY já com consolidação de áreas edificadas .....	101
Figura 34: Uso e Ocupação da Terra na BHCY no ano de 1983 .....	103
Figura 35: Uso e Ocupação da Terra na BHCY no ano de 2010 .....	105
Figura 36: Áreas Edificadas na BHCY após o ano de 2010.....	106
Figura 37: Áreas Edificadas na BHCY (anteriores ao ano de 2010).....	107
Figura 38 Áreas Edificadas na BHCY (anteriores ao ano de 2010).....	108
Figura 39: Propriedade Rural com cultura de Hortaliças voltadas ao comércio. ....	109
Figura 40: Nova área de Agriultura presente na BHCY a partir do mapeamento de 2010. ....	109
Figura 41: Propriedade com atividades rurais indiferenciadas.....	110
Figura 42: Área com diversos usos na BHCY.....	111
Figura 43: Classes de áreas Edificadas em função das declividades permitidas e não permitidas pela legislação para o ano de 1968. ....	114
Figura 44: Classes de áreas Edificadas em função das declividades permitidas e não permitidas pela legislação para o ano de 1983. ....	116
Figura 45: Classes de áreas Edificadas em função das declividades permitidas e não permitidas pela legislação para o ano de 2010. ....	118

Figura 46: Gráfico referente à evolução das áreas passíveis de ocupação (Cinza), a das áreas não passíveis de ocupação (Preto).....	119
Figura 47: Área urbanizada da bacia mostrando a grande ocupação das áreas de planície e a ocupação em direção às encostas e parte dos topos dos morros.....	120
Figura 48: Mapa de Estabilidade de Encostas da Bacia do Yung .....	123
Figura 49: Gráfico da Área de Contribuição ( <i>Contributing area</i> ) versus Declividade ( <i>Slope</i> ).....	125
Figura 50: Área de Concentração de Cicatrizes na BHCY .....	126
Figura 51: Exemplo de recuo das vertentes, processos erosivos e de movimentação de massa. ....	127
Figura 52: Ocupações de Imóveis em áreas de alta instabilidade à instáveis.....	128
Figura 53: Forte entalhamento do canal fluvial, mostrando o grande potencial de suavização das vertentes, e possíveis ocorrências de movimentos de massa na BHCY. ....	129
Figura 54: Imagens referente as porções Estáveis, Moderadamente Estáveis e Pouco Estáveis apontadas pelo modelo SINMAP. ....	130
Figura 55: Mapeamento de Áreas de Risco da BHCY para o ano de 1968 .....	133
Figura 56: Esquina da Rua Ângelo Biggi com Diva Garcia no Bairro Linhares em Dezembro de 1963.....	135
Figura 57: Visão para a rua Vitorino Braga (alinhamento de casas no centro da imagem), com visão para parte dos Bairros Grajaú e Vitorino Braga (Imagem da década de 1960).. .....	135
Figura 58: Mapeamento de Áreas de Risco da BHCY para o ano de 1983 .....	137
Figura 59: Visão para Rua Vitorino Braga, Rua e Igreja Nossa Senhora do Líbano. ....	139
Figura 60: Mapeamento de Áreas de Risco da BHCY para o ano de 2010 .....	141
Figura 61: Área de Risco Muito Baixo e novas áreas de Risco Baixo.....	142
Figura 62: Áreas de Risco Muito Baixo ligadas às áreas de vegetação mista e arborea. ....	142
Figura 63: Distribuição das classes de Risco na BHCY.....	143
Figura 64: Distribuição das Classes de Risco Médio a Muito Alto na BHCY para o ano de 2010. ....	144
Figura 65: Gráfico de Evolução das Áreas de Risco entre 1968, 1983 e 2010 .....	146



## SUMÁRIO

<b>1 - INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>2 – OBJETIVOS</b> .....	<b>20</b>
2.1 – OBJETIVO GERAL .....	20
2.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
<b>3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>21</b>
3.1 - DINÂMICA EXÓGENA: INTEMPERISMO NO MEIO TROPICAL E A SUA DINÂMICA NOS MOVIMENTOS DE MASSA.....	21
3.1.1. - MOVIMENTOS DE MASSA .....	23
3.2 – RISCO AMBIENTAL .....	28
3.3 - A ABORDAGEM SISTÊMICA E SUA CORRELAÇÃO COM A MODELAGEM DOS SISTEMAS AMBIENTAIS .....	32
3.3.1 - SISTEMA: CONCEITOS E CLASSIFICAÇÕES .....	34
3.3.2 - INTERRELAÇÕES ENTRE A MODELAGEM E O DESENVOLVIMENTO DOS SISTEMAS AMBIENTAIS .....	38
3.4. MODELOS DE PREVISÃO DE MOVIMENTOS DE MASSA.....	42
<b>4. ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>52</b>
4.1. ASPECTOS GEOLÓGICOS .....	56
4.2. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	59
4.2.1 – QUADRO REGIONAL .....	59
4.2.2 – QUADRO LOCAL .....	60
4.3. DECLIVIDADE E ALTIMETRIA .....	64
4.4. ASPECTOS PEDOLÓGICOS.....	66
4.5. ASPECTOS CLIMÁTICOS .....	73
<b>5 - MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>75</b>
5.1 - MATERIAIS .....	75
5.1.1 – MAPEAMENTO DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA.....	76

5.1.2 - MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE) E DECLIVIDADE DO TERRENO .....	81
5.1.3 - PARÂMETROS DE ENTRADA DO MODELO SINMAP .....	82
5.1.4 - CICATRIZES DE ESCORREGAMENTOS .....	84
5.2 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	86
5.2.1 – ARCGIS .....	86
5.2.2 – MODELO SINMAP 2.0.....	86
5.2.3 – ANÁLISE DA LEGISLAÇÃO PARA USO E PARCELAMENTO DO SOLO .....	88
5.2.4 – ANÁLISE DE RISCOS .....	89
<b>6 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>93</b>
6.1 – CARTAS DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA .....	93
6.1.1 – CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA (1968).....	94
6.1.2 – CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA (1983).....	99
6.1.3 – CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA (2010).....	104
6.2 – INCONGRUÊNCIAS DE USO, OCUPAÇÃO E PARCELAMENTO DO SOLO NA BHCY A PARTIR DA INTERPRETAÇÃO DA LEGISLAÇÃO DE PARCELAMENTO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	112
6.2.1 – OCUPAÇÃO E PARCELAMENTO DO SOLO NA BHCY A PARTIR DA INTERPRETAÇÃO DA LEGISLAÇÃO DE PARCELAMENTO E OCUPAÇÃO DO SOLO (1968).....	112
6.2.2 – INCONGRUÊNCIAS DE USO, OCUPAÇÃO E PARCELAMENTO DO SOLO NA BHCY A PARTIR DA INTERPRETAÇÃO DA LEGISLAÇÃO DE PARCELAMENTO E OCUPAÇÃO DO SOLO (1983).....	115
6.2.3 – INCONGRUÊNCIAS DE USO, OCUPAÇÃO E PARCELAMENTO DO SOLO NA BHCY A PARTIR DA INTERPRETAÇÃO DA LEGISLAÇÃO DE PARCELAMENTO E OCUPAÇÃO DO SOLO (2010).....	117
6.3 – ÍNDICE DE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS.....	122
6.4 – ÁREAS DE RISCO: CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE.....	131
6.4.1 – ÁREAS DE RISCO: CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE PARA O ANO DE 1968.....	132
6.4.2 – ÁREAS DE RISCO: CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE PARA O ANO DE 1983.....	136

6.4.3 – ÁREAS DE RISCO: CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE PARA O .....	140
ANO DE 2010.....	140
<b>7 – CONCLUSÕES.....</b>	<b>147</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: .....</b>	<b>150</b>

## 1 - INTRODUÇÃO

Os movimentos de massa são processos naturais que constantemente ocorrem e remodelam a superfície terrestre. A ocorrência destes processos em encostas tem sido uma grande preocupação para a sociedade há muito tempo. Tais processos causam vários danos em estradas, pontes e casas, e, se ocorrerem rapidamente, podem causar perda de vidas humanas e causarem inúmeros prejuízos econômicos. Portanto, a identificação de áreas perigosas (áreas de risco), associadas aos movimentos de massa, constitui um importante componente geomorfológico na gestão de desastres e uma base importante para promover a ocupação humana de forma segura e a proteção ambiental das encostas (SCHEIDEGGER, 1984; REGMI et. al., 2010).

Em grande parte, os escorregamentos estão presentes nas regiões montanhosas e serranas em várias partes do mundo, e com a recente intensificação das mudanças de uso da terra elevou o número de ocorrências destes processos. As características inerentes aos escorregamentos são: intervalos de curta duração (de algumas horas, até poucos dias para o evento acontecer); dependem em grande parte de eventos climáticos extremos de curta duração (chuvas de grande pluviosidade), no caso dos Trópicos Úmidos ; a saturação do solo - devido à acumulação de chuvas por vários dias no terreno o solo pode perder sua coesão interna - podendo provocar o rompimento do talude; abalos sísmicos, que podem afetar a ocorrência deste tipo de processo; e a atividade humana pode ser outro fator agravante, quando estabelecida em áreas desfavoráveis à instalação residencial e/ou industrial.

Nota-se, portanto, que existem muitos fatores ambientais relacionados aos campos: da geologia, geomorfologia, topografia e uso da terra que podem atuar como fatores condicionante ou de indução a ocorrência dos escorregamentos. Nesse sentido, as ferramentas para manipulação e análise de dados espaciais (ou seja, os Sistemas de Informação Geográfica, ou SIGs) facilitam a aplicação de técnicas quantitativas em mapeamento e avaliação de risco de escorregamentos. Em termos de métodos na

avaliação de risco<sup>1</sup>, eles podem ser classificados em: geológicos, geotécnicos, hidrológicos, modelagem geofísica e abordagem estatística (GAPRINDASHVILI et. al., 2014).

Portanto, a disponibilidade de mapas de risco à ocorrência de escorregamentos é essencial para: identificar áreas potenciais à perdas causadas por esse tipo de processo; e, possibilitar a diminuição do impacto sobre as sociedades que vivem próximas a essas áreas. Logo, um dos primeiros passos seria a elaboração de um mapa de previsão à escorregamentos, indicando a probabilidade relativa do terreno para a ocorrência do mesmo (MARTHA et. al., 2013).

Logo, estes produtos cartográficos são ferramentas necessárias para engenheiros, geólogos, geógrafos, planejadores e gestores para selecionar locais apropriados para o desenvolvimento da agricultura, construção e outras atividades humanas. Diante disso, é possível notar um crescimento no número de publicações perante o interesse em mitigar os impactos negativos causados por esses eventos. No artigo apresentado por Gutiérrez et. al. (2010) é mostrado, através de um gráfico, como que o número anual de trabalhos sobre escorregamentos publicados em revistas internacionais no período entre 1945-2008 aumentou, e da mesma forma mostra com que o número de eventos de deslizamentos prejudiciais no mundo cresceu no mesmo período. Neste trabalho o autor faz um ajuste exponencial do nº de eventos ao longo dos 60 anos de publicações, o valor salta de 3 eventos registrados (em 1945) para cerca de 27 eventos em 2008.

Nesse sentido, apesar dos escorregamentos serem processos naturais e isentos de classe econômica, o impacto dos riscos geomorfológicos é altamente relacionado ao desenvolvimento econômico dos países. Uma grande parte das vítimas, relacionadas a esses eventos, ocorrem em países desfavorecidos economicamente, considerando que os países mais desenvolvidos apresentam a maior parte das perdas econômicas geradas por estes processos. Portanto, deve-se ressaltar que o elevado número de pequenos a médios escorregamentos, que ocorrem em diversas partes do mundo, normalmente geram custos maiores para a sociedade do que os de eventos catastróficos de alta magnitude, que ocorrem mais raramente. As perdas devido a esses eventos de magnitude baixa e alta frequência estão aumentando devido às atividades humanas (GUTIÉRREZ et al., 2010).

---

1 - O risco é aqui entendido como a probabilidade de consequências prejudiciais, ou danos esperados (morte, ferimentos a pessoas, prejuízos econômicos etc.) resultantes da interação entre perigos naturais ou induzidos pela ação humana e as condições de vulnerabilidade (UN-ISDR, 2004).

Destacando o que foi colocado, Gorsevski et. al. (2006, p.178-179) fazem uma compilação de várias informações e apresentam:

Nos EUA, esses eventos (escorregamentos) causam um custo econômico médio anual estimado de US\$ 1,5 bilhões. No Japão, as perdas anuais são algo em torno de US\$ 2 bilhões e na Itália, as perdas chegam a mais de US\$ 2,6 bilhões. Em todo o mundo, no século XX, o continente asiático tem experimentado a maioria dos eventos de escorregamentos de grande magnitude (220 relatados), as Américas relataram as maiores perdas humanas e os maiores números de feridos (mais de 25.000 somados), enquanto a Europa teve o maior dano médio por evento único (US\$ 23 milhões).

Em um contexto nacional, no Brasil, devido às condições climáticas e grandes extensões de maciços montanhosos, grandes desastres estão ligados aos escorregamentos. Dentre os meios físicos da paisagem brasileira, aquele que mais sofre com estes eventos é o domínio de “mares de morros”. Neste ocorrem fortes processos de erosão e escorregamentos, devido à decomposição de rochas cristalinas e ao controle morfotectônico (área de juntas e falhas). Isto o torna um meio físico complexo e difícil em relação às construções e ações humanas (FERNANDES & AMARAL, 1996; AB’SÁBER, 2012). É destacado por Torres, Marques Neto e Menezes (2012) que importantes compartimentos geomorfológicos regionais, como a Serra da Mantiqueira, a Serra do Mar e seus prolongamentos interioranos, como a Serra dos Órgãos, no Rio de Janeiro e de Paranapiacaba, em São Paulo, tem nos escorregamentos o componente que mais influencia na evolução das encostas. Para exemplificar o quão catastrófico podem ser estes processos, Listo e Vieira (2012) mostram em seu trabalho o número de vítimas fatais em função dos escorregamentos em encostas entre os anos de 1988 e 2010 no Brasil. No artigo eles apresentam que nos anos de 1988, 1996 e 2008 são aqueles que as perdas humanas chegaram a pouco mais de 200 pessoas, e no ano de 2010 (com as chuvas intensas que assolaram a região sudeste) 500 pessoas morreram devido aos escorregamentos em encostas. Em geral, nos demais anos, esse número variou entre 50 e 100 pessoas/ano.

Assim, a região sudeste (especificamente, Minas Gerais), devido ao seu histórico de uso e ocupação, sofreu diversas transformações em seu equilíbrio, dando origem a inúmeras cidades que impactaram os meios naturais. Através da ocupação desordenada de planícies e encostas, o quadro de risco se agravou. Isso não é diferente no município de Juiz de Fora, localizado na Zona da Mata Mineira.

Neste mesmo município, um local com potencial de risco ambiental segundo a PJJ (2004), é a Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung (BHCY). Além de ser a bacia

hidrográfica com maior ocorrência de escorregamentos, possui outros processos, como a erosão concentrada e laminar, desencadeados pela ação antrópica sobre o meio. Exemplos são os casos de: desmatamento voltado à pastagem, e/ou atividades relacionadas à agricultura e mineração; corte e/ou aterro de encostas - feitos de forma inadequada.

Na BHCY, existem várias áreas de risco que se somam à precariedade das condições de vida da população. O baixo padrão de habitação, a invasão de terrenos públicos e particulares e a poluição de córregos estão entre os problemas enfrentados por esta área. Tal bacia possui morros – sujeitos à escorregamentos, e áreas sujeitas às inundações, que ocorrem, principalmente, devido à inexistência de correta captação das águas pluviais, crescente impermeabilização do solo e o assoreamento do Córrego Yung (PJF, 2004).

A organização do espaço geográfico no pequeno território drenado pelo córrego Yung respaldou a criação de um cenário excludente, o qual é caracterizado por problemáticas formas de ocupação e usos da terra que imprimem à região severas agressões ambientais. Tal quadro crônico de desequilíbrio exemplifica, de uma maneira concreta, a diversidade de interesses que direciona investimentos para um lugar em detrimento de outro, ou seja, uma expansão urbana sem planejamento que traz como consequência direta uma situação caótica aos sistemas viário e de esgotamento sanitário. Também afetou outros vários equipamentos urbanos necessários para que os bairros envolvidos tenham melhores condições para abrigar um contingente populacional significativo. Além disso, a falta de alternativas habitacionais via mercado privado ou via políticas públicas é o motor que respalda a ocupação ilegal e predatória da região, por meio dos grupos sociais excluídos (RINCO, 2007).

Portanto, no sentido de buscar uma rapidez e maior detecção nesses quadros de risco, as ferramentas para manipulação e análise de dados espaciais (ou seja, softwares de geoprocessamento) facilitaram a aplicação de técnicas em mapeamento de uso e ocupação da terra (através de sensores imageadores e levantamentos aerofotogramétricos), avaliação de áreas com risco em bacias hidrográficas. Adicionado a isso, a elaboração de modelos - baseados em leis físicas da natureza, possibilita prever mudanças no quadro ambiental que possam ocorrer em escala de tempo histórica, e outros mecanismos como a introdução de leis que regulem e limite a ocupação urbana em áreas perigosas para a população.

## **2 – OBJETIVOS**

### **2.1 – OBJETIVO GERAL**

- Pesquisar o quadro evolutivo das áreas de risco na BHCY, associado aos processos de escorregamentos em encostas para os anos de 1968, 1983 e 2010;

### **2.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Classificar o uso e a ocupação da terra para os períodos de 1968, 1983 e 2010, a fim de estabelecer as áreas onde houve expansão urbana em conformidade com a legislação de parcelamento e uso do solo;
- Produzir e validar um modelo classificatório de probabilidade a ocorrência de escorregamentos para a BHCY;
- Compreender a dinâmica as áreas de risco na BHCY e a sua evolução desde 1968 passando por 1983 até 2010;



### **3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A fim de embasar a proposta apresentada, neste capítulo serão abordadas temáticas que abarcam discussões relacionadas à dinâmica exógena como constituinte da origem/dinâmica/evolução dos movimentos de massa, a importância dos estudos de risco e como que os movimentos de massa se inserem dentro dessa abordagem, a abordagem sistêmica nos estudos da Geografia Física e sua correlação com os modelos ambientais. Assim, torna-se possível compreender o processo (movimentos de massa), identificar os fatores (causas do processo), para assim situar as possíveis áreas que estejam sujeitas a riscos ambientais. Isso tudo com o auxílio de ferramentas derivadas de uma abordagem integradora, que são os modelos de sistemas ambientais.

#### **3.1 - DINÂMICA EXÓGENA: INTEMPERISMO NO MEIO TROPICAL E A SUA DINÂMICA NOS MOVIMENTOS DE MASSA**

Desde a sua formação, a Terra passou (e passa) por inúmeras atividades originárias das forças internas como processos de vulcanismo e o tectonismo – estes processos são relativos à dinâmica interna e estão relacionados com a tectônica (forças: compressivas, extensionais e cisalhantes), e/ou com o magmatismo (extrusão do material mantélico sobre a crosta terrestre e intrusão com a formação de dobras e dique). Tais processos se integram com os de caráter exógeno, ou seja, atividades relacionadas à dinâmica externa como os processos de intemperismo físico e químico. Estas atividades modelaram e modelam a superfície, permitindo uma diversidade de características presentes nas paisagens que compõem o globo terrestre, pois são geridas pelas condições atmosféricas e tectônicas predominantes em cada região. Portanto, estes processos (climáticos e tectônicos) agem sobre o arranjo estrutural das rochas por meio das reações de intemperismo que são responsáveis por processos de alteração e geração de coberturas superficiais que promovem a esculturação do relevo.

Conforme foi ressaltado, o intemperismo<sup>2</sup> baseia-se nas modificações físicas e químicas e biológicas das rochas expostas na superfície terrestre. Porém, é importante diferenciá-los: o primeiro se baseia na desagregação mecânica, sem alteração química dos minerais da rocha; o segundo consiste na quebra da estrutura química dos minerais da rocha. Portanto, o grau de efetividade dos processos intempéricos depende: do tipo de rocha, do clima presente, da cobertura vegetal, da topografia e do tempo da ação química. (BIGARELLA, 1994).

No meio tropical<sup>3</sup>, devido às condições climáticas, o processo de decomposição ocorre aceleradamente nas rochas cristalinas dos maciços montanhosos. Isto porque apresentam em sua composição, minerais mais susceptíveis à alteração química. As rochas básicas – que também são silicatos – de cor escura são atacadas mais rapidamente, devido à maior presença de minerais ferromagnesianos que se degradam velozmente através do mecanismo de hidrólise<sup>4</sup>, podendo ocorrer uma erosão diferencial devido à composição mineralógica da rocha. Porém, o oposto ocorre, em geral, com rochas com maior presença de sílica (SiO<sub>2</sub>), nessas o intemperismo químico é praticamente nulo por se tratar de um mineral extremamente resistente à este tipo de decomposição (PRESS et al., 2006).

Portanto, as estruturas cristalinas das rochas (mineralogia) e suas relações com o intemperismo estão diretamente interligadas com a dinâmica dos processos decorrentes no subsistema vertente – considerando a bacia hidrográfica como um sistema que abarca este – ou seja, o estudo de estabilidade de encostas está diretamente relacionado com os agentes intempéricos na sua interface rocha-solo-relevo. Isso mostra o quão complexa são inter-relações no campo dos estudos de estabilidade de encostas. Tais fenômenos afetam as obras humanas, direta e indiretamente, causando a perda de vidas e bens, assoreiam com seu material os reservatórios e canais fluviais.

---

2 - Processo de desagregação das rochas, pode ocorrer fisicamente (que não mudam a sua composição química nem na estrutura cristalina) e quimicamente (quando os minerais da rocha são alterados ou dissolvidos pela ação da água) (OLIVEIRA & BRITO, 1998; PRESS, et. al., 2006)

3 - O meio tropical é considerado aqui como um meio que possui umidade de 65% em pelo menos seis meses do ano, temperatura mínima de 18°C no mês mais frio do ano - desconsiderando as terras altas (highlands); com precipitações anuais em torno de 600mm; e presença de formações florestais (úmidas, semidecíduas e savanas) (FANIRAN & JEJE, 1983).

4 - Baseia-se na reação química entre o mineral e a água, isto é, entre os íons H<sup>+</sup> ou OH<sup>-</sup> da água e os íons do mineral. A água, neste processo, não constitui apenas um solvente dos reagentes, mas é igualmente um deles (OLIVEIRA & BRITO, 1998).

Por serem eventos que afetam obras e vidas humanas, os movimentos de massa possuem um recorte temporal. A partir da concepção de Ab'Sáber (1969)<sup>5</sup>, é possível situar os movimentos de massa no 3º nível de abordagem. Este nível trata dos estudos da dinâmica atual, é possível situá-los neste nível de abordagem, pois são caracterizados pelo comportamento não habitual do clima, na qual as intervenções humanas nos solos respondem por complexas e sutis variações na fisiologia de uma determinada paisagem.

Nesse sentido, é necessário que haja compreensão de como são definidos os movimentos de massa, os seus agentes deflagradores e os tipos existentes. Para uma melhor compreensão de como estes processos ocorrem no meio tropical e como eles estão interligados com a presença de áreas de risco em encostas do Brasil Tropical úmido da Região Sudeste (Regiões Serras da Mantiqueira Setentrional).

### **3.1.1. - MOVIMENTOS DE MASSA**

Os movimentos de massa são definidos como um movimento coletivo que desloca para baixo e para fora o material presente na encosta, ou seja, consistem na remoção e transporte, vertente abaixo, das formações superficiais e/ou do material rochoso sob influência da gravidade. Esta definição exclui falhas de empurrão de grande escala, e também detritos transportados em outro meio, como a água ou o gelo (RADBRUCH-HALL & VARNES, 1976).

Em geral, ocorrem em locais de litologia friável e/ou camadas superpostas ou justapostas de diferentes graus de coesão, com espesso manto de intemperismo e situados em relevo com declividades acima de 20°. São resultantes do coluvionamento, ou seja, remoção por transporte gravitacional de materiais extraídos de áreas mais elevadas e conduzidos para os níveis mais rebaixados das vertentes (IBGE, 2009; OLIVEIRA, 1972).

O escorregamento e o fluxo desses materiais devem-se à posição de instabilidade na vertente, e às forças gravitacionais, mas o movimento de massa se intensifica pela atuação da água. Esses movimentos mudam a paisagem (a depender da intensidade e da relação área alterada/área total decorrente) pelas cicatrizes deixadas nas vertentes, quando

---

5 - AB'SÁBER, A. N. Um conceito de Geomorfologia a Serviço das Pesquisas Sobre o Quaternário. **Geomorfologia**. n. 18. São Paulo, 1969. p. 1 - 19

grandes massas de material caem ou deslizam encosta abaixo, deixando seus depósitos (IBGE, 2009.; PRESS et. al., 2006).

Para Bigarella (2003, apud IBGE 2009), as condições que propiciam os movimentos de massa variam de acordo com:

- ✓ Estrutura geológica;
- ✓ Declividade da vertente (forma topográfica);
- ✓ Regime de chuvas (em especial, os episódios pluviais intensos);
- ✓ Perda da vegetação;
- ✓ Atividade antrópica;
- ✓ Espessos mantos de intemperismo, além de;
- ✓ Presença de níveis ou faixas impermeáveis que atuam como planos de deslizamentos;

Dentre os diversos processos relacionados aos movimentos de massa, os mais comuns estão descritos no Quadro 1.

**Quadro 1:** Principais tipos de Movimentos de Massa, adaptado de Varnes (1978)

TIPO DE MOVIMENTO		TIPO DE MATERIAL		
		ROCHA	SOLOS	
			Predominantemente grossa	Predominantemente fina
QUEDA		Queda de Blocos	Queda de Detritos	Queda de Solos
TOMBAMENTO		Tombamento de Blocos	Tombamento de Detritos	Tombamento de Solos
ESCORREGAMENTOS	ROTACIONAL	Escorregamento de Rocha	Escorregamento de Detritos	Escorregamento de Solos
	TRANSLACIONAL			
DISPERÇÃO LATERAL		Dispersão de Rochas	Dispersão de Detritos	Dispersão de Solos
FLUXOS		Avalanche de Blocos	Fluxo de Detritos (rastejamento do solo)	Fluxo de Terra
COMPLEXO (Combinação de dois ou mais principais tipos de movimentos)				

Existem várias classificações, conforme destaca Zaidan (2006, p.12):

Dentre as diversas classificações existentes, uma das mais utilizadas internacionalmente até os dias de hoje, é a produzida por Varnes. No Brasil, é dada maior ênfase ao esquema proposto por Guidicini e Nieble, que dividem, de forma simplificada, os movimentos de massa em escoamentos (englobando rastejos e corridas) escorregamentos (translacionais e rotacionais), subsidências e movimentos complexos.

Portanto, diante das classificações apresentadas no quadro 1, será dada ênfase aos **ESCORREGAMENTOS** – foco deste estudo, que se restringem, aos **ROTACIONAIS** e **TRANSLACIONAIS**, de acordo com a classificação utilizada.

### **ESCORREGAMENTOS (*LANDSLIDES*)**

Os escorregamentos acontecem quando uma massa coesa do regolito se liberta e então desliza de acordo com a inclinação ao longo de uma superfície plana ou curva. A geometria da superfície de ruptura, ou de desprendimento, e, o grau ao qual o material deslizante permanece coerente, determina o tipo de escorregamento. Portanto, no movimento rápido de massa - de solo ou rocha, quando a superfície de deslizamento é curvada, o escorregamento é rotacional; e, quando a superfície de deslizamento é plana, o escorregamento é translacional. Tais processos são muito frequentes em encostas serranas brasileiras (GUIDICINI & NIEBLE, 1984; OLIVEIRA & BRITO, 1998).

Nesse sentido, entender as características do tipo específico de escorregamento é extremamente importante, pois através de medidas de planejamento ou mitigadoras é possível diminuir as perdas e/ou os danos. O tipo de escorregamento vai determinar também: a velocidade potencial do movimento, volume de deslocamento e distância percorrida (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

#### **A. ESCORREGAMENTOS ROTACIONAIS (*SLUMPS*)**

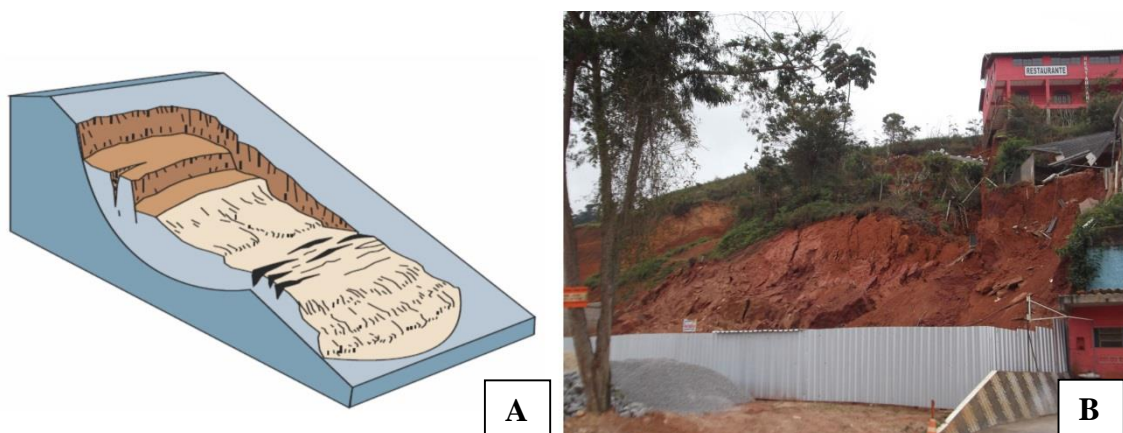
Estes movimentos ocorrem quando uma massa coesa do regolito se liberta de uma inclinação ao longo de uma superfície de ruptura que é côncava (em forma de colher) e o movimento de rotação é mais ou menos em torno de um eixo que é paralelo ao contorno da encosta (Figura 1). A massa deslocada pode, em algumas circunstâncias, mover como

uma massa relativamente coesa ao longo da superfície de ruptura com pouca deformação interna, e, podem ser extremamente lentos (menos de 0,3 metros a cada 5 anos) a moderadamente rápido (1,5 metros por mês). As inclinações mais comuns para esse tipo de movimento variam entre 20 a 40 graus (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

Além disso, como a massa se move para baixo, a inclinação ao longo da superfície de deslizamento gira para baixo, deixando na parte superior da encosta uma cicatriz em forma de uma lua crescente. No extremo oposto, no sopé da encosta, o material pode perder coesão e fluir lentamente descendo a encosta como um fluxo de terra.

Dentre os fatores que mais geram esses movimentos, Fernandes & Amaral (1996) e Highland & Bobrowsky (2008) destacam para a:

- Existência de solos espessos e homogêneos – comuns em encostas compostas por saprolitos originados de rochas argilosas como argilitos e folhelhos;
- Aumento do nível de água subterrânea devido ao enchimento de reservatórios;
- Aumento no nível de lagos e rios, que causam erosão na base das encostas;
- Diminuição rápida do nível do rio, após as inundações;
- Cortes na base das encostas (construção de estradas);
- Precipitação nival - quando derretida de forma rápida - pode levar à saturação das encostas e aumento dos níveis de água subterrânea dentro da massa; e;
- Indução por abalos sísmicos;

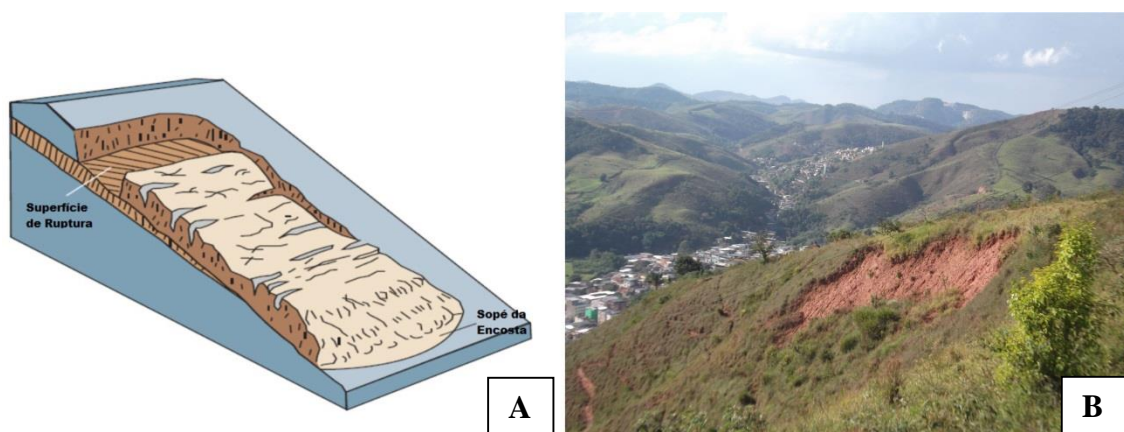


**Figura 1:** Esquema básico (A) de um Escorregamento Rotacional (à esquerda) - esquema modificado de Highland & Bobrowsky (op. cit.), e um exemplo (B) ocorrido no município de Lima Duarte – MG no ano de 2014 (à direita) – foto do acervo do próprio autor.

## B. ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS OU PLANARES

Em um movimento translacional a encosta se move mais ou menos paralelo ao ângulo de inclinação da encosta, sem rotação do material (Figura 2). Este tipo de escorregamento pode progredir ao longo de distâncias consideráveis, se a superfície de ruptura está suficientemente inclinada, ao contrário dos movimentos rotacionais (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008.; CHRISTOPHERSON, 2012).

Tais movimentos mostram-se como a forma mais comum entre os diversos tipos existentes. Estes possuem a face de ruptura com forma planar acompanhando (de modo geral) descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas existentes no interior do material. Os planos de fraqueza podem estar associados a processos geológicos (acamamentos, fraturas, e outros), geomorfológicos (depósito de encosta) ou pedológicos (contatos entre horizontes, solum/saprolito). Em declividades íngremes, o limite solum/saprolito torna-se o plano de escorregamento, sendo o contato solum-rocha o limite máximo de movimentos translacionais. Em alguns casos, quando o material na região do sopé da encosta se liquefaz, parte inferior do escorregamento translacional pode se transformar em um fluxo de terra. Os escorregamentos translacionais são, em geral, compridos e rasos, onde o plano de ruptura encontra-se, na maioria das vezes, em profundidades de 0,5m à 5,0m, porém o comprimento é muito maior em relação à profundidade. (SELBY, 1993; FERNANDES & AMARAL, op. cit.).



**Figura 2:** Esquema básico de um Escorregamento Translacional (à esquerda) - esquema modificado de Highland & Bobrowsky (op. cit.), e um exemplo ocorrido na Bacia do Yung (Juiz de Fora – MG) – foto do acervo do próprio autor.

### 3.2 – RISCO AMBIENTAL

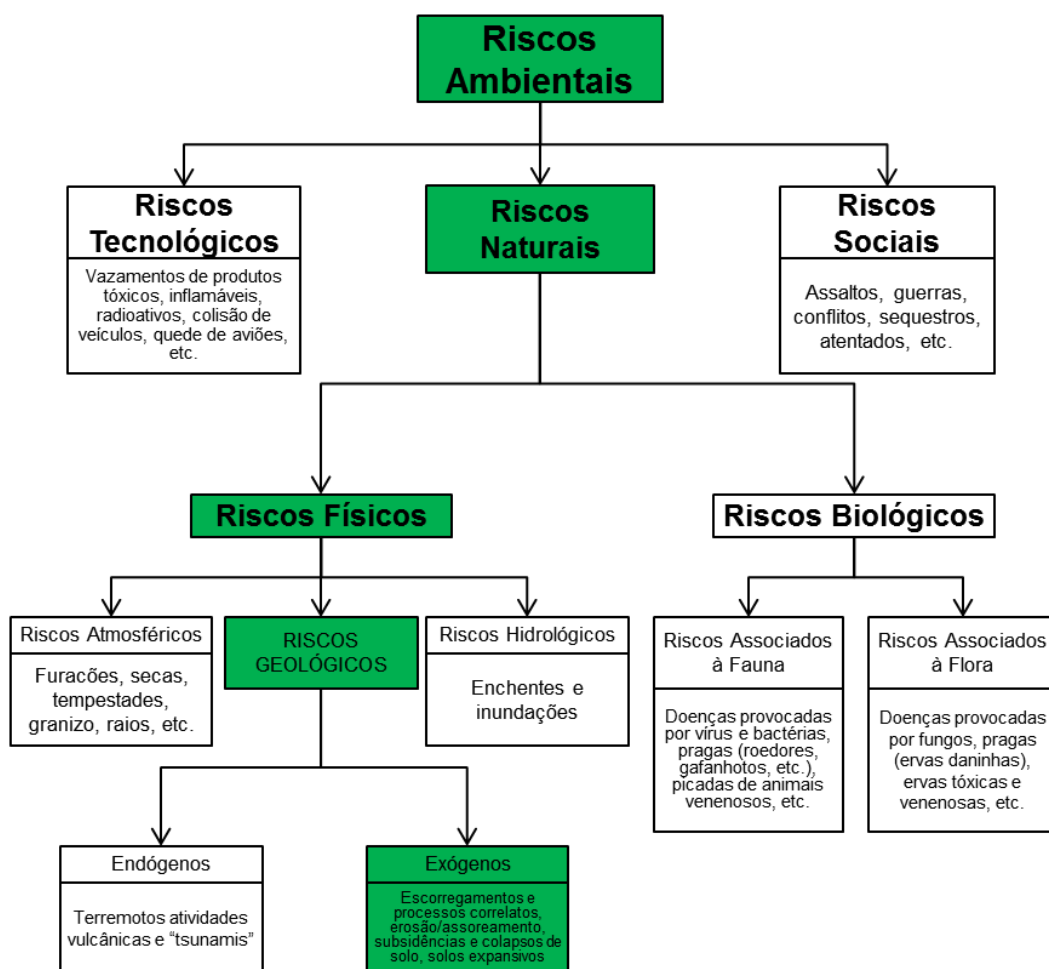
Conforme já foi colocado no item 3.1, A Terra é um sistema dinâmico e complexo, ou seja, está em constante modificação pela ocorrência dos fenômenos naturais (dinâmicas: interna e externa) e humanos (exploração de recursos naturais, uso e ocupação de espaços naturais). Nesse sentido, inúmeros desastres estão correlacionados com a resposta dos sistemas ambientais, e estes mesmos desastres põem em risco a vida humana, são eles: escorregamentos, erosões, colapsos, tornados, furacões, tempestades e estiagens.

No Brasil, a sua grande extensão territorial e magnitude espacial, possibilita um mosaico complexo e rico de paisagens do Mundo Tropical e parte Subtropical. Isso propicia uma grande diversidade paisagística. Grande parte das paisagens Brasileiras estão sob interferências de dois tipos de organizações: a natural e a humana. No caso dos “Mares de Morros” Florestados Ab’Sáber (2012) é a área com a maior decomposição de rochas cristalinas e processos de convexização intermontanos, presença frequente de solos sotopostos e precipitações que variam de 1100 e 1500mm podendo chegar entre 3000 a 4000mm. Em sua composição original, 85% da área apresentava florestas tropicais cobrindo a morfologia de morros. Nas áreas de “mares de morros” fica evidente a dificuldade em relação as ações antrópicas, pois as declividades acentuadas associadas aos solos espessos permitem que ocorram processos de escorregamentos, isto por sua vez prejudica a instalação e construção de residências, estradas e parques industriais de grande porte. Infelizmente, ainda há o desconhecimento sobre essas características por grande parte das pessoas que se instalam nesses locais para morar, mas isto está ligado ao “estrangulamento” que muitas cidades passam por não possuírem área mais planas para serem ocupadas, o que causa o deslocamento em direção às encostas mais íngremes.

Diante das diversas características apresentadas dos domínios de paisagens, é muito utilizado o termo **RISCO**, seja para designar “Risco de eliminação de um tipo de Paisagem”, “Áreas de Riscos” ou o “Risco de ocorrer uma catástrofe”. Portanto, de acordo com o que é proposto por este trabalho é importante compreendermos o que esse termo significa e qual é aquele que mais se adequa ao contexto do estudo em questão.



O termo **RISCO** pode ser considerado a probabilidade de consequências prejudiciais, ou perdas esperadas (mortes, ferimentos, propriedade, meios de subsistência, interrupção da atividade econômica ou deterioração do meio ambiente) resultados de interações entre as ameaças naturais ou antropogênicas e condições de vulnerabilidade. Existem diferentes formas de classificações de risco, e a sua abordagem vai variar em função da tipologia adotada. Neste caso, será dada ênfase nos riscos em função dos processos e dinâmicas da paisagem, ou seja, os riscos naturais, que por sua vez, estão inseridos dentro do grupo dos **Riscos Ambientais**. Na figura 3 está um esquema representativo que ilustra os principais tipos de riscos, e destaque (em verde) para aqueles associados aos movimentos de massa (CERRI & AMARAL, 1998; VEYRET, 2007).



**Figura 3:** Classificação de riscos, com destaque para os riscos de natureza geológicas, causados por dinâmica exógena (Cerri & Amaral, 1998).

Os Riscos Ambientais se baseiam em situações potenciais de perdas e danos ao homem, resultam da associação entre os riscos naturais e os riscos decorrentes de processos naturais agravados pela atividade humana e pela ocupação do território. Por

exemplo: A declividade natural (principalmente nas áreas mais íngremes) de uma encosta é um risco natural, mas a partir do momento em que essa encosta sofre acelerado processo de erosão do solo devido à retirada da vegetação (causada pelo homem), e não é utilizado técnicas conservacionistas, isso passa a ser um risco ambiental. Esta é a classe maior dos riscos, a qual é subdividida em classes e subclasses (CERRI & AMARAL, 1998; VEYRET, 2007).

Portanto, é importante incluir e compreender os diversos termos associados e utilizados na análise de risco ambiental (Quadro 2) e em específicos, os associados aos escorregamentos (IUGS Working Group – Committee on Risk Assessment, 1997).

**Quadro 2:** Termos e Definições utilizados nos estudos relacionados à risco ambiental.

<b>TERMO</b>	<b>DEFINIÇÃO</b>
Risco (Risk)	Uma medida da probabilidade e severidade de um efeito adverso para a saúde, propriedade ou ambiente. Risco é geralmente estimado pelo produto entre a probabilidade e as consequências. Entretanto, a interpretação mais genérica de risco envolve a comparação da probabilidade e consequências, não utilizando o produto matemático entre estes dois termos, para expressar os níveis de risco.
Processo Perigoso (Danger)	O fenômeno natural geometricamente e mecanicamente caracterizado (no caso, os fenômenos naturais seriam os diferentes tipos de escorregamentos).
Perigo (Hazard)	Uma condição com potencial para causar uma consequência desagradável. O perigo é a probabilidade de um evento de risco (por exemplo: escorregamento) ocorrer num dado período de tempo.
Elementos sob risco (elements at risk)	É aquela parcela que pode ser afetada por um evento perigoso, significa, portanto a população, as edificações e as obras de engenharia, as atividades econômicas, os serviços públicos e a infraestrutura.
Probabilidade – P (probability)	A probabilidade de um resultado específico, medida pela razão entre o número de resultados específicos e todos os resultados possíveis. A probabilidade é expressa como um número entre 0 e 1, com 0 indicando um resultado impossível, e 1 indicando que um resultado é certo.
Vulnerabilidade – V (vulnerability)	O grau de perda para um dado elemento ou grupo de elementos dentro de uma área afetada por escorregamentos, no caso. Ela é expressa em uma escala de 0 (sem perda) a 1 (perda total). Para propriedades, a perda será o valor da edificação; para pessoas, ela será a probabilidade de que uma vida seja perdida, em um determinado grupo humano que pode ser afetado pelos escorregamentos.
Análise de risco (risk analysis)	O uso da informação disponível para estimar o risco para indivíduos ou populações, propriedades ou o ambiente. As análises de risco, geralmente, contem as seguintes etapas: definição do escopo; identificação do perigo, e a determinação do risco.
Avaliação de risco (risk assessment)	O processo de avaliação e análise de risco
Estimativa do risco (risk estimation)	O processo usado para produzir uma medida do nível de risco das pessoas, das propriedades ou do ambiente que está sendo analisado. A estimativa de risco envolve as seguintes etapas:

	análise da frequência do acidente considerado; análise das consequências potenciais relacionadas ao acidente, e a integração entre elas.
Cálculo de risco (risk evaluation)	O estágio no qual valores e julgamentos entram no processo de decisão, explicitamente ou implicitamente, pela inclusão da consideração da importância dos riscos estimados e as consequências sociais, ambientais e econômicas associadas, com o objetivo de identificar o leque de alternativas de mitigação destes riscos.
Gerenciamento de risco (Risk management)	O processo completo de avaliação e controle de risco.
Risco Aceitável (acceptable risk)	Nível de risco para o qual nós estamos preparados para aceitá-lo como ele é, sem considerar seu gerenciamento. A sociedade geralmente não considera justificável gastos adicionais para redução destes riscos.
Risco Tolerável (tolerable risk)	Um risco que a sociedade está disposta a aceitar para viver com ele a fim de obter certos benefícios líquidos, na confiança que este risco está sendo propriamente controlado, mantido sob inspeção e que será reduzido quando possível.
Risco Individual (individual risk)	O risco de morte e/ou danos para qualquer indivíduo identificável que vive em uma zona exposta ao perigo, ou quem segue um padrão particular de vida que o submete a consequências deste perigo (de escorregamento, no caso).
Risco Social (societal risk)	O risco de múltiplos danos ou mortes para toda a sociedade, um risco no qual a sociedade poderá carregar o peso de um acidente causando várias mortes, injúrias, perdas financeiras, ambientais, etc.

Com um panorama de termos apresentados, suas concepções e atuações, eles refletem numa complexidade de fatores que estão envolvidos nos estudos relacionados aos riscos em encostas. O sistema encosta, ao sofrer modificações devido à interação com as ações humanas, passa a ter a sua dinâmica alterada indiretamente, onde os fluxos de matéria e energia podem vir a se comportar de maneira diferente. Caso o padrão de ocupação seja desordenado, ou seja, as habitações são construídas em declividades acentuadas, nas quais os mantos de intemperismo se rompem com facilidade (deflagrando os escorregamentos), isso poderá implicar num evento de perigo, onde as probabilidades do risco aumentam diante da associação dos fatores presentes no local.

Nesse sentido, a incorporação da abordagem sistêmica aos estudos de riscos em encostas, associados aos movimentos de massa é fundamental, pois ela retoma o caráter holístico destes eventos que estão encadeados em uma estrutura dinâmica e complexa, e que estão em constante mutação.

### 3.3 - A ABORDAGEM SISTÊMICA E SUA CORRELAÇÃO COM A MODELAGEM DOS SISTEMAS AMBIENTAIS

Em um passado, há cerca de dois séculos, os conteúdos científicos eram discutidos e propagados amplamente em “grandes áreas” do conhecimento. A partir do momento em que houve a proliferação do conhecimento e o desenvolvimento de distintas disciplinas e subdisciplinas no meio acadêmico, possibilitou a subdivisão da ciência em centenas de pequenos assuntos independentes, cada um trabalhado separadamente. Contudo, pesquisadores como Humboldt, estavam bem cientes da fragmentação do conhecimento e como que isso limitava a compreensão da “unidade harmoniosa do Cosmos”. Na Rússia durante os anos de 1870, o pedólogo Russo, Dokuchaev, lutou contra uma maior fragmentação, ao argumentar que, embora a ciência do século XIX tenha alcançado sucesso no estudo dos fenômenos e objetos individuais, ela (a ciência) tinha, como resultado, perdido a capacidade das inter-relações da natureza, o que para ele era "a maior beleza das ciências naturais" (HAIGH, 1985).

Portanto, é nesse sentido que durante o final do século XIX, surgem os primeiros enunciados na busca de uma compreensão sistêmica do comportamento dos elementos. As suas proposições começam a ganhar importância a partir do momento em que a física Newtoniana não conseguia explicar processos conservativos e dissipativos de calor, os quais deram origem aos estudos da Termodinâmica. Esta se tornou base para uma série de teorias e conceitos, que tomariam corpo alguns anos depois, tendo como prerrogativa o comportamento não-linear, evolutivo, probabilístico e por vezes caótico, ou seja, um comportamento sistêmico (VICENTE & PEREZ FILHO, 2003).

Bertalanffy (1968), no início do século XX, mostra a inquietação de alguns autores sobre tais entendimentos, entre eles: Kohler (1924)<sup>6</sup>, Lotka (1925)<sup>7</sup>, Whitehead<sup>8</sup> (1925) e

---

6 - KOHLER, W. **Die physischen Gestalten in Ruhe und im stationären**. Zustand, Erlangen, 1924.

7 - LOTKA, A. J. **Elements of Physical Biology**, (1925), New York, Dover, 1956.

8 - WHITEHEAD, A. N., **Science and the Modern World**, Lowell Lectures (1925), New York, The Macmillan Company, 1953.

Cannon (1929)<sup>9</sup>. Isso mostrou uma tendência para a rediscussão da ordem científica vigente. Nesse sentido, Bertalanffy, em um seminário de filosofia em Chicago no ano de 1937, trouxe para discussão uma tentativa de ordenação do conceito de Sistema. Porém, o meio acadêmico não demonstrava receptividade para estas ideias, pois a divisão da ciência através de suas especializações encontrava-se em pleno desenvolvimento. A proposta de Bertalanffy ganhou um maior alcance após a Segunda Guerra Mundial, através de sua obra “*General Systems Theory*” (a maior parte desta obra consiste em uma série de textos publicados entre os anos de 1950-1968), momento no qual ocorrem inúmeras modificações de ordem política, social, econômica e cultural, que obviamente trariam em seu conjunto uma influência direta nas bases da ciência. Porém, Alexander Bogdanov, 20 a 30 anos antes já publicara os primeiros artigos sobre esse assunto (CAPRA, 1996 apud TROPPEMAIR, 2006)

Ampliando suas especulações sob a proposição da Teoria Geral dos Sistemas (TGS), Bertalanffy assinalou a aplicabilidade e a abertura analítica que fornecia a Biologia e a Física. Portanto, esses aportes passaram a ser considerados como formulações básicas de uma doutrina com aplicabilidade universal, estabelecendo os princípios de uma ciência em renovação (CHRISTOFOLETTI, 1979).

A abordagem sistêmica foi integrada na Escola Americana de Geografia Física através dos estudos da Geomorfologia, porém já haviam outras inserções através das escolas Germânica e Eslava. Em um fragmento de seu artigo, Phillips (1992) relata como tal fato ocorreu:

“Geomorfólogos tem estudado processos superficiais da terra e as formas de relevo como um sistema dinâmico no sentido explícito, isso pelo menos desde que a teoria dos sistemas foi introduzida na disciplina por Strahler (1950; 1952). A abordagem dos sistemas dinâmicos foi ainda defendida por Chorley (1962) e Chorley e Kennedy (1971).” (PHILLIPS, 1992, p.219)

Neste aspecto, Christofolletti (1979) ressalta além dos trabalhos de Strahler (1950, 1952)<sup>10</sup>, alguns outros como: Culling (1957)<sup>11</sup> que estudou o equilíbrio de perfis

---

9 - CANNON, W. B., "Organization for Physiological Homeostasis," *Physiological Review*, 9 (1929), 397.

10 - STRAHLER, A.N. Equilibrium theory of erosional slopes, approached by frequency distribution analysis. *Am. J. Sci.*, 1950. 248: 673-696, 800-814.

\_\_\_\_\_. Dynamic basis of geomorphology. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 1952. 63: 923-938.

11 - CULLING, W. E. H. Multicyclic Streams and the Equilibrium Theory of Grade. *Journal of Geology*. 1957. 65 (3): 259-274

longitudinais de rios; Hack (1960)<sup>12</sup> que utilizou a ideia de sistemas abertos. Isso é confirmado quando Scheidegger, em 1992, faz a seguinte assertiva em relação à abordagem sistêmica na Geografia, principalmente em relação à Geografia Física, em específico à Geomorfologia:

“Durante os últimos 30 anos, a abordagem do sistema tornou-se muito popular na geomorfologia: todos os tipos de características geomorfológicas foram considerados como sistemas, e as regras da dinâmica de sistemas complexos e sinérgicos foram aplicadas a ele” (SCHEIDEGGER, 1992, p.217).

Por meio dos estudos sistêmicos, procurou-se entender a parte que cabe à Geografia na análise integrada entre os fluxos de matéria e energia dos sistemas ambientais. Portanto, a Teoria dos Sistemas se desdobrou em diversas outras orientações metodológicas aplicadas à Geografia e aos estudos geomorfológicos em particular, através da análise de bacias hidrográficas em incontáveis trabalhos, do estudo dos geossistemas. A concepção teórica da abordagem geossistêmica a partir das formulações de V. Sochava, considera o geossistema como um sistema natural que pode estabelecer conexões com o sistema socioeconômico (MARQUES NETO, 2012).

### **3.3.1 - SISTEMA: CONCEITOS E CLASSIFICAÇÕES**

O vocábulo “sistema” - apontado como um conjunto organizado de elementos e de interações entre os elementos - possui uso antigo e difuso no conhecimento científico (por exemplo: sistema solar). Em função de usar da analogia dos sistemas biológicos, o vocábulo foi absorvido em várias outras disciplinas, ganhando adaptações em sua abordagem. A partir da década de 1980 a abordagem passou a ser relacionada com os sistemas dinâmicos, desenvolvidos na física e na química. Porém, idealizar um conceito para o termo “sistema” não foi e não tem sido algo consensual na ciência, pois, são diversas perspectivas e experiências apresentadas por diferentes autores.

---

11 - HACK, J.T. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. *Am. J. Sci.*, 1960. 258-A: 80- 97.

De acordo com Amorim (2012), um dos primeiros a idealizar um conceito para sistema foi Hall e Fagen (1956)<sup>13</sup>, ao definir sistema como *“um conjunto de elementos e das relações entre eles e seus atributos”*. Para esse autor, é necessário apenas que haja funcionamento e relacionamento para caracterizar o sistema, pois ele considerava que qualquer conjunto de objetos que se relacionam no tempo e no espaço seria considerado um sistema.

Prosseguindo nessa busca conceitual, Amorim (2012) mostra que outro autor a definir sistema aplicando os princípios da objetividade e da funcionalidade dos sistemas foi Thornes e Brusden (1977)<sup>14</sup>. Estes definiram sistema como *“um conjunto de objetos ou atributos e as suas relações, que se encontram organizados para executar uma função particular”*. O conceito sugerido diverge da proposta de Hall e Fagen (1956), pois esta concepção leva em consideração que para se constituir um sistema, não é necessário apenas possuir um funcionamento e interação entre o conjunto de elementos e seus atributos, mas a existência de um objetivo ou finalidade.

Diante dessas perspectivas, um conceito que surge é o proposto por Chorley e Kennedy (1971). Eles apresentam o sistema como *“um conjunto estruturado de objetos e/ou atributos. Esses objetos e atributos consistem de 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”*.

Além destas propostas conceituais, Morin (1997) propõe definir o sistema *“como uma inter-relação de elementos que constituem uma entidade ou unidade global”*. Segundo o autor, uma definição deste tipo comporta duas características principais: a primeira é a inter-relação dos elementos; a segunda é a unidade global constituída por estes elementos em inter-relação – além de toda a complexidade envolvida.

Portanto, nos estudos em Geografia Física, foi necessário adotar um conceito que fosse capaz de abarcar a totalidade e complexidade do meio<sup>15</sup>. Diante disso, dentre os vários conceitos apresentados, um dos que mais se difundiu e passou a ser muito utilizado é o proposto por Chorley e Kennedy (1971). Isso porque é um conceito que consegue

---

13 - HALL, A. D.; FAGEN, R. E. **Definition of Systems**, *General Systems Yearbook*, 1: 18-26p. 1956.

14 - THORNES, J. B.; BRUNSDEN, D. **Geomorphology and Time**. Methuen & Co., Londres, 1977. 209p.

15 - O termo “meio” é considerado aqui como as relações entre os meios físicos e sociais e toda gama de complexidade que essa inter-relação apresenta.

abarcam a totalidade e complexidade apresentados por um sistema. E tal abordagem não se restringe apenas a inter-relação entre os elementos, mas sim nos reflexos mútuos que cada elemento gera entre si, e como que isso reflete em uma totalidade<sup>16</sup> que é complexa, e que pode ser considerada uma unidade, diante de um nível de grandeza. Um exemplo é o sistema bacia hidrográfica; Este sistema compreende uma totalidade dos sistemas vertente e canal fluvial, sendo que cada um desses “subsistemas” são unidades complexas, pois há uma série de interações que cada um gera entre si.

Portanto, tal abordagem dá conta desde o nível micro de abordagem (tipo de argila presente em um solo de uma vertente), até o nível macro da análise sistêmica (sistemas de vertente em uma bacia hidrográfica). Além disso, se caracteriza de forma dinâmica, pois cada unidade presente nesse sistema pode causar um *feedback*, ou seja, há o processo de retroalimentação que pode mudar a cadeia de processos vigentes e gerar um novo tipo de (des)equilíbrio nessa dinâmica sistêmica. Portanto, em um estágio máximo de entropia há a passagem de um estado de ordem para uma situação de desordem no sistema, isso provoca o rompimento do limiar de Resiliência<sup>17</sup> do sistema anterior.

Os sistemas podem ser classificados conforme critérios variados. No caso da análise ambiental, o critério funcional e o da composição integrativa são os mais importantes (CHRISTOFOLETTI, 1999). A partir do critério funcional, é possível distinguir os seguintes tipos de sistemas:

- **Sistemas Isolados:** São aqueles que não sofrem mais nenhuma perda de energia ou material do ambiente, a partir das condições iniciais de matéria e energia. Um exemplo disso é o Ciclo da Erosão de Davis, ou seja, a partir do momento em que um pulso tectônico modificaria a estrutura da paisagem, os agentes erosivos, através do tempo, levariam essa paisagem ao estágio de peneplanície, fazendo com que o sistema chegue ao estado máximo de entropia<sup>18</sup>.

---

16 - Christofolletti (1999) explicita as noções de Unidade, Totalidade e Complexidade de um Sistema em sua obra. Não significa que são objetos separados, eles podem ser qualquer uma das três formas, mesclando essas características, ou seja, um objeto pode ser uma unidade complexa, que ao mesmo tempo, pode ser uma determinada totalidade única.

17 - Definida como a capacidade de um sistema que foi perturbado retornar ao estado em que ele se encontra antes da perturbação ocorrer.

18 - Christofolletti (1980) coloca que a entropia pode ser considerada como energia disponível, em um sistema, para realizar trabalho. Quanto maior a entropia, menor a quantidade de energia disponível para o trabalho mecânico.



- **Sistemas não-isolados:** Mantêm relações com os demais sistemas do universo no qual funcionam, sendo subdivido em dois tipos:
  - a. **Fechados:** quando há troca de energia, mas não de matéria. Por exemplo, o sistema Terra que recebe energia solar, mas há troca de matéria (a não ser de forma insignificante, quase nula).
  - b. **Abertos:** São os sistemas nos quais ocorrem constantes trocas de matéria e energia. Os sistemas abertos são os mais comuns, por exemplo: bacia hidrográfica, vertente, homem, cidade, indústria e outros.

Nesse sentido, Chorley e Kennedy (1971) propondo uma complexidade de integração dos sistemas, apresentam uma classificação de onze tipos de sistemas, porém, para o campo de atuação da Geografia Física, são usados quatro tipos, são eles:

- **Sistemas Morfológicos (dados pelas formas):** Compostos pela associação de propriedades físicas dos sistemas e de seus elementos componentes (Por exemplo: Declividade, altura, largura, granulometria e etc...).
- **Sistemas em Sequência:** Combinado por uma cadeia de subsistemas, possuindo grandeza e localização espacial, relacionados por uma cascata de matéria e energia. Por exemplo: A água entra no sistema Vertente, que pode tanto infiltrar e ir para o lençol freático, e após isso pode ser absorvido pelas raízes da planta e promover o crescimento da mesma; ou essa mesma água pode escoar superficialmente e desaguar no canal fluvial;
- **Sistemas Processo-resposta:** Combinação de Sistemas Morfológicos e Sistemas em Sequência. A ênfase maior está em identificar as relações entre o processo e as formas que dele resultam. Por exemplo: A dinâmica meandrante dos grandes rios planície, que “mudam” os seus canais de lugar de acordo com os processos de erosão das margens, buscando gastar sempre a menor energia possível.
- **Sistemas Controlados:** São aqueles em que há controle do homem sobre os Sistemas Processos-Resposta, ou seja, a complexidade e dinâmica é aumentada devido à intervenção humana. Por exemplo, o desvio de um curso d’água em virtude do traçado de uma rodovia provoca a alteração da dinâmica natural daquele sistema vigente pretérito, resultando em um

rearranjo do sistema em busca de um novo equilíbrio para os canais a montante e a jusante de tal intervenção.

Portanto, os estudos dos diversos tipos de sistemas, o advento e incorporação da informática, possibilitaram a compilação de representações que simulassem uma “realidade” de um dado fenômeno. Essas representações são dadas através da modelagem dos sistemas ambientais.

### **3.3.2 – INTERRELAÇÕES ENTRE A MODELAGEM E O DESENVOLVIMENTO DOS SISTEMAS AMBIENTAIS**

As tecnologias utilizadas pelos geógrafos físicos em seus esforços para aprender mais sobre a Terra vieram mudando ao longo das décadas. Desde o final dos anos 1960 e início de 1970, os estudos de processos morfogenéticos vêm sendo direcionados para a construção de modelos capazes de prever mudanças de curto prazo nas formas de relevo, ou seja, mudanças que possam vir a acontecer em escalas de tempo humanas. Isso reflete um passo que veio a acrescentar mais capacidade analítica aos estudos através da abordagem sistêmica, pois com todo o aparato tecnológico, houve a possibilidade de tentar mensurar e prognosticar possíveis fenômenos. Deve ser levado em consideração que isso não substituiu a observação empírica, mas constituiu uma ferramenta adicional à disposição dos pesquisadores que analisam seus objetos de pesquisa a partir de uma visão sistêmica da natureza.

Para prever esses fatos, recorreu-se às habilidades de sistemas informatizados para capturar, processar, modelar e exibir dados espaciais, os quais permitiram a maior agilidade, manipulação e compilação de bancos de dados geográficos. Nesse sentido, a disponibilidade de computadores cada vez mais poderosos tem possibilitado o estudo de sistemas ambientais complexos, através de experimentos numéricos (BEVEN, 1996). Nesse aspecto, a modelagem de sistemas ambientais, pode ser considerada um ramo de continuidade dos estudos dos sistemas, ou seja, através da modelagem tem sido possível observar a dinâmica da atuação dos processos sobre as formas sem que haja o “congelamento” do sistema em estudo.

Mas, para compreender melhor a modelagem de sistemas ambientais é importante ressaltar a definição de Hagett e Chorley (1967; 1975)<sup>19</sup>, citado por Christofolletti (1999). Para os geógrafos ingleses, os modelos são “*representações em escala de um sistema, ou seja, os modelos são uma estrutura simplificada da realidade que apresenta, de forma generalizada, propriedades ou relações importantes. Os modelos são aproximações altamente subjetivas, por não incluírem todas as observações ou medidas associadas, mas são valiosos por obscurecerem detalhes acidentais e por permitirem o aparecimento dos aspectos fundamentais da realidade.*” Portanto, é possível assinalar que os modelos fornecem uma técnica de pesquisa respeitável, pois permitem a reprodução de fenômenos físicos complexos, e uma compreensão das interações dos processos a serem gerados através de representações visuais (mapas) e informativas (texto, tabela, quadros e outros) (GREEN, 2014).

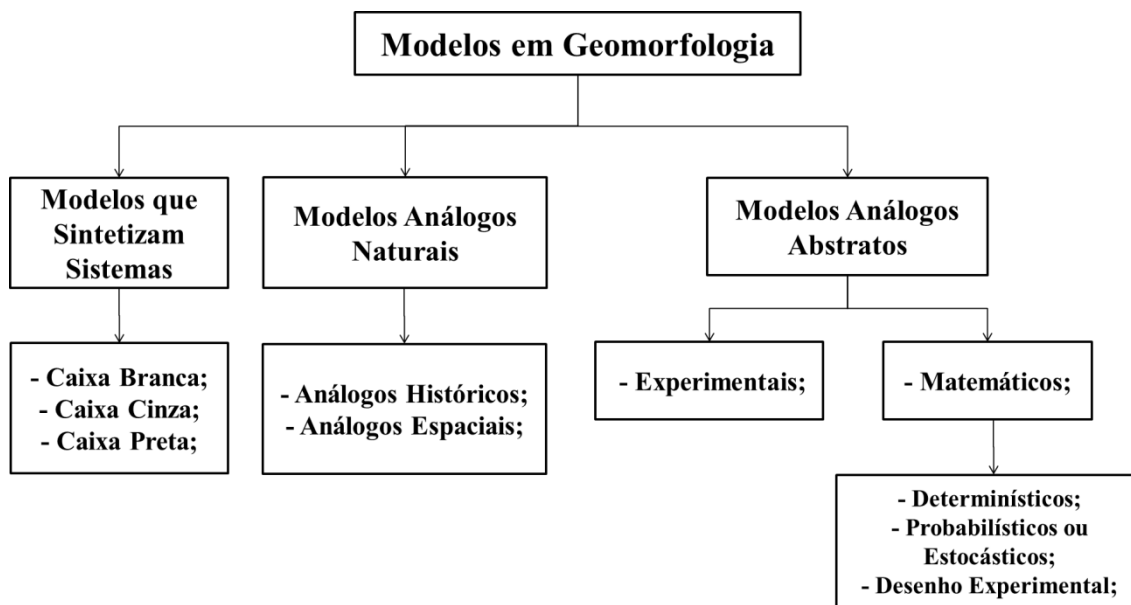
Dentre as áreas que mais se interessaram pela utilização da modelagem em sistemas ambientais foram a: engenharia do solo, no caso de estabilidade do talude; e, engenharia hidráulica nos casos de fluxo e arrastamento e deposição de sedimentos em rios. No entanto, alguns geomorfólogos, incluindo Michael J. Kirkby e D. Jonathan Phillips, têm sido referência no que tange à modelagem (HUGETT, 2007).

A respeito da modelagem dos ambientes, o desenvolvimento geomorfológico da paisagem e dos processos de erosão, deposição e intempéries, dependem do fluxo de água. Conseqüentemente, a modelagem de processos geomorfológicos deve, necessariamente, depender da modelagem de processos hidrológicos com todas as suas complicações da superfície e da subsuperfície. Por sua vez, a modelagem de processos em encostas deve, necessariamente, depender da forma da paisagem, com seu controle sobre caminhos de fluxo convergentes e divergentes, desenvolvimento de solo e vegetação. Essa interação entre os processos hidrológicos e geomorfológicos moldam a evolução da paisagem (BEVEN, op. cit.).

**MODELOS EM GEOMORFOLOGIA:** Neste tópico, foi utilizada a configuração explicitada por Christofolletti (1999), proposta originalmente por Chorley (1967) e Woldenberg (1985), onde se subdividiu em três categorias: Modelos que sintetizam Sistemas; Análogos naturais; e Análogos Abstratos. Além disso, as demais classificações oriundas de cada tipo de modelo estão representados na figura 4.

---

<sup>19</sup> - CHORLEY, R. J. Models in Geomorphology. In: CHORLEY, R. J & HAGETT, P. (Eds) **Models in Geography**. Londres, Methuen & Co, 59-96, 1967.



**Figura 4:** Esquema representativo dos diversos modelos presentes na Geomorfologia, e as suas diversas categorias de estudo. Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

- **Modelos que Sintetizam Sistemas:** Estes Modelos têm a finalidade de fornecer um quadro geral da totalidade do sistema, firmando o grau de conhecimento sobre as partes componentes, interações entre os elementos e o funcionamento entre os inputs e outputs do sistema. Além disso, seu objetivo é entender o sistema como um todo, ao invés de detalhar os elementos numa sequência encadeante dos processos envolvidos. Esses modelos podem ser abordados em três avaliações de complexidade:
  - a. **Caixa Branca** (tentativa para explicação completa do sistema);
  - b. **Caixa Cinza** (representa uma parte do sistema), e;
  - c. **Caixa Preta** (uma representação que não conhece os processos internos, portanto, é feita uma tentativa de compreensão do que ocorre entre o produto inicial e o resultado final).
- **Modelos Análogos Naturais:** Estes modelos buscam esclarecer determinada categoria de fenômenos ou sistemas, traduzindo seus aspectos supostamente importantes ou característicos por meio de uma representação analógica considerada mais simples, melhor conhecida ou sob um aspecto mais prontamente observável que as ocorrências da natureza. Esses modelos podem ser divididos em dois tipos:

- a. **Análogos Históricos:** onde o fenômeno em estudo é considerado como parte de uma sequência de eventos reais, individuais e inter-relacionados; e,
  - b. **Análogos Espaciais:** se baseiam na comparação com outras áreas consideradas de certa forma semelhantes, permitindo algumas generalizações no estudo.
- **Modelos Análogos Abstratos:** Tais modelos baseiam-se no ponto de vista de que a pesquisa tem possibilidade de ser melhorada pela análise estrutural do sistema envolvido na problemática focalizada na pesquisa, distinguindo as suas partes supostamente componentes, de maneira que o funcionamento de cada parte e as interações entre elas possam ser examinadas convenientemente, levando a uma possível organização completa dos componentes num todo funcional. Esses modelos são também denominados como correspondentes aos sistemas físicos – trabalhados em função da atividade mental de abstração a respeito da ordem da natureza, procurando estabelecer uma similaridade entre o modelo e a realidade. Podem ser classificados em duas categorias diferentes:
    - a. **Modelos Experimentais:** Fundamentam-se na construção de experimentos que simulem, de forma palpável, as características e a composição dos sistemas ambientais. Onde possam ser controladas as variáveis, a fim de compreender a dinâmica dos processos. As vantagens desse modelo são o alto grau de controle sobre as variáveis e a forma pelo qual o tempo pode ser comprimido.
    - b. **Modelos Matemáticos:** São abstrações que visam substituir objetos, forças, eventos e etc, por uma expressão que contem variáveis, parâmetros e constantes matemáticas. Essa expressão engloba um conjunto de idealizações dos diversos fenômenos naturais envolvidos em um determinado processo. Os modelos matemáticos podem, ainda, ser apresentados em três classes:
      - **Modelos Determinísticos:** Eles estão estruturados nas noções matemáticas clássicas de relações previsíveis entre variáveis independentes e dependentes. Esses modelos fundamentam-se no conhecimento dos processos físicos e químicos.

- **Modelos Probabilísticos ou Estocásticos:** São expressões que envolvem variáveis, parâmetros, constantes matemáticas, juntamente com um ou mais componentes aleatórios resultantes de flutuações imprevisíveis dos dados de observação ou da experimentação. Eles podem estar fundamentados em três caminhos diferentes para simulação: A simulação de Markov, a qual se baseia nos estados precedentes do sistema para simular o estado posterior; A simulação de Monte Carlo, o evento simulado é independente do evento anterior, e; Modelos de Otimização, que promovem a maximização ou minimização de alguma força ou critério.
- **Modelos de Desenho Experimental:** É construído a partir da referência a algum outro modelo sobre a natureza do problema. Para executá-lo coletam-se dados relevantes que sejam referentes à geometria e a dinâmica. Após esta etapa é montada uma matriz ou estrutura de dados, a qual é analisada por meio de técnicas de regressão.

### 3.4. MODELOS DE PREVISÃO DE MOVIMENTOS DE MASSA

Com o advento da informática, a partir da década de 50, e o avanço e a implementação de rotinas computadorizadas, otimizou-se a utilização de diversos modelos físicos em geografia, dentre tantos, foram também contemplados os que modelam a previsão para a ocorrência de movimentos de massa. Conforme ressaltado na introdução deste trabalho diversos modelos preveem esse tipo de processos, como por exemplo: TRIGRS, SHALSTAB, e também, um dos mais recentes nesse meio e já utilizado em diversos trabalhos, o SINMAP (Stability INDEX MAPping - Mapeamento de índice de estabilidade) (PACK, 2005), que foi utilizado para a análise da área de estudo abordada neste trabalho.

### 3.4.1 - SINMAP

O modelo SINMAP (*Stability INdex MAPping* - Mapeamento de índice de estabilidade), desenvolvida por Pack (2005) é um modelo análogo abstrato, matemático-estocástico, baseado no modelo do talude infinito, elaborado por Mohr-Coulomb, que define as tensões responsáveis pela desestabilização de uma porção do solo na encosta (por exemplo, Hammond et al, 1992;. Montgomery e Dietrich, 1994).

O SINMAP deriva sua classificação de estabilidade do terreno a partir de entradas de declive topográfico, área de abrangência específica e quantificação de parâmetros de propriedades do material (como força) e clima (principalmente parâmetro hidrológico de umidade). Cada um desses parâmetros é delineado em uma grade numérica sobre a área de estudo. A saída primária desta abordagem de modelagem é um índice de estabilidade - valor numérico que é usado para classificar ou categorizar a estabilidade do terreno em cada local de grade na área de estudo. As variáveis topográficas são calculadas automaticamente a partir do modelo digital de elevação (MDE). Os outros parâmetros de entrada utilizados são os dados de incerteza, são especificados como limites superiores e inferiores.

O índice de estabilidade (*SI – Stability Index*) é definido como a probabilidade de que um local é estável assumindo distribuições uniformes dos parâmetros ao longo dessas faixas de incerteza. Esse valor varia entre 0 (mais instável) e 1 (menos instável), portanto, valores acima de 1 tendem para o limiar de completa estabilidade, e quando o coeficiente atinge mais de 1,5 a área é considerada estável.

**Quadro 3:** Definições das Classes de Estabilidade, modificado de (PACK et al, 1998)

Condição	Classes	Estado Prévio	Margem de Parâmetro	Influências possíveis de fatores não modelados	Classes sugeridas
$SI > 1,5$	1	Estável	Margem de instabilidade não modelada	Significantes fatores desestabilizadores são exigidos para a instabilidade	<b>Estável</b>
$1,5 > SI > 1,25$	2	Moderadamente Estável	Margem de instabilidade não modelada	Moderados fatores desestabilizadores são exigidos para a instabilidade	<b>Moderadamente Estável</b>

1,25>SI>1,0	3	Quase estável	Margem de instabilidade não modelada	Fatores desestabilizadores são exigidos para a instabilidade	<b>Pouco Estável</b>
1,0>SI>0,5	4	Limiar Inferior	Margem de média pessimista exigida para instabilidade	Fatores desestabilizadores não são exigidos para a Instabilidade	<b>Pouco Instável</b>
0,5>SI>0,0	5	Limiar Superior	Margem de média otimista exigida para estabilidade	Fatores estabilizadores podem ser responsáveis pela Instabilidade	<b>Moderadamente Instável</b>
0,0>SI	6	Instável	Margem de estabilidade não modelada	Fatores de estabilidade são exigidos para a estabilidade	<b>Instável</b>

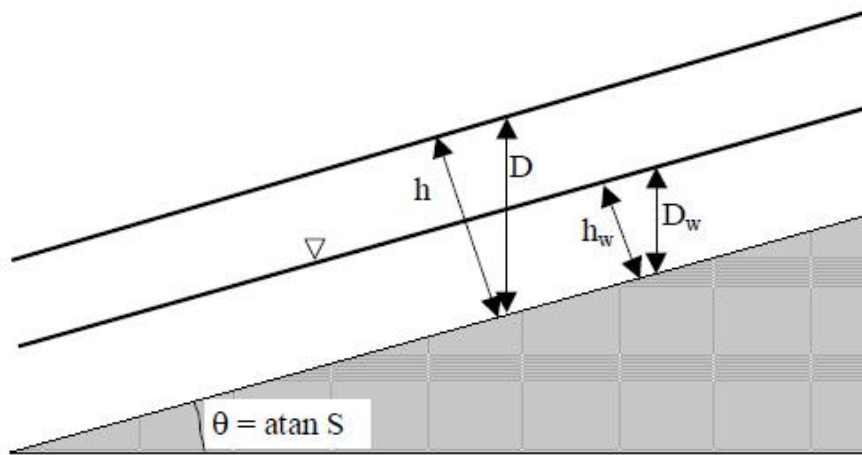
#### 3.4.1.1. O MODELO DE ESTABILIDADE DO TALUDE INFINITO

O fator de declive do modelo de estabilidade do talude (relação entre a estabilização de forças desestabilizadoras) é dada pela equação 1 (simplificado para a densidade úmida e seca, de Hammond et al. 1992):

$$FS = \frac{C_r + C_s + \cos^2 \theta [\rho_s g (D - D_w) + (\rho_s g - \rho_w g) D_w] \tan \varphi}{D \rho_s g \sin \theta \cos \theta} \quad (1)$$

Assim,  $C_r$  é a coesão da raiz [ $N / m^2$ ];  $C_s$  é a coesão do solo [ $N / m^2$ ];  $\theta$  é o ângulo de inclinação da encosta;  $\rho_s$  é a densidade do solo molhado [ $kg/m^3$ ];  $\rho_w$  é a densidade da água [ $kg/m^3$ ];  $g$  é a aceleração gravitacional ( $9,81 \text{ m/s}^2$ );  $D$  é a profundidade do solo [ $m$ ];  $D_w$  é a altura vertical de água dentro da camada de solo [ $m$ ];  $\varphi$  é o ângulo de atrito interno do solo; A inclinação do ângulo  $\theta$  é o arco tangente da inclinação;  $S$  expressa como uma gota decimal por unidade de distância horizontal. A figura 5 ilustra a geometria assumida na equação (1).





**Figura 5:** Esquema do modelo de estabilidade do talude infinito, Pack et al (1998).

Dentro de tal equação, visualizado na figura 5 considera-se a espessura do solo  $h$  [m], profundidade e estão relacionados da seguinte forma (Eq. 2):

$$h = D \cos \theta \quad (2)$$

Assim,  $h$  é a espessura perpendicular ao solo [m];  $D$  é a espessura vertical do solo [m]; e  $\cos \theta$  é igual ao ângulo da encosta [°]

O fator de segurança é reduzido a Eq. 3:

$$FS = \frac{C + \cos \theta [1 - wr] \tan \varphi}{\sin \theta} \quad (3)$$

Onde:

$C$  = coesão [ $N/m^2$ ];

$\cos \theta$  = cosseno do ângulo da encosta [°];

$w$  = umidade relativa;

$r$  = razão de densidade;

$\tan \varphi$  = ângulo de atrito do solo; e

$\sin \theta$  = seno do ângulo da encosta

Então, a umidade relativa é (Eq.4)

$$w = D_w/D = h_w/h \quad (4)$$

Onde,

$w$  = umidade relativa

$D_w$  = altura vertical da coluna d'água no solo [m];

$D$  = espessura vertical do solo [m];

$h_w$  = espessura da coluna d'água perpendicular ao solo [m]; e

$h$  = a espessura perpendicular ao solo [m]

A coesão combinada adimensional relativa à espessura perpendicular do solo, é expressa pela Eq. 5

$$C = (C_r + C_s) / (h \rho_s g) \quad (5)$$

Onde,

$C$  = coesão adimensional

$C_r$  = coesão das raízes [N/m<sup>2</sup>];

$C_s$  = coesão do solo [N/m<sup>2</sup>];

$h$  = espessura perpendicular ao solo [m];

$\rho_s$  = densidade do solo úmido [kg/m<sup>3</sup>]; e

$g$  = aceleração da gravidade [m/s<sup>2</sup>]

Conforme a Eq.6, a razão entre a densidade da água e do solo é expressa por:

$$r = \rho_w / \rho_s \quad (6)$$

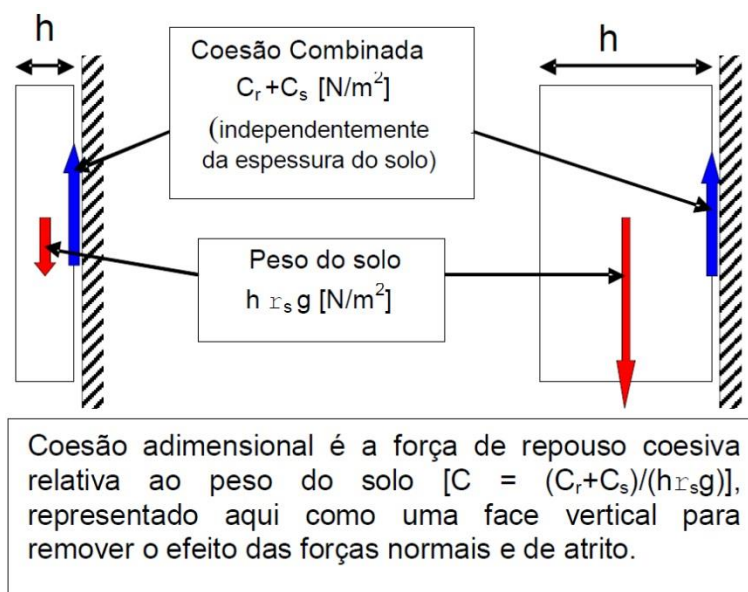
$r$  = razão de densidade;

$\rho_w$  = densidade da água;

$\rho_s$  = densidade do solo úmido [kg/m<sup>3</sup>]

A Equação 3 é a forma adimensional do modelo de estabilidade do Talude Infinito. Tal operação mostra-se conveniente, pois a coesão (devido a propriedades do solo das raízes) é combinada com a densidade do solo e da espessura, em um fator de coesão adimensional,  $C$  (eq.3 e figura 5). Portanto, a coesão é assumida como um dado contínuo para tais fatores independentemente da altura ou da espessura do material (figura 5).

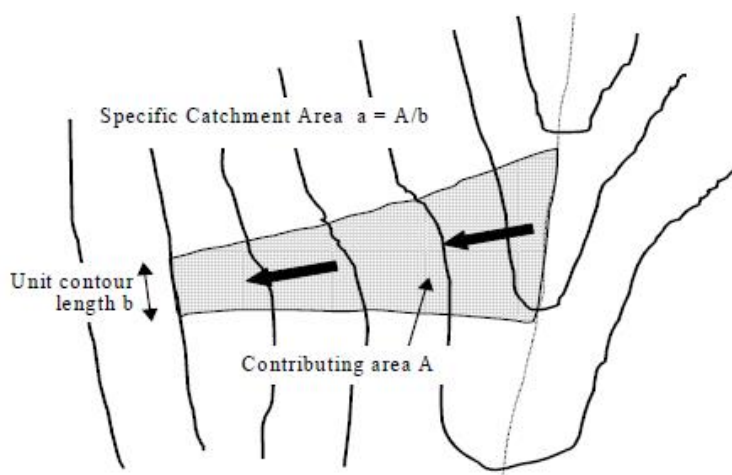
O segundo termo no numerador da equação (4) quantifica a contribuição para a estabilidade devido ao atrito interno do solo (quantificado pelo ângulo de atrito –  $\varphi$  ou coeficiente de atrito –  $\text{tang}$ ). Esta é reduzida devido ao aumento da umidade, que aumenta a poro-pressão e conseqüentemente, reduz a força normal do solo. O efeito desta função é controlado pela razão de densidade  $r$  (equação 6).



**Figura 6:** Conceitos dos fatores de coesão adimensional, Nery (2011) modificado de Pack et al (1998).

### 3.4.1.2. ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE UMIDADE

Um atributo que vem sendo utilizado na análise do modelo hidrológico é a área específica da bacia ( $a$ )<sup>2</sup>, definido pela relação da área de superfície e do comprimento de umidade do contorno ( $b$ ), expressado em  $m^2/m$  (Figura 7). A definição é baseada em observações de campo, mostrando que a maior umidade do solo ou áreas com tendência a uma superfície de saturação tendem a ocorrer em áreas convergentes de fluxos (*hollows*).



**Figura 7:** Definição da área específica da bacia, Pack et al (1998)

Seguindo o descrito acima e de acordo com a figura 7, faz-se os seguintes pressupostos:

- (1) Fluxo lateral subsuperficial seguindo gradientes topográficos. Isto implica que a área de contribuição (a) para o fluxo em qualquer ponto é dado pela área específica da bacia, definidas a partir da superfície topográfica.
- (2) Descarga lateral em cada ponto está em equilíbrio com uma recarga de estado constante R [m/hr].
- (3) A capacidade de fluxo lateral em cada ponto é dado por  $T \sin\theta$ , onde T é a [m<sup>2</sup>/hr], ou seja, condutividade hidráulica [m/hr] vezes a espessura do solo, h [m].

As suposições (1) e (2), em conjunto, implicam que na descarga lateral q, integrada pelo comprimento da unidade do contorno, que é expressa em [m<sup>2</sup>/hr] (eq.7):

$$q = R.a \quad (7)$$

Onde,

$q$  = descarga lateral;

R = recarga em estado constante [m/hr]; e

a = área específica da bacia [m<sup>2</sup>/m]

A proposição (3) mostra que a condutividade hidráulica é assumida como constante, portanto, uniforme para todo o perfil do solo, não diminuindo e nem aumentando com a profundidade do solo. Em vez disso, assume-se condutividade uniforme de um manto de solo sobre o substrato rochoso relativamente impermeável. Além disso, foi usado o seno ao invés de tangente, pois a diferença entre as duas variáveis é desprezível para ângulos menores, terá importância somente para os ângulos íngremes que dão origem a deslizamentos de terra. A partir disso, o pressuposto 3 a umidade relativa é (Eq. 8)

$$w = \text{Min}\left(\frac{R a}{T \sin \theta}, 1\right) \quad (8)$$

Onde,

w = umidade relativa;

R = recarga em estado constante [m/hr];

a = área específica da bacia [m<sup>2</sup>/m]; e

T = transmissividade do solo [m<sup>2</sup>/hr]

A umidade relativa tem um limite superior de 1 que diz respeito à qualquer excedente do escoamento superficial sobre a superfície. Como ilustrado na figura 4, a umidade relativa define a profundidade relativa da coluna d'água observada inclusa na camada do solo. A razão  $R/T$  na Eq. 8, que tem unidades de  $[m^{-1}]$ , quantifica a umidade, assumindo a recarga em estado estacionário relativa, segundo a capacidade do solo para a drenagem lateral de água.

A relação  $R/T$ , que foi tratada como um único parâmetro, portanto, combina o clima e fatores hidrológicos. A valor do seno de  $(T/R)$  dado em  $[m]$  pode ser pensado como o comprimento de uma vertente plana, não convergente, indispensáveis para desenvolver a saturação em um período crítico de clima considerado úmido. Assim, este conceito pode ser útil para estabelecer estimativas do valor  $R/T$ , durante a identificação em campo dos limites de superfície da saturação.

### 3.4.1.3. DEFINIÇÃO DO ÍNDICE DE ESTABILIDADE

Para definir o índice de estabilidade, o índice de umidade da Eq. 8 é incorporado ao fator adimensional de segurança da Eq. 3, que, por sua vez, torna-se a Eq. 9, combinada a partir do modelo de estabilidade com o modelo hidrológico proposto por Pack et al (1998):

$$FS = \frac{C + \cos \theta \left[ 1 - \min \left( \frac{R}{T} \frac{a}{\sin \theta}, 1 \right) r \right] \tan \varphi}{\sin \theta} \quad (9)$$

As variáveis  $a$  e  $\theta$  são relacionados à topografia e possui parâmetros de análise  $C$ ,  $\tan \varphi$ ,  $r$  e  $R/T$ . A razão de densidade  $r$  foi considerada como constante - valor de 0.5, entretanto, permitem-se incertezas nos outros três parâmetros durante as especificações dos limites inferiores e superiores. Estes limites definem uma distribuição uniforme, em que esses valores são assumidos para variar aleatoriamente. Sendo  $R/T = x$ ,  $\tan \varphi = t$ , e a distribuição uniforme com limites inferiores e superiores, como:

$$C \sim U(C_1, C_2)$$

$$x \sim U(x_1, x_2) \quad (10)$$

$$t \sim U(t_1, t_2)$$

Os limites inferiores de C e t, ou seja,  $C_1$  e  $T_1$ , juntamente com o limite superior de x, isto é  $x_2$ , definem o pior caso com um cenário mais conservador, levando-se em consideração a incerteza ou variabilidade do parâmetro. Áreas sob este tipo de cenário, ou seja, quando o cenário do  $FS > 1$ , em termos de modelo de estabilidade, estes locais serão incondicionalmente estáveis, definidos da seguinte forma (Eq.11):

$$SI = FS_{min} = \frac{C_1 + \cos \theta \left[ 1 - \min \left( x_2 \frac{a}{\sin \theta}, 1 \right) r \right] t_1}{\sin \theta} \quad (11)$$

Onde o  $FS < 1$ , há a possibilidade ou probabilidade de ruptura. Portanto, esta é uma probabilidade espacial devido às incertezas, variabilidade espacial em C,  $\tan \phi$  e T. Esta probabilidade tem um elemento temporal R, que caracteriza a umidade que pode variar com o tempo, e as incertezas em x combinam probabilidades espaciais e temporais. Nessas regiões (com  $FS_{min} < 1$ ) define-se:

$$IE = \text{Prob}(FS > 1) \quad (12)$$

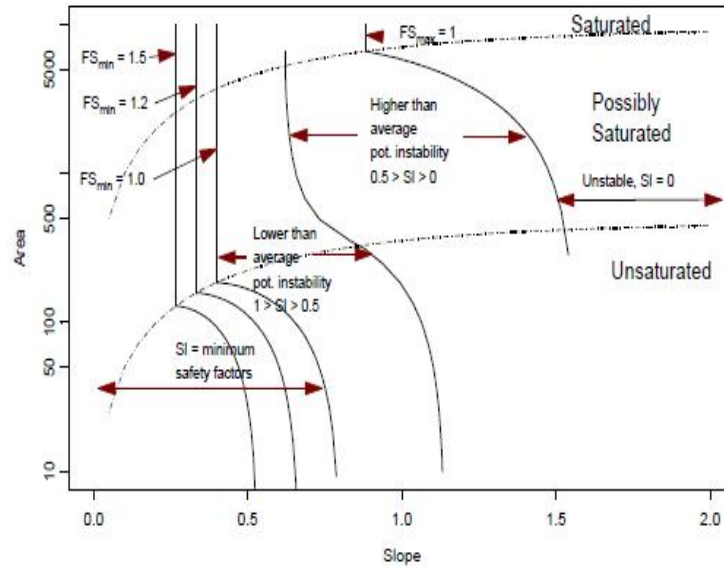
Contudo, quando os limites superiores de C, x, e t combinam-se, o melhor cenário é dado por  $C = C_2$ ,  $x = x_2$ ,  $t = t_2$  (Eq.13)

$$FS_{max} = \frac{C_2 + \cos \theta \left[ 1 - \min \left( x_1 \frac{a}{\sin \theta}, 1 \right) r \right] t_2}{\sin \theta} \quad (13)$$

Neste caso o  $FS_{max} < 1$ , então

$$IE = \text{Prob}(FS > 1) = 0 \quad (14)$$

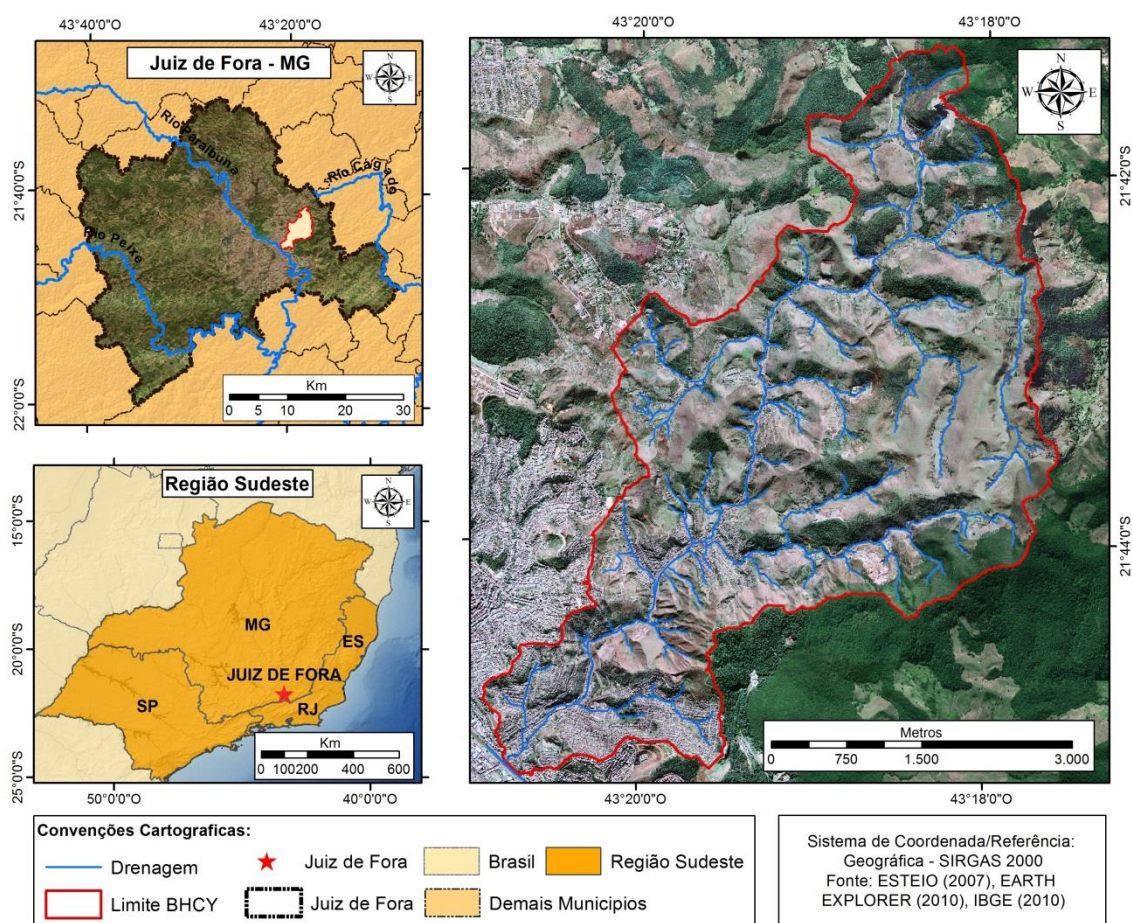
A composição do índice de estabilidade é dada pela relação da área de contribuição e ângulo da encosta (Figura 8), e correspondem às regiões que definem o fator de segurança do modelo, ou seja,  $IE > 1$  ( $FS_{min} > 1$ ),  $0 < IE < 1$  e  $IE = 0$  ( $FS_{max} < 1$ ). Observa-se que a análise do Índice de Estabilidade (IE) ou Stability Index (SI) exige uma maior compreensão dos fatores que compõem suas formulações, assim como uma compreensão mais apurada sobre tais índices.



**Figura 8:** Índice de estabilidade definido pela relação área de contribuição X ângulo da encosta (Pack et al., 1996)

#### 4. ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung está localizada no Município de Juiz de Fora. É uma sub-bacia do Rio Paraibuna, que, por sua vez, pertence à bacia do rio Paraíba do Sul. A BHCY faz parte das 156 bacias que compõe a drenagem do município de Juiz de Fora. A sua foz está localizada na margem esquerda no rio Paraibuna, na Região Leste deste município. A seguir (figura 9), encontra-se o mapa de localização da BHCY.



**Figura 9** : Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung no contexto da região sudeste do Brasil.



A seguir, algumas imagens da área da Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung (Figuras 10 a 13):



**Figura 10:** Vista panorâmica da porção Noroeste da BHCY



**Figura 11:** Avenida por onde passa o canal principal do Córrego do Yung



**Figura 12:** Parte da vertente esquerda na porção Sudeste da BHCY



**Figura 13:** Pedreira na parte Norte da Bacia, este local é um dos divisores de águas da BHCY

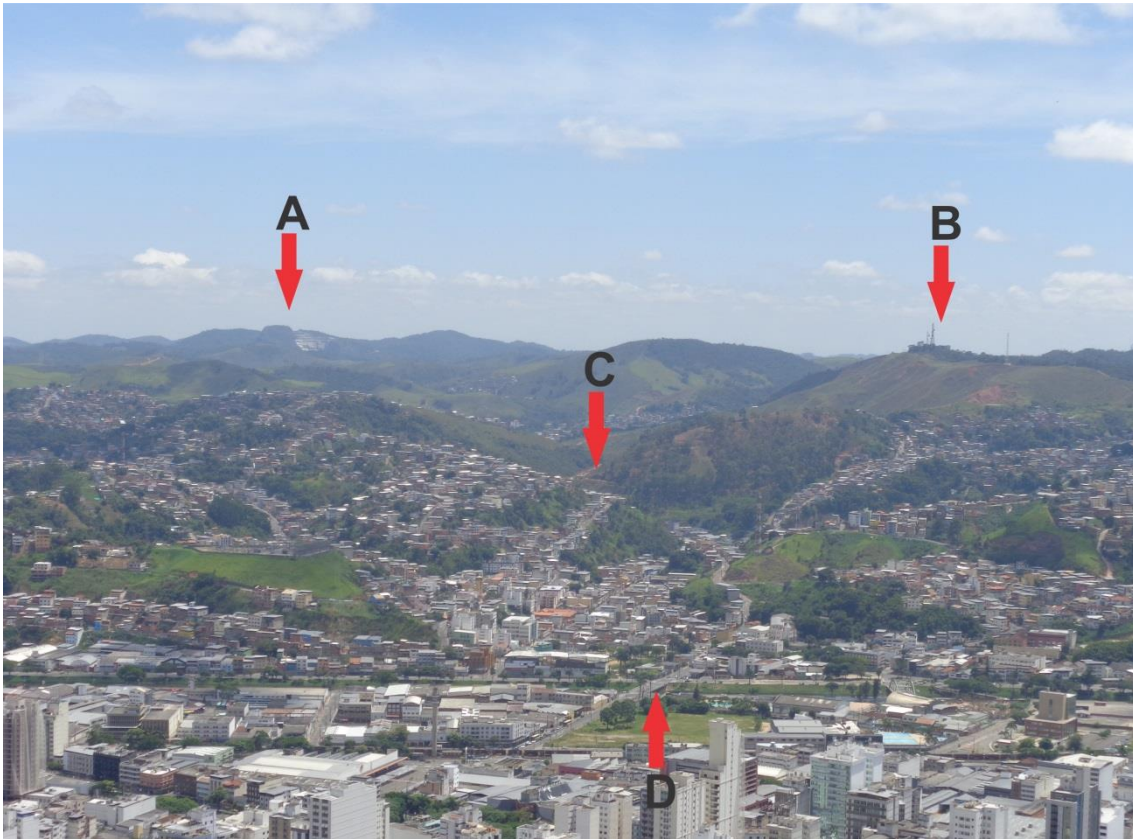
Na figura 10 está representada a parte Oeste da bacia, onde se encontram os divisores da margem direita do córrego do Yung. Nota-se que a ocupação urbana se encontra consolidada, em sua maior parte, na planície aluvial, mas é perceptível que alguns topos de morro já foram removidos em função da criação de novos espaços para a habitação (porção esquerda da foto), é notável o número de loteamentos presentes na imagem. Na porção à direita está localizada a penitenciária que está instalada no Bairro Linhares; sua construção se deu próxima ao divisor oeste da BHCY, nesta área é perceptível a parte da encosta que foi cortada para dar lugar a penitenciária, onde está agora em rocha exposta.

Nas figuras 11 e 12 são duas representações em visadas diferentes da mesma encosta (estão situadas na porção do divisor Sudeste da bacia). A figura 11 mostra como a superfície está sujeita a processo de ravinamento/voçorocamento. Além disso, as linhas de pisoteio do gado contribuem significativamente para estes processos quando encontram eixos preferenciais nas áreas de convergência de fluxo, além de poderem deflagrar processos de escorregamentos. Em geral, estes processos acontecem na média encosta. Na figura 12, é possível ter uma ideia da declividade acentuada presente na encosta, nesta área elas passam dos 30%, a presença de escorregamentos é latente na alta encosta, mostrando o quão dinâmica é a estrutura dessa área.

A figura 13 mostra uma intervenção antrópica em uma das nascentes principais do Córrego do Yung. Nesta área há extração de rochas em função da construção civil (Pedreira Santo Cristo). Isso reflete na dinâmica sistêmica da bacia, pois com a alteração nos fluxos de matéria e energia, processos são interrompidos e/ou reduzidos (dinâmica de fluxo da água no canal principal diminui) e, em contrapartida, os materiais que são depositados nas margens do córrego não são transportados, pois o córrego não tem energia suficiente para carregar os mesmos.

Na figura 14 é possível visualizar uma imagem panorâmica da BHCY de “frente”, visualizada da porção à jusante em direção à montante. Nesta imagem é possível observar alguns tipos de uso e ocupação da terra existentes como áreas edificadas, plantações, gramíneas, vegetação mista e vegetação arbórea e algumas manchas de solo exposto. No ponto A está o limite extremo Norte da Bacia, que é a Pedra Redonda, onde está instalada a Pedreira Santo Cristo. O ponto B é um dos pontos mais elevados e faz parte dos divisores de água da porção Sudeste (ver figura 12). O ponto C corresponde ao eixo principal da calha de drenagem da BHCY que deságua no ponto D, já no encontro com o Rio Paraibuna.





**Figura 14:** Vista Panorâmica da BHCY a partir do Mirante do Morro do Imperador.

O processo de ocupação atual da bacia encontra-se de duas formas distintas: A ocupação mais antiga das áreas planas que foi se adensando ao longo do tempo, deixando livres somente as encostas íngremes que caracterizam; e à medida que ocorreu a consolidação das ocupações, as famílias com rendas mais baixas foram sendo expulsas, procurando localizar-se o mais próximo possível destas áreas anteriormente ocupadas, ou seja, instalando-se em encostas íngremes de forma cada vez mais intensa (PJF, 2004).

Em decorrência dessa forma de ocupação da terra, a BHCY possui uma estrutura urbana já consolidada e caracterizada por uma ocupação bastante adensada sobre uma malha viária estreita e curvilínea, em busca de menores declividades. As ocupações nas encostas íngremes configuram uma situação tão preocupante que fazem desta área uma parte prioritária para receber programas de prevenção, recuperação e estabilização de áreas de risco sujeitas a deslizamentos (PJF, 2004).

#### 4.1. ASPECTOS GEOLÓGICOS

A Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung possui seu embasamento geológico apoiado sobre os Complexos Juiz de Fora e Mantiqueira, e a Megassequência Andrelândia (figura 15). Estes estão descritos de acordo com a sua presença na bacia. A nomenclatura utilizada para as unidades citadas foram extraídas de Pedrosa-Soares et. al. (2003) a partir do Projeto Sul de Minas.

##### **Complexo Juiz de Fora**

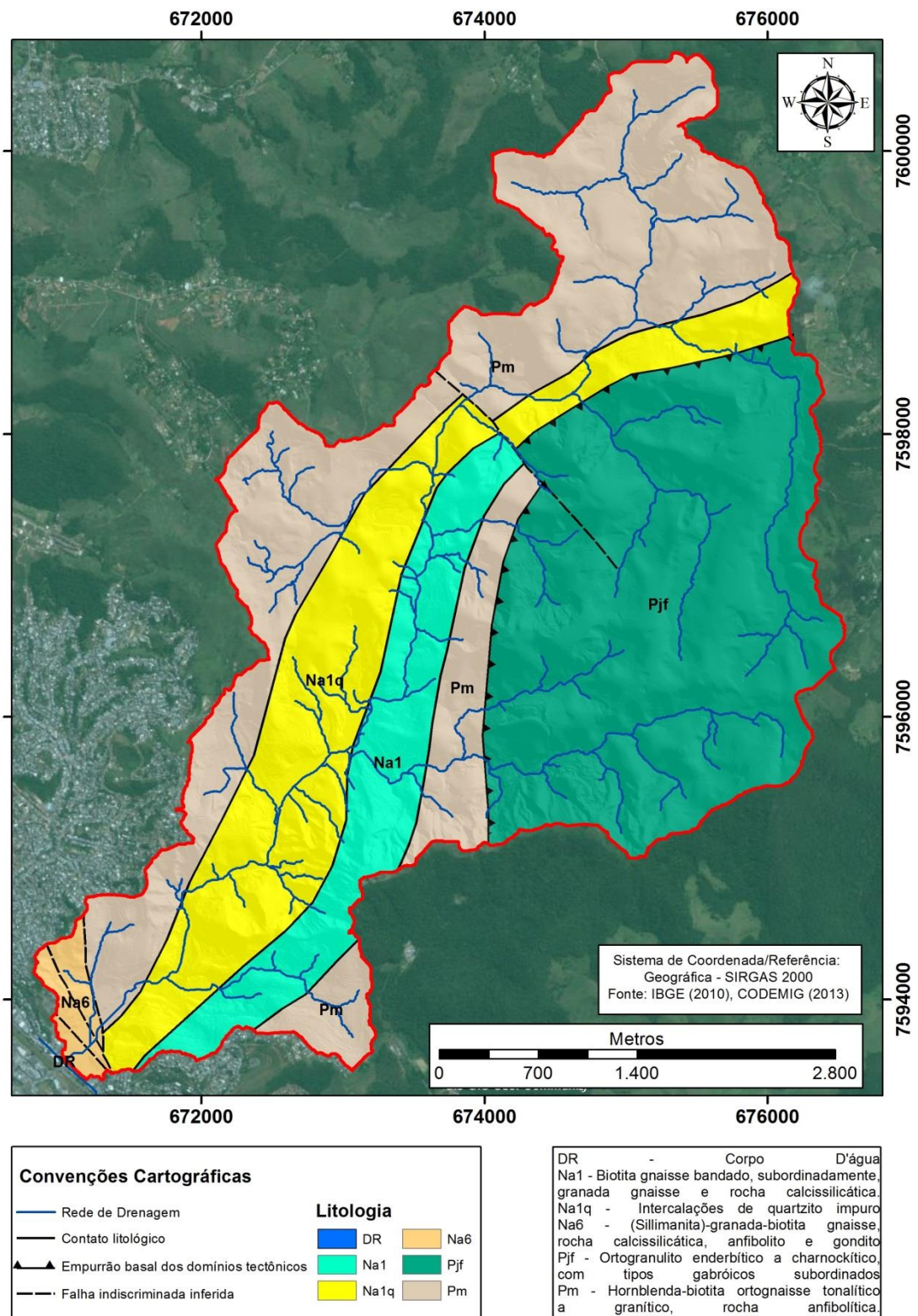
A denominação Complexo Juiz de Fora foi cunhada por Machado Filho et al. (1983), para designar um conjunto de rochas da suíte charnockítica, composto predominantemente por enderbitos, com faixas kinzigíticas intercaladas, que ocorrem na região limítrofe entre os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro (NOGUEIRA, 1999). Sua formação remonta ao Paleoproterozóico (entre 2,5Ga e 1,6Ga), e, a sua gênese parte de condições extremamente rigorosas de pressão e temperatura, fruto de fortes deformações e recristalizações. O grau elevado de metamorfismo nestas rochas possibilitou a formação de ortognaisses e metabasitos com paragêneses da fácies granulito (PJF, 2004; PEDROSA-SOARES et. al., 2003).

Neste complexo, há predominância dos tipos de composição tonalítica (enderbitos) à granítica (charnockitos), com rochas gabróicas e dioríticas (piribolitos e pirigarnitos) subordinadas. Os ortogranulitos transicionam para gnaisses bandados com alternância de faixas claras e escuras, em virtude de maior deformação e retrometamorfismo (PEDROSA-SOARES et. al., 2003).

##### **Complexo Mantiqueira**

Originado no Paleoproterozóico (entre 2,5Ga e 1,6Ga), este complexo compreende diversos litotipos ortoderivados, é constituído principalmente de biotita-hornblenda gnaisses cinzentos, bandados, por vezes migmatíticos, de composição tonalítica a granodiorítica, com bandas, enclaves e/ou lentes centimétricas a métricas e, localmente, corpos tabulares discordantes de rochas metabásicas. Os dados

geocronológicos disponíveis indicam idades predominantemente paleoproterozóicas, conforme destacado, e forte componente de retrabalhamento de crosta arqueana.



**Figura 15:** Unidades de mapeamento Geológico da Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung.

### **Megassequência Andrelândia**

Constituído no Neoproterozóico (entre 1Ga e 0,78Ga), sua formação litológica baseia-se em duas unidades litológicas distintas pertencentes à Megassequência Andrelândia que ocorrem nesse domínio. São elas: a) biotita gnaisse bandado (Na1); b) sillimanita-granada-biotita gnaisse (Na6).

a) Na1: A unidade basal da Megassequência Andrelândia é constituída predominantemente por biotita gnaisse bandado, caracterizada pela presença de bandamento marcante que pode ser observado mesmo quando bastante intemperizada. Este bandamento é dado pela alternância entre níveis félsicos e níveis biotíticos (bandamento gnáissico) e também pela presença de bandas e/ou lentes centimétricas de quartzito e de rocha anfibolítica (PEDROSA-SOARES et. al., 2003).

b) Na6: O sillimanita-granada-biotita gnaisse representa o litotipo predominante no topo da Megassequência Andrelândia no domínio homônimo. No entanto, essa unidade é caracterizada pela interstratificação de outros litotipos, principalmente biotita gnaisse bandado, quartzito e rochas calcissilicáticas que ocorrem sob a forma de camadas lenticulares. Lentes de biotita gnaisse bandado são mais comuns na base desta sequência, onde ocorre interstratificado com camadas centimétricas a decamétricas de quartzito. Esta associação é bastante semelhante àquela descrita anteriormente para a porção basal da Megassequência Andrelândia na área, residindo a diferença na maior abundância e espessura de camadas de quartzito e menor proporção de bandas anfibolíticas.

Conforme é mostrado na figura 15<sup>20</sup>, os litotipos formam sequências paralelas nas partes que se encontram na bacia do Yung. É notável que boa parte da drenagem principal, e alguns canais de 2ª ordem, acompanham a posição do esforço tectônico pretérito, ou seja, acompanha os contatos litológicos e, também, a falha indiscriminada inferida presente na parte centro-norte da bacia (eixo NO-SE). Além disso, é interessante observar que a densidade de drenagem é maior sobre os litotipos: Pm, Na1q e Na1, mostrando que o contexto estrutural do complexo Juiz de Fora (Pjf) é relativamente estável, isso pois a densidade de drenagem é menor, e, é um local onde as vertentes estão bem mais suavizadas do que os contextos anteriores citados.

---

20 - É importante destacar que no mapa apresentado da figura 15 as unidades de mapeamento podem conter litologias que não ocorrem na Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung, isso porque há os aspectos relativos a escala do mapeamento original e generalização parcial de algumas informações.

## **4.2. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS**

### **4.2.1 – QUADRO REGIONAL**

#### **Faixa de Dobramentos Remobilizados**

Esta faixa é caracterizada pelas evidências de movimentos crustais, com marcas de falhas, deslocamentos de blocos e falhamentos transversos, impondo nítido controle estrutural sobre a morfologia atual. Este controle estrutural é comprovado pela observação das extensas linhas de falha, escarpas de grandes dimensões e relevos alinhados, coincidindo com dobramentos originais e/ou falhamentos mais recentes, que por sua vez atuaram sobre antigas falhas. Após a última fase de reativação tectônica ocorrida no Neógeno passaram a predominar os processos de esculturação do relevo, resultando na decomposição profunda das rochas, com presença extensiva de linhas de pedra e ocasionando o desenvolvimento de Latossolos nas encostas e nos interflúvios das formações (RADAMBRASIL, 1983).

Nesta faixa, encontram-se oito regiões geomorfológicas: Colinas e Maciços Costeiros, Planalto do Paranapiacaba, Escarpas e Reversos da Serra do Mar, Vale do Paraíba do Sul, Planalto de Amparo, Compartimentos Planáltico a Leste de Minas, Mantiqueira Meridional e Mantiqueira Setentrional. Esta região é a qual a BHCY se insere (RADAMBRASIL, op. cit.).

#### **Mantiqueira Setentrional**

De acordo com Marques Neto (2012), a região da Serra da Mantiqueira constitui o segundo degrau orográfico do planalto brasileiro, uma vez transposta a Serra do Mar, correspondendo a imensos blocos falhados em sentidos predominantemente ENE-WSW causados por movimentos epirogenéticos relacionados à reativação tectônica sofrida pela área durante o rompimento do megacontinente Gondwana. Nessas falhas se instalou uma drenagem consequente que erode as rochas menos resistentes e cava gargantas nas mais compactas.

Esta região compreende a área localizada ao sul do Estado do Espírito Santo e leste de Minas Gerais. No setor oeste desta região faz limite com a região dos Compartimentos Planáticos do Leste de Minas, a sul com o Vale do Paraíba do Sul, a leste encontra-se as regiões das Colinas e Maciços Costeiros. A Mantiqueira Setentrional se projeta na região leste de Minas Gerais, sul do Espírito Santo, com porções no estado do Rio de Janeiro, tendo como acentuado destaque no quadro físico o maciço do Caparaó, onde o pico da Bandeira posiciona seu cume a 2897 metros. (RADAMBRASIL, op. cit.).

Tal região é caracterizada por altitudes médias em torno de 1100m, ocorrendo, também, altitudes médias de 700m. Suas colinas alongadas, serras de grande altitude, escarpas derivadas de falhamentos e vales retilíneos têm como substrato rochoso os gnaisses kinzigíticos, quartizitos, granitoides, calcários e rochas ultrabásicas. Em sua região, encontram-se três unidades geomorfológicas: Patamares Escalonados do Sul Capixaba, Maciços do Caparaó e as Serranias da Zona da Mata Mineira (RADAMBRASIL, op. cit.).

### **Serranias da Zona da Mata Mineira**

Sua denominação se deve ao fato de se encontrar totalmente inserida na zona fisiográfica homônima. A região possui uma grande ocorrência de morros, colinas e áreas montanhosas. De acordo com FEAM (1995), o relevo varia de ondulado a montanhoso, geralmente mostrando elevações com topos arredondados, com vertentes convexas e côncavo-convexas, terminando em vales planos de larguras variáveis. Portanto, os rios, geralmente, formam pequenos terraços e planícies. Em geral, sua topografia é balizada por uma orientação SO-NE (RADAMBRASIL, 1983).

## **4.2.2 – QUADRO LOCAL**

### **Compartimentação do relevo**

Para se compreender as formas presentes na BHCY (figura 16), foi proposta uma compartimentação do relevo. Diante disso, foi escolhido o 3º táxon proposto Ross (1992) (que se baseia originalmente na proposta feita por Tricart em 1965) que é a identificação de unidades morfológicas ou padrão de formas semelhantes, ou seja,



retratam um determinado aspecto fisionômico decorrente das influências dos processos erosivos mais recentes e posteriores àqueles que esculpiram os planaltos e depressões. Diante da especificidade da bacia, estão presentes dois tipos genéticos de modelados, que são os:

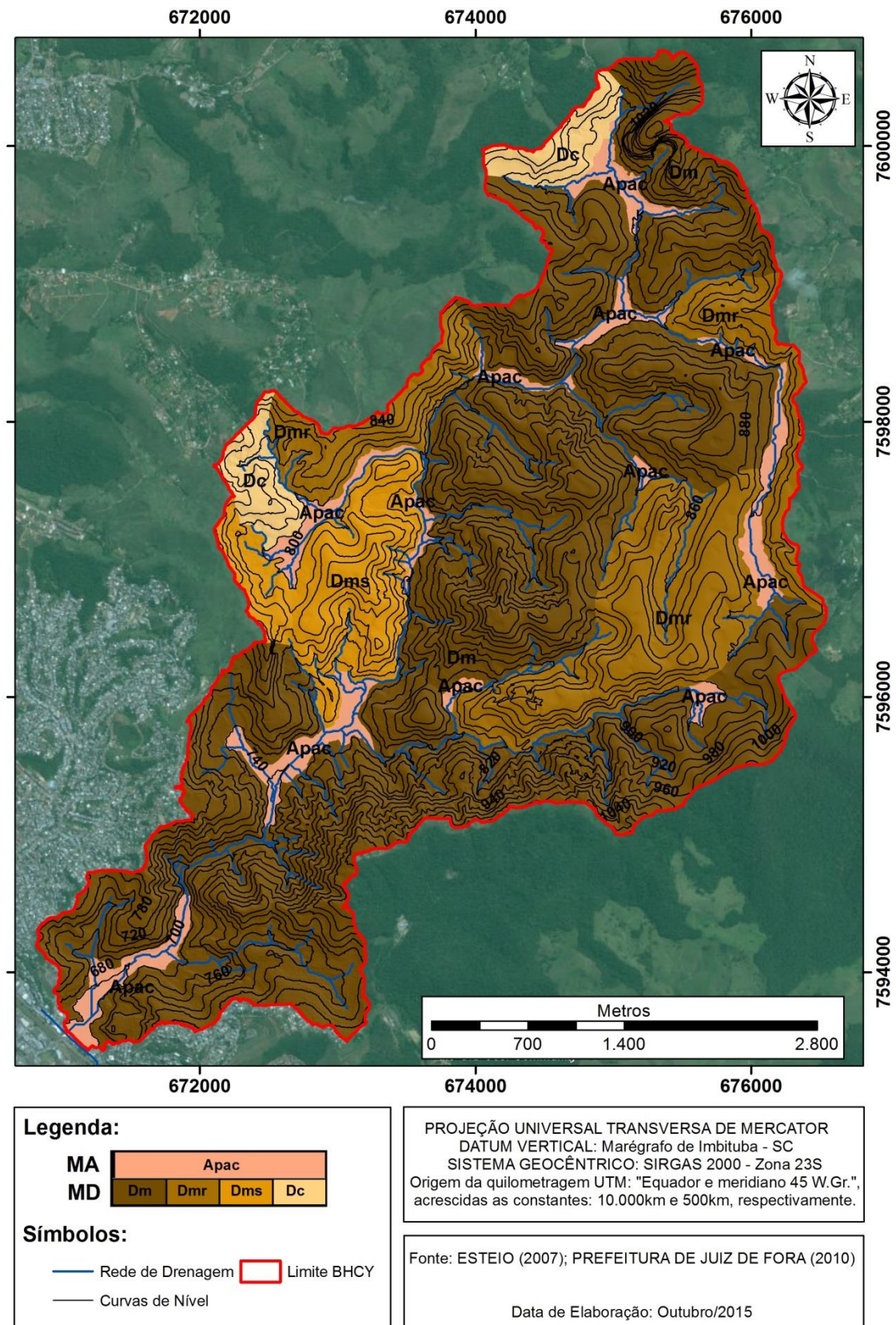
- modelados de acumulação (A): são diferenciados, em função de sua gênese, em fluviais, lacustres, marinhos, lagunares, eólicos e de gêneses mistas, resultantes da conjugação ou atuação simultânea de processos diversos (IBGE, 2009).
- modelados de dissecação (D): são os que ocorrem de forma mais generalizada na paisagem brasileira, sendo caracterizados como dissecados homogêneos, dissecados estruturais e dissecados em ravinas. Os dois primeiros são definidos pela forma dos topos e pelo aprofundamento e densidade da drenagem (IBGE, 2009).

Para definir os modelados de dissecação, foram utilizados os critérios morfométricos do IPT (1981) relativos à declividade e amplitude altimétrica (Quadro 4).

**Quadro 4:** Critérios morfométricos para a definição de categorias de relevos de dissecação. Fonte: Torres et. al. (2012)

Sistemas de Relevo	Declives predominantes	Amplitudes locais
Relevo colinoso	0 a 15%	<100m
Relevo de morros com encostas suavizadas	0 a 15%	100 a 300m
Relevo de morrotes	>15%	<100m
Relevo de morros	>15%	100 a 300m
Relevo montanhoso	>15%	>300m

Na figura 16 está representado o mapa com as classes de morfologias presentes na BHCY.



**Figura 16:** Compartimentação do relevo na Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung.

O quadro a seguir (quadro 5) apresenta as classes morfológicas presentes na Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung e as respectivas áreas.

**Quadro 5:** Classes morfológicas X Área (km<sup>2</sup>)

<b>Morfologia</b>	Morros (Dm)	Morrotos (Dmr)	Morros c/Encostas Suavizadas (Dms)	Colinas (Dc)	Planície Alúvio-Coluvionar (Apac)
<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	12,82	3,45	1,46	0,70	1,27

A BHCY possui uma área de aproximadamente 19,7km<sup>2</sup>, desse total:

1. **Morros (Dm):** 65% da área da BHCY apresenta morfologias mamelonizadas, com topos predominantemente convexos e vertentes convexo-retilíneas e declividades médias a altas com profundidade de dissecação acentuada, esse padrão de forma ocupa a maior parte da bacia;
2. **Morrotos (Dmr):** 17,5% da BHCY possui morfologias mamelonizadas com topos predominantemente convexos e vertentes convexo-retilíneas e declividades médias a altas com uma dissecação vertical menos profunda (inferior a 100 metros). Além disso, apresentam um desgaste acentuado das encostas e grande energia potencial do relevo;
3. **Morros com encostas suavizadas (Dms):** 7,4% da BHCY possui morfologias mamelonizadas com topos predominantemente convexos e vertentes convexo-retilíneas, em geral possuem declividades mais suavizadas (apesar do desnível altimétrico) e topos mais aplainados, tendendo a uma menor energia potencial do relevo;
4. **Colinas (Dc):** 3,55% da BHCY possui morfologias mamelonizadas com topos predominantemente convexos e vertentes convexo-retilíneas e declividades moderadas a suaves com profundidade de dissecação também moderada e mantos de alteração profundos.
5. **Planícies Aluvio-coluvionares (Apac):** 6,45% da área apresenta largura variável, caráter descontínuo, declividades mais suavizadas e estão situadas nos fundos de vale. Na BHCY estão ligadas a outras morfologias menos declivosas (Colinas, Morros com Encostas Suavizadas e Morrotos), denunciando que tal tipo de forma apresenta mais deposição de material do que erosão ou transporte do mesmo. Além disso, acompanham canais fluviais de variadas extensões em diferentes níveis altimétricos.

### 4.3. DECLIVIDADE E ALTIMETRIA

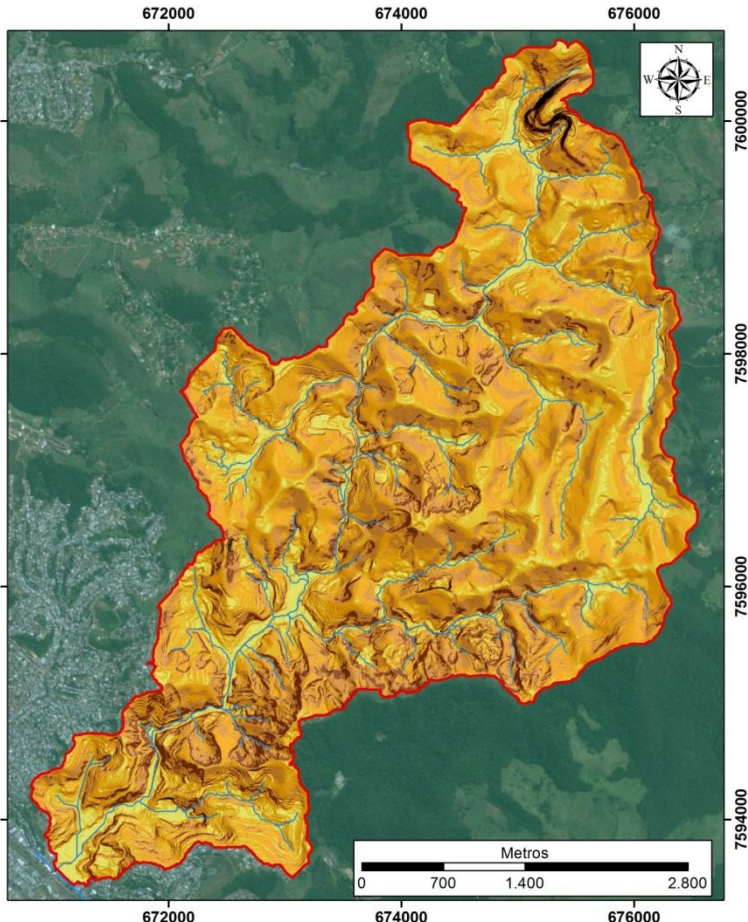
A partir da visualização do mapa de declividade (figura 17) e do Quadro 6, é possível identificar que as declividades na BHCY estão concentradas principalmente nos intervalos de 0 a 30%, o que representa 65% da área total da bacia. Parte vinculada às áreas de planícies, algumas relacionadas às morfologias mais colinosas e de morros mais suavizados. Os 35% restantes da área total da Bacia estão situados em declividades superiores à 30%, mostrando que existe um acelerado processo de evolução das encostas por processos erosivos e de movimentação de material inconsolidado. Isso promove uma aceleração do processo de escoamento superficial, além de possibilitar parte da infiltração da água no solo, o que pode deflagrar processos de escorregamentos em encostas.

**Quadro 6:** Relação das Classes de Declividades presentes na BHCY

<b>Intervalos de Classes</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
0 - 6%	1,82	9,24
6 - 15%	3,70	18,78
15 - 30%	7,29	37,00
30 - 45%	5,28	26,80
45 - 75%	1,53	7,76
75 - 100%	0,08	0,42
<b>Total</b>	<b>19,7</b>	<b>100</b>

No que diz respeito aos aspectos altimétricos, A BHCY apresenta um desnível de quase 400 metros o ponto culminante (1052 metros) e a sua foz no Rio Paraíba (672 metros) (figura 18). O setor que apresenta as maiores elevações do relevo está na margem esquerda da bacia (à leste da imagem), nesta parte as altitudes mínimas (em geral) estão acima dos 850 metros, isso provavelmente está ligado a falha de empurrão presente que provocou um basculamento dessa parte do relevo na BHCY. A porção Oeste (margem direita) possui elevações menores, que variam de 700 a 850 metros de altitude, mostrando que o relevo possui um caráter mais suavizado (Item 4.2.2), com colinas suavizadas e algumas áreas com planícies.



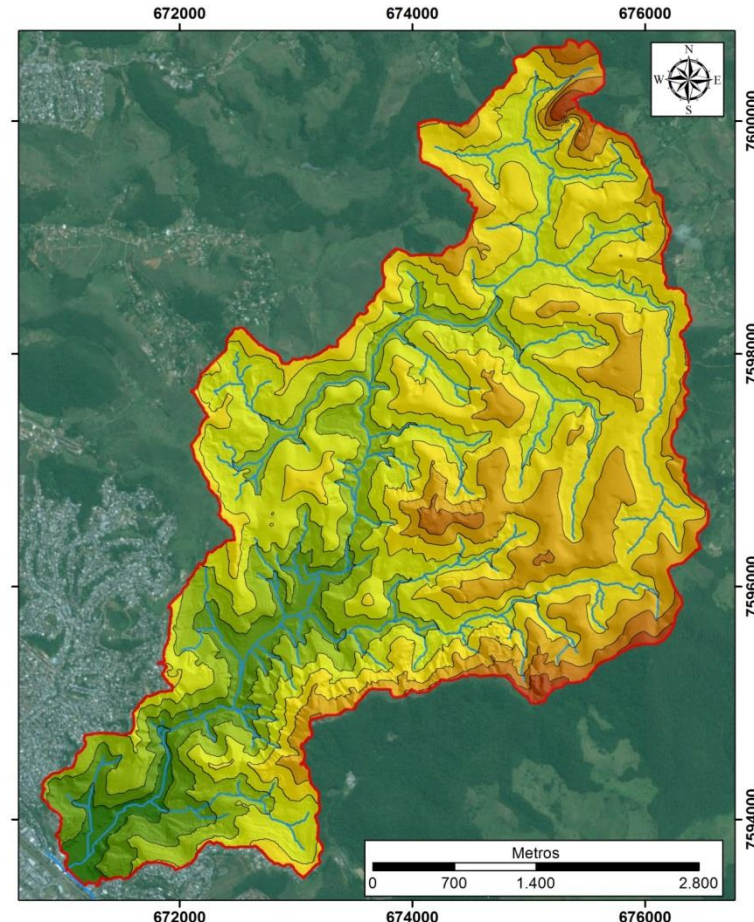


Convenções Cartográficas	
Drenagem	15 - 30
Limite da Bacia	30 - 45
Declividade (%)	
0 - 6	45 - 75
6 - 15	75 - 100

ESTEIO (2007);  
Data de Elaboração: Janeiro/2016

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
DATUM VERTICAL: Marégrafo de Imbituba - SC  
SISTEMA DE REFERÊNCIA: SIRGAS 2000 - Zona 23S  
Origem da quilometragem UTM:  
"Equador e meridiano 45 W.Gr."  
acrescidas as constantes:  
10.000km e 500km, respectivamente.

**Figura 17:** Distribuição das Classes de Declividade na Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung



Convenções Cartográficas	
Curvas de Nível	750 - 800
Drenagem	800 - 850
Limite da Bacia	850 - 900
Altitude (Metros)	
672 - 700	900 - 950
700 - 750	950 - 1.000
	1.000 - 1.052

ESTEIO (2007);  
Data de Elaboração: Janeiro/2016

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
DATUM VERTICAL: Marégrafo de Imbituba - SC  
SISTEMA DE REFERÊNCIA: SIRGAS 2000 - Zona 23S  
Origem da quilometragem UTM:  
"Equador e meridiano 45 W.Gr."  
acrescidas as constantes:  
10.000km e 500km, respectivamente.

**Figura 18:** Representação da Altimetria da BHCY

Segundo IBGE (2009), as áreas de encostas com declividades acima de 45%, onde as formações superficiais são pouco espessas ou inexistentes, podem apresentar pedregosidade e afloramentos rochosos. Também há o predomínio de enxurradas e escoamento superficial concentrado, que pode provocar a remoção total do horizonte A, e atingir o horizonte B dos solos, além disso, pode ocorrer a formação de ravinas e voçorocas. Em algumas áreas há a possibilidade de ocorrer os processos de rastejamento (*creep*), escorregamento (*landslides*) e desmoronamento de blocos (*rockfalls*).

#### 4.4. ASPECTOS PEDOLÓGICOS

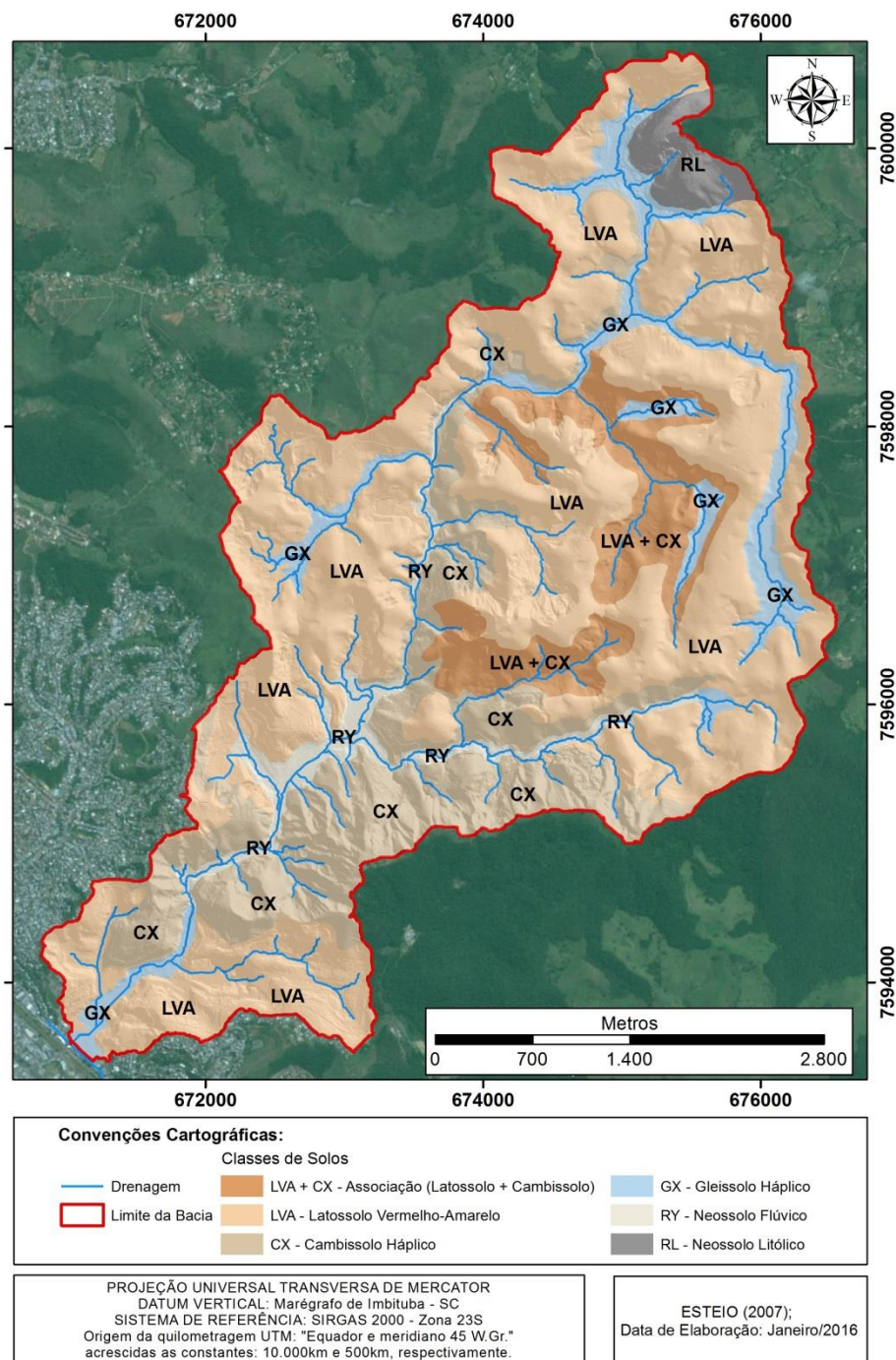
Tomando-se por base o mapeamento de solos do estado de Minas Gerais (UFV et al., 2010), a BHCY é predominantemente composta de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, LVAd58; Latossolo Amarelo distrófico LAd4;

- **LAd4** - LATOSSOLO AMARELO Distrófico húmico textura muito argilosa relevo ondulado e forte ondulado (40 %) + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico húmico textura argilosa relevo forte ondulado (40 %) + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico A moderado textura média e argilosa relevo forte ondulado e montanhoso fase pedregosa e não pedregosa (20 %).
- **LVAd58** - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico textura argilosa muito argilosa (40 %) + LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico textura argilosa (20 %), ambos A moderado relevo forte ondulado + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico A moderado e proeminente textura média e argilosa relevo forte ondulado e montanhoso (20 %) + LATOSSOLO VERMELHO Distrófico argissólico textura argilosa relevo forte ondulado e montanhoso (10 %) + LATOSSOLO AMARELO Distrófico húmico textura muito argilosa relevo ondulado e forte ondulado (10 %).

Portanto, em função do mapeamento citado acima estar em escala de pouco detalhe, algumas classes de solos ficam suprimidas no produto cartográfico, portanto é importante destacar que, apesar de não serem representados no mapa a variação local

dos solos pode ser atribuída a mudanças no relevo, ou seja, a distribuição espacial de atributos do relevo varia na disposição das classes de solos.

Portanto, a fim de minimizar a distorção da escala de trabalho com o mapeamento de solos, foi feita uma dissociação das unidades pedológicas do mapeamento original, e inseridas os solos que não estavam presentes, nesse sentido foram mapeadas novas classes através de observações em campo e de imagens aerofotogramétricas da área. O mapeamento está disponível na figura 19.



**Figura 19:** Solos presentes na Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung

Para a caracterização dos perfis representativos da área de estudo, ao longo dos trabalhos de campos realizados foi aplicada a metodologia desenvolvida por Lemos e Santos (1976), usando as seguintes etapas para o estudo: Transição entre horizontes do solo; Teste de cores - utilizando a tabela munsell de cores; Textura do Solo (Argila, Silte e Areia); Tipo de Estrutura (Laminar, Granular e Blocos); Porosidade (Espaço de Maior Aeração do Solo); Consistência (Grau de agragação do solo – feito nos três estados: seco, úmido e molhado);

A primeira parte consistiu em limpar o perfil com uma enxada, e fazer a medição de cada perfil, utilizando a trena (10m), para ser verificado onde iniciava e terminava cada horizonte do solo, além da utilização da faca para delimitar as linhas de cada horizonte. Após esta etapa, foi feito o teste de cores utilizando a Soil Color Chart para o perfil em modo seco e umedecido. Depois foi feito o teste de textura, onde possibilitou identificar qual o maior tipo de fração granulométrica presente nos horizontes de cada solo, para isso, foi feito o teste da “cobrinha” que possibilitou identificar se o solo era mais siltoso (cobrinha quebrada), ou se era mais argiloso (cobrinha flexível), caso não conseguisse formar uma “cobrinha” na mão, sua fração era identificada como areia - lembrando que para tal teste foi umedecido o solo e depois analisado sua textura.

Na quarta etapa, estrutura do solo, foi utilizada o Manual Método do Trabalho de Campo (LEMOS e SANTOS, 1976), para serem verificadas se os horizontes possuíam estrutura Laminar, Granular ou em bloco, e, também verificar a fração existente. Na etapa seguinte continuou com o uso de tal manual para classificar a Porosidade do horizonte.

Na sexta etapa, consistiu em fazer o teste de consistência, sendo que eles são subdividido em 3 estados – Seco, úmido e Molhado: Quando Seco (foi verificado qual o grau de dureza, ao tentar pressionar um pequeno torrão do horizonte entre os dedos indicador e polegar – Classificados em: Solto, Macio, Ligeiramente Duro, Duro, Muito Duro e Extremamente Duro), Quando úmido (consistiu em umedecer o horizonte, sem ultrapassar a capacidade de campo, e ver qual era o grau de agregabilidade, sendo classificados em: Solto, Muito Friável, Friável, Ligeiramente Firme, Firme, Muito Firme e Extremamente Firme), Quando Molhado foram necessários dois testes Plasticidade (Através dele verificava se o horizonte era Não plástico, Ligeiramente Plástico, Plástico ou Muito Plástico) e Pegajosidade (Consistiu em pressionar o solo molhado entre os dedos indicador e polegar e depois soltá-los para ver qual era o grau



de adesão com os dedos, foram classificados em: Não Pegajoso, Ligeiramente Pegajoso, Pegajoso e Muito Pegajoso).

A última etapa foi concomitante a todas as outras, a redação. Cada uma das etapas supracitadas foram anotadas de acordo com a execução do trabalho. Os respectivos percentuais relativos a área total da BHCY encontram-se no quadro abaixo, são eles:

**Quadro 7:** Classes de Solos presentes na BHCY

<b>Classes de Solos</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	11,14	56,55
Cambissolo Háptico	3,96	20,10
Associação (Latossolo + Cambissolo)	1,84	9,34
Gleissolo Háptico	1,57	7,97
Neossolo Flúvico	0,76	3,86
Neossolo Litólico	0,43	2,18
<b>Total</b>	<b>19,7</b>	<b>100</b>

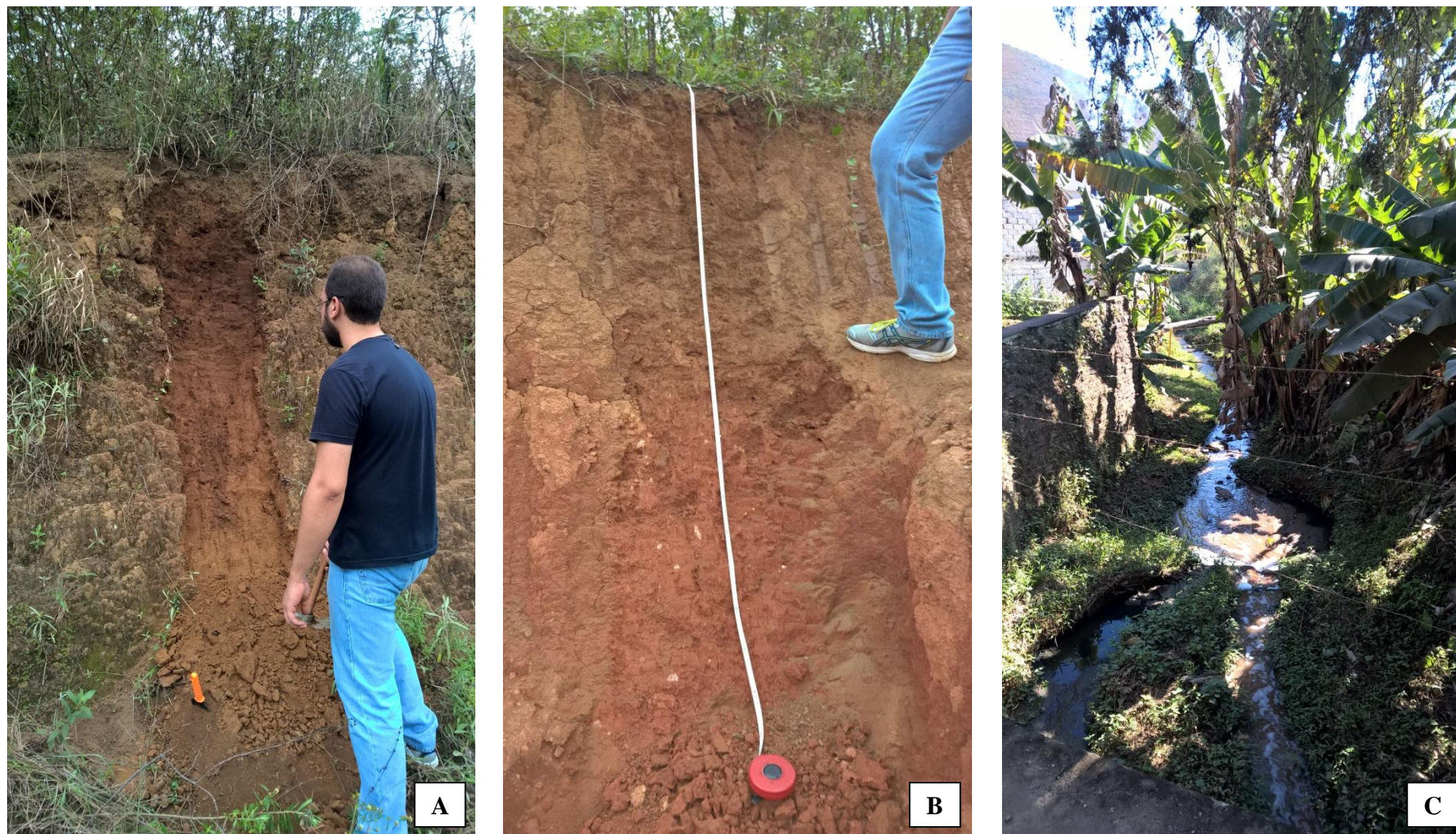
Em relação a primeira unidade, foi verificado a presença de Latossolo Vermelho-Amarelo (LVAd) em quase 57% da bacia com pouco mais de 11km<sup>2</sup> e abrange uma área considerável na BHCY (Figura 20A). É possível encontra-lo e observá-lo em várias partes da bacia. A parte da margem esquerda do córrego do Yung é a qual onde há maior presença dos latossolos, os quais estão ligados a morfologia da área no caso Morrotes e parte dos morros mais declivosos e na parte da margem direita, Colinas e Morrotes mais suavizados.

Os Cambissolos Hápticos (Figura 20B) estão presentes em quase 4km<sup>2</sup> (pouco mais de 20% da área total da BHCY) e estão ligados, principalmente, as porções mais declivosas, íngremes e com maior elevação na região leste da bacia, estão associadas principalmente as regiões compostas por morros. No caso dessa unidade de mapeamento, apresentam horizonte A bem desenvolvido verticalmente e horizonte B pouco profundo. Além disso, possuem grau de erodibilidade diferente em razão da declividade do terreno, teor de silte e espessura do horizonte B (VESTENA & KOPYANA, 2014). No domínio dos “Mares de Morros” o horizonte C tende a ser muito profundo e há uma desproporção do tamanho do solum e solo, caracterizando o rejuvenescimento do processo pedogeomorfológico deste domínio (REZENDE & RESENDE, 1996). Segundo estes autores nas porções mais íngremes, geralmente com o horizonte C exposto, tem maior dificuldade de recomposição da cobertura vegetal,

devido à deficiência de nutrientes e de água estacional, aumentando os processos erosivos.

A BHCY possui alguns problemas para a abertura e análise dos perfis de solo. Durante os trabalhos de campo para fazer a dissociação das classes, certas partes da bacia eram inacessíveis para a realização do mapeamento, pois eram em locais de propriedade privada, ou não havia acesso possível para ser realizada a abertura e análise do perfil. Além disso, certas áreas possuíam alta declividade associada com densa cobertura vegetal, impossibilitando o acesso. Por isso, ocorreu o percentual de 9,35% de associação Latossolo Vermelho Amarelo + Cambissolo Háptico.

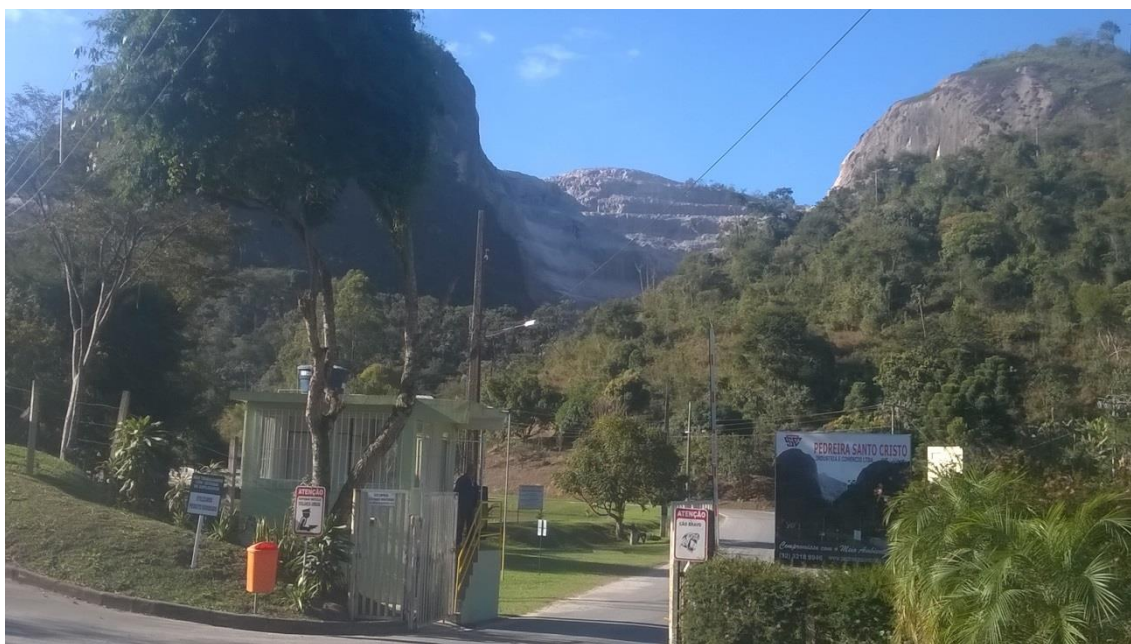
Segundo a EMBRAPA (2006), os Neossolos Flúvicos são, em regra geral, solos minerais não hidromórficos, oriundos de sedimentos recentes referidos ao período Quaternário. São formados por estratificação de camadas de sedimentos aluviais sem relações pedogenéticas entre elas, devido ao seu baixo desenvolvimento pedogenético. No caso da BHCY os neossolos flúvicos encontrados em aproximadamente 3,9% (0,76km<sup>2</sup>) e foram observados através de perfis, apresentaram como característica comum a ausência de horizonte B (Figura 20C). Outra característica observada diz respeito a espessura e granulometria bastante diversificadas, devido a diversidade e a formas de deposição do material originário.



**Figura 20:** Exemplo de Perfis das Unidades de Mapeamento encontradas. A: Latossolo Vermelho-Amarelo, B: Cambissolo Háplico, C: Neossolo Flúvico.



A presença da unidade de Neossolo Litólico abrange 2,18% do total da bacia (0,43km<sup>2</sup>) em estudo, tal solo é localizado principalmente na região de atual da pedreira “Santo Cristo” ao extremo norte da bacia (figura 21), ou seja, é um solo pouco evoluído e sem horizonte B diagnóstico com horizonte A ou hístico com menos de 20 cm de espessura, assentando diretamente sobre a rocha (R) ou sobre horizonte C ou Cr. (EMBRAPA, 2006). Está associado a morfologia de morros com declividades acentuadas (acima de 45%) e altimetria acima de 1000m.



**Figura 21:** Área Mapeada como Neossolo Litólico na porção extremo norte da BHCY.

A última unidade mapeada é a de Gleissolo Háplico, que está presente em aproximadamente 7,97% (1,57km<sup>2</sup>) da BHCY, encontrada e distribuída em áreas de morfologia planas (planícies) da região leste da bacia conforme pode ser visualizado na figura 22 e próximo à foz com o Rio Paraibuna. Segundo a EMBRAPA (2006), são solos minerais, hidromórficos, desenvolvidos de sedimentos recentes não consolidados, de constituição argilosa, argilo-arenosa e arenosa, do Holoceno, apresentando horizonte glei dentro dos primeiros 50 cm da superfície do solo com presença de cores de redução (acinzentado). Além disso, uma característica encontrada na área de gleissolo diz respeito à variação de um solo mal drenado, devido a saturação permanente resultado da presença de um dos afluentes do córrego do Yung.



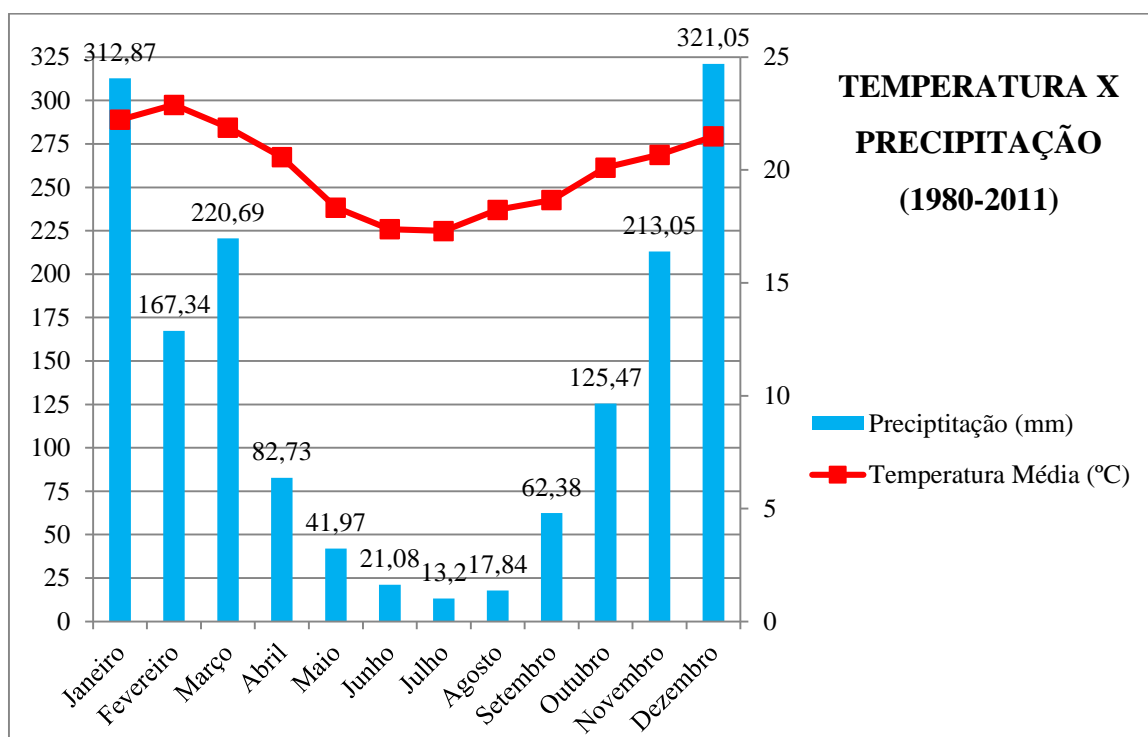
**Figura 22:** Área da Pedoforma de Fundo de Vale com o Gleissolo Háptico, é nítido a alteração química sofrida pelo material em ambiente redutor.

#### 4.5. ASPECTOS CLIMÁTICOS

De acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007) - a partir da classificação climática de Köppen, é possível definir que o clima de Juiz de Fora (cidade onde se localiza a bacia) transita entre Cwa e Cwb. Isso porque, o mês mais frio possui média entre  $-3^{\circ}\text{C}$  e  $18^{\circ}\text{C}$ , com o mês moderadamente mais quente tendo uma temperatura média maior do que  $10^{\circ}\text{C}$ ; a distribuição sazonal de precipitação se concentra, principalmente, nos meses de verão; e, possui um verão quente, com temperatura média maior do que  $22^{\circ}\text{C}$  (figura 23). Além disso, apresenta duas estações bem definidas: uma, que vai de outubro a abril, com temperaturas mais elevadas e maiores precipitações pluviométricas, e outra de maio a setembro, mais fria e com menor presença de chuvas.

Uma das características do verão local, além dos elevados índices de calor e umidade, é a presença de chuvas do tipo convectivo, típicas de final de tarde e início da noite, acompanhadas de elevadas e concentradas precipitações pluviométricas (PJF, 2000). Além disso, nos meses mais chuvosos (Dezembro e Janeiro), há a atuação de sistemas atmosféricos específicos no município de Juiz de Fora, e toda a Região. O sistema que proporciona as maiores precipitações nesse período é a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), caracterizada por uma faixa de nebulosidade

orientada no sentido noroeste-sudeste, cuja área de atuação engloba o centro-sul da Amazônia e Regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. Está associada a uma zona de convergência do fluxo de umidade na baixa troposfera e tem uma função importante no regime de chuvas das Regiões Sul/Sudeste do Brasil no período do verão. A ZCAS associada ao sistema de Frentes pode aumentar, consideravelmente, o volume de precipitação registrada, que por sua vez, pode deflagrar os processos de ocorrência de escorregamentos em encostas.



**Figura 23:** Média das séries Precipitação Média x Temperatura Média (1980 - 2011). Fonte: Pacheco; Silva Júnior e Oliveira (2012).

O clima da cidade pode também ser definido, genericamente, como Tropical de Altitude, por corresponder a um tipo tropical influenciado pelos fatores altimétricos, em vista do relevo local apresentar altitudes médias entre 700 e 900 m, que contribuem para a amenização das suas temperaturas.

## 5 - MATERIAIS E MÉTODOS

Dentre os materiais e procedimentos metodológicos cabem destacar aqueles que foram utilizados para a realização do estudo em questão. Primeiramente, serão apresentados bases que embasaram a presente pesquisa: Modelo Digital de Elevação, Parâmetros físico-hidrológicos da área, e pontos de cicatrizes de escorregamentos. Na segunda etapa será apresentada a metodologia que foi utilizada para o estudo: Módulo SINMAP, a metodologia de análise de riscos, e o ambiente de pré e pós-processamento dos dados (ARCGIS).

### 5.1 - MATERIAIS

Os materiais utilizados nesse trabalho foram de fundamental importância para a compreensão e identificação dos resultados obtidos. Tais dados foram adquiridos através de acervos bibliográficos e cartográficos e estão compilados em quatro itens:

- 1) Mapeamento de Uso e Ocupação da Terra, que constitui a base cartográfica para a compreensão da evolução urbana ao longo dos períodos de 1968, 1983 e 2010, além de ter sido base para a verificação das áreas passíveis de ocupação de acordo com a legislação federal, e, permitir o cruzamento para a visualização da evolução do risco na BHCY;
- 2) Modelo Digital de Elevação e Mapa de Declividade, que permitiram a utilização do Modelo SINMAP e a verificação da legislação de parcelamento do solo, respectivamente (ESTEIO, 2007);
- 3) Parâmetros do Modelo SINMAP, que possibilitaram o ajuste mais fino para a criação do mapa de estabilidade de encostas, e;
- 4) Pontos de Cicatrizes de Escorregamentos, que foram utilizados para validar o modelo SINMAP para a BHCY;

### 5.1.1 – MAPEAMENTO DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

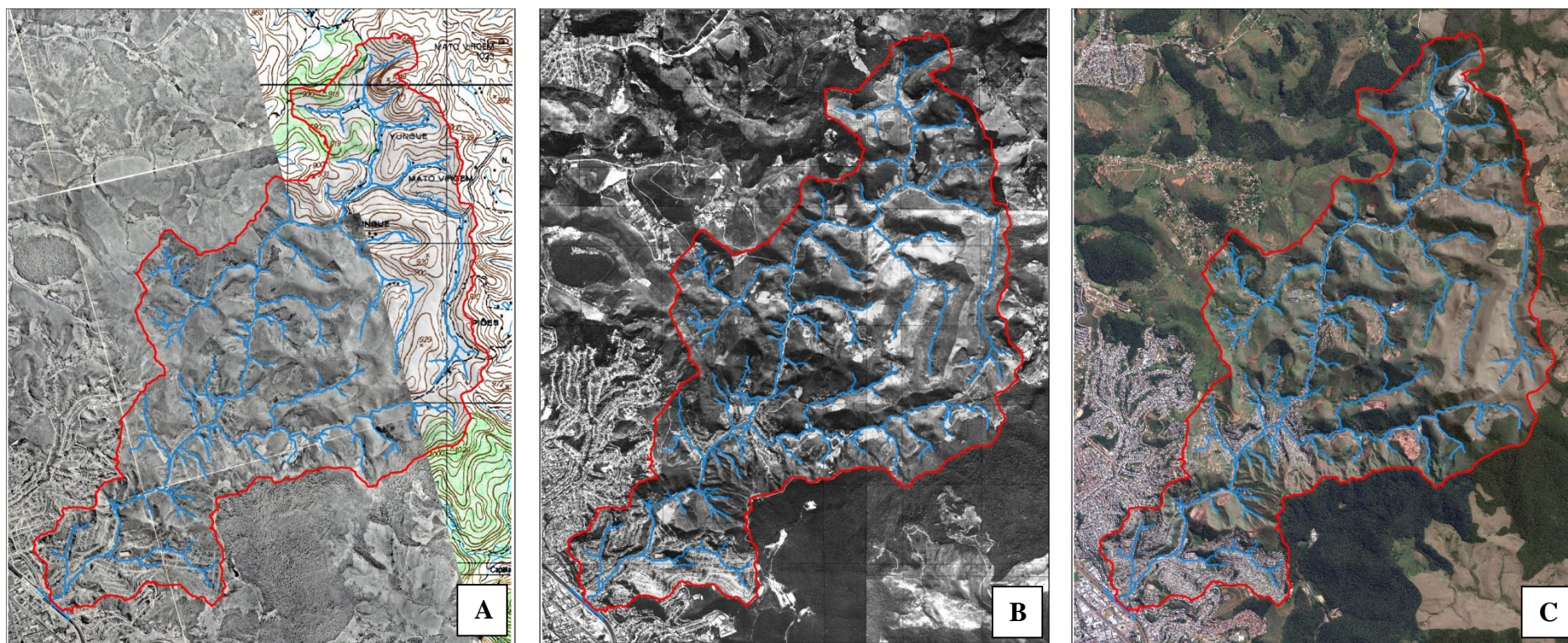
A elaboração das cartas de uso e cobertura da terra foram feitas a partir de classificações manuais do mosaico de imagens referentes a área de recorte da BHCY a partir dos levantamentos aerofotogramétricos dos anos de 1968, 1983 e 2010 cedidos pela prefeitura de Juiz de Fora. O mosaico das imagens de cada um dos períodos encontra-se entre as coordenadas 670500/670000E e 7593000/7602000N, georreferenciado em SIRGAS 2000/23S (figura 24). A escala utilizada para a classificação das imagens foi de 1:5000, pois assim, não haveria generalização das classes encontradas, nem excesso de informações das mesmas.

O primeiro mosaico de imagens, referente ao ano de 1968, parte de uma base cuja a articulação abrange 19 pranchas do perímetro urbano do município de Juiz de Fora, e é o primeiro levantamento aerofotogramétrico feito pela Prefeitura Municipal com fins de planejamento. A execução do levantamento deste material foi feita pela empresa LASA – Engenharia e Prospecções S. A. em setembro de 1968, com escala aproximada de 1:5000. Percebe-se que tal levantamento não fez a cobertura completa da BHCY, cerca de aproximadamente 32% da área - 6,2km<sup>2</sup>. Por se tratar de uma área rural da Bacia, optou-se pelo complemento da área com o levantamento topográfico da carta do IBGE SF-23-X-D-IV-1 em escala de 1:50000 do ano de 1966, a fim de minimizar essa falta de material para o período. Essa carta do IBGE possui registros de uso e ocupação, além da cobertura vegetal para a presente área.

O segundo mosaico de imagens, referente ao ano de 1983, parte de uma base cuja a articulação possui 72 pranchas que compõem área total do município de Juiz de Fora. Devido ao crescimento urbano do município, esse foi o primeiro levantamento aerofotogramétrico feito pela Prefeitura Municipal que cobre efetivamente os 1429km<sup>2</sup> de área do município.

A terceira imagem, referente ao ano de 2010, é o levantamento mais recente para a cobertura completa do município, trata-se de um imagem do Satélite QuickBird 2 com resolução espacial de 0,6 metros com data de agosto/2010, adquirida pela Prefeitura de Juiz de Fora e cobre efetivamente os mais de 1429km<sup>2</sup> de área do município.





**Figura 24:** Imagens utilizadas para os mapeamentos de uso e ocupação da terra para os anos de 1968 (A) , 1983 (B) e 2010 (C) para a Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung. Nas imagens o vermelho representa o limite da bacia, e o azul a drenagem.

No quadro 8 estão sintetizadas algumas informações sobre a base de cada um dos levantamentos utilizados para o presente estudo.

**Quadro 8:** Informação sobre os levantamentos utilizados para os mapeamentos de Uso e Ocupação da Terra

<b>Ano da Imagem</b>	<b>Tipo de Levantamento</b>	<b>Escala do Levantamento</b>	<b>Resolução do Raster</b>
1968	Aerofotogramétrico	1:5700	1,5m
1983	Aerofotogramétrico	1:3800	1m
2010	Imageamento via Satélite	1:2300	0,6m

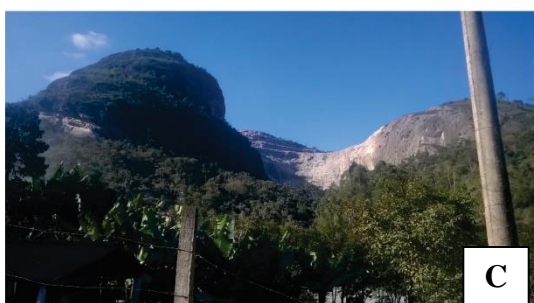
Destaca-se que dentre os 3 tipos de levantamentos: no primeiro período (1968) ainda não havia cobertura de imagens de satélite; no segundo momento (1983), já haviam satélites em operação (Projeto Landsat), porém a capacidade de resolução ainda era bastante limitada; o levantamento de 2010 já contou com essa vantagem no imageamento o que possibilitou e facilitou a aquisição, manipulação e armazenamento dos dados capturados. Mas, é importante ressaltar que são materiais de grande valia para a análise e compreensão da evolução temporal local, indispensáveis a esse tipo de estudo.

Para o processo de classificação das imagens, a segmentação das classes foi feita manualmente – através de vetorização na ferramenta “edição de polígonos” do software de geoprocessamento ArcGIS, tal procedimento foi utilizado devido a possível ocorrência de erros e problemas na geração das classes do mapa, caso fosse feito de forma automatizada. Diante da utilização do mosaico de imagens, foram definidas as seguintes classes de uso e cobertura da terra (Figura 25): Áreas Edificadas<sup>21</sup> (A), que representam os locais com consolidação da ocupação urbana; Agricultura (B), que constituem pequenas plantações de cultivo familiar; Afloramentos Rochosos (C), que são áreas com exposição do material rochoso presente; Mineração (C), que são locais de extração de rochas voltadas ao setor comercial; Solo exposto (D), áreas de corte de

21 - De acordo com a Lei Nº 5.172, de 25 de outubro de 1966 – Cap. III, Seç. II, são áreas em que deve observar o requisito mínimo da existência de melhoramentos em pelo menos dois dos incisos seguintes, construídos ou mantidos pelo Poder Público: I - meio-fio ou calçamento, com canalização de águas pluviais; II - abastecimento de água; III - sistema de esgotos sanitários; IV - rede de iluminação pública, com ou sem posteamento para distribuição domiciliar; V - escola primária ou posto de saúde a uma distância máxima de três quilômetros do local considerado.

encostas e/ou remoção de solo voltado a atividades comerciais (saibreiras); Pastagem (E), áreas que compuseram cobertura vegetal arbórea pretérita, mas, que devido ao uso extensivo, deram lugar à agricultura e pecuária; Silvicultura (F) composta pelo plantio de eucaliptos voltados a produção de celulose; Vegetação Mista (G), composta por vegetação de porte médio (rasteira, arbustiva e arbórea espaçada); e Vegetação Arbórea (H), a qual é oriunda da Mata Atlântica, marcada por resquícios de Floresta Estacional Semidecidual;





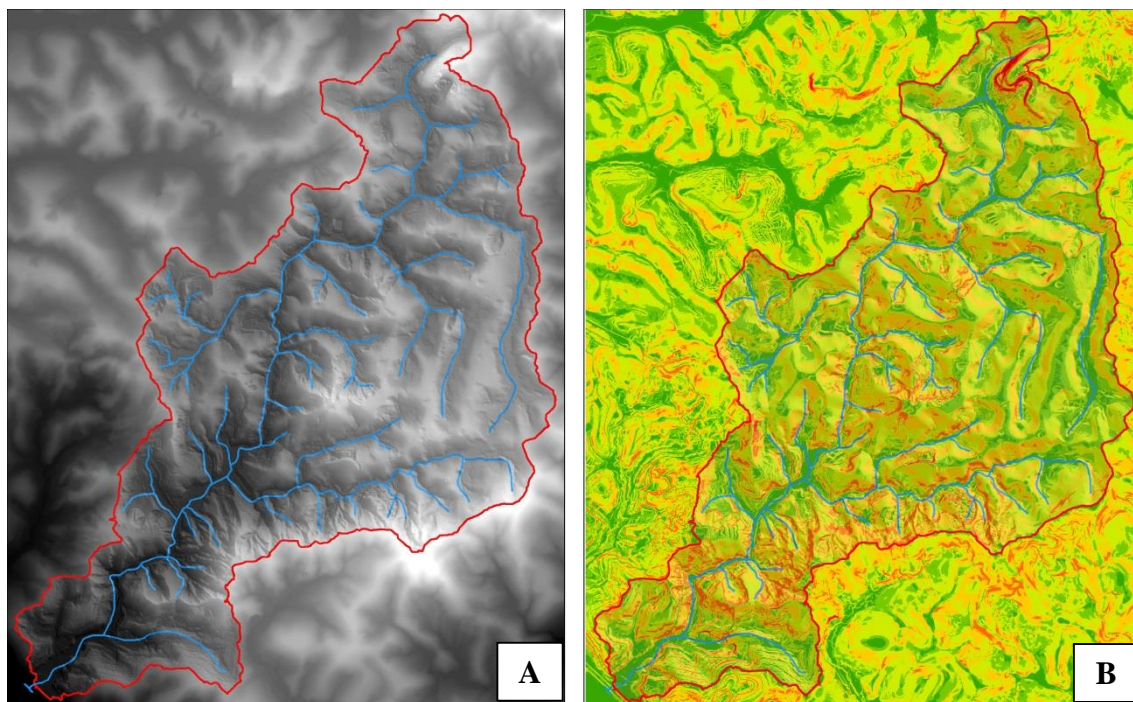
**Figura 25:** Classes de Uso e Cobertura da Terra identificadas para os mapeamentos.

### 5.1.2 - MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE) E DECLIVIDADE DO TERRENO

Nesse caso, foi utilizado o modelo topográfico de perfilhamento à Laser, o Light Detection and Ranging (LiDAR). O intervalo de coordenadas utilizado para a elaboração do MDE foi 670500/670000E e 7593000/7602000N georreferenciado em SIRGAS2000/23S. Tal material foi gerado pela empresa ESTEIO no ano de 2007 e constitui o levantamento topográfico mais recente para o município e foram cedidos pela Defesa Civil.

Para a obtenção do Modelo Digital de Elevação (MDE) – que subsidiou a aplicação do modelo SINMAP – foi necessária a interpolação das curvas de nível obtidas através de perfilhamento a Laser, as quais estão disponíveis com equidistância de 1 (um) metro, o passo para a interpolação foi feito através do software ArcGIS, utilizando a ferramenta disponível no ArcToolbox: *Spatial Analyst > Interpolação > Topo para Raster* (Figura 26A).

Para a geração da carta de declividade – que possibilitou o mapeamento de evolução do parcelamento e ocupação da terra – foi utilizado o modelo digital de elevação (MDE) com as especificações citadas no primeiro parágrafo deste item, o qual foi inserido na ferramenta disponível no ArcToolbox: *Spatial Analyst > Superfície > Declividade* – disponível no software ArcGIS. As classes foram definidas em intervalos manuais após a criação do modelo de declividade, utilizaram-se os seguintes intervalos: < 6%; 6 –15%; 15 - 30%; 30 - 45%; 45 – 75%; > 75%. Sendo que as três primeiras encontram-se dentro da legislação de ocupação (BRASIL, 1979) e as três últimas estão situadas fora da mesma (Figura 26B).



**Figura 26:** A figura (A) representa o modelo digital de elevação gerado a partir da interpolação dos dados; e a figura (B) representa a declividade gerada a partir do modelo digital de elevação para a Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung. Fonte: MENON-JUNIOR (2014)

### 5.1.3 - PARÂMETROS DE ENTRADA DO MODELO SINMAP

O SINMAP está relacionado a fatores hidrológicos e a fatores relacionados à fragilidade do solo (coesão, ângulo de atrito do solo, densidade do solo e da água), teve que ser alimentado por parâmetros de entrada relacionados à precipitação da região, ao tipo de solo e ao relevo. Condicionado às características da área de estudo como o clima, utilizou-se dados pluviométricos dos dias 29 e 30/11/2015, referentes à série de dados disponíveis no INMET para o ano de 2015 e considerados os dias mais críticos em termo de precipitação, totalizando um total de 101,4mm de chuva acumulados (INMET, 2015).

Os parâmetros relacionados aos solos (Ângulo de atrito, coesão adimensional, densidade do solo) foram condicionados a valores encontrados em pesquisas feitas na área de estudo, a qual se mostrou a compatibilização do tipo de solo, os quais tiveram resultados satisfatórios e adequados para a inserção nesta pesquisa, isso porque são os solos predominantes nas áreas de encostas íngremes onde ocorrem a maior parte dos processos de escorregamentos. Neste caso, para a validação efetiva do mapeamento de

estabilidade de encostas foram inseridos valores de parâmetros relacionados ao Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico, CXbd (FONSECA et al., 2016), isso porque este é o solo predominante nas encostas mais declivosas conforme pode ser visto nas figuras 19 e 26B.

A seguir, estão descritos os parâmetros para o cálculo do Índice de Estabilidade exigidos na calibração do modelo, e concomitante, os valores tabelados, a partir das referências consultadas para a execução do trabalho:

- T/R (limite inferior): Valor do limite inferior para a razão de transmissividade ao índice de recarga (valor padrão: 2000);
- T/R (limite superior): Valor do limite superior para a razão de transmissividade ao índice de recarga (valor padrão: 3000);

Outro parâmetro é a coesão adimensional, pois leva em consideração a coesão da raiz e do solo, tanto em condição úmida, quanto em condição saturada. Abaixo estão descritos os padrões do modelo SINMAP. No quadro 9 são apresentados os valores calculados para a BHCY.

- Coesão adimensional (limite inferior): Valor do limite inferior que leva em conta a coesão do solo e da raiz (valor padrão: 0,0);
- Coesão adimensional (limite superior): Valor do limite superior que leva em conta a coesão do solo e da raiz (valor padrão: 0,25);

**Quadro 9:** Parâmetros de entrada utilizados no modelo SINMAP

<b>Parâmetros do SINMAP</b>	<b>Valores:</b>		<b>Referências utilizadas</b>
Linha de umidade do SA Plot (%)	20		Definido pelo autor
Número de pontos no AS Plot	1000		Definido pelo autor
Densidade da água (Kg/m <sup>3</sup> )	1000		Constante universal
Ângulo de atrito interno do solo (°)	Mínimo	Máximo	Fonseca et. al. (2016)
	29	33	
C = Coesão adimensional	Mínimo	Máximo	Fonseca et. al. (2016)
	0,143	0,714	
ps = densidade do solo (kg/m <sup>3</sup> )	1400 (Valor médio)		Fonseca et. al. (2016)
g = aceleração da gravidade (m/s <sup>2</sup> )	9,81		Constante universal
T/R (m)	Mínimo	Máximo	Fonseca et al. (2016); INMET (2014)
	1,5	350	



O Ângulo de atrito é outro parâmetro considerado, sendo este o ângulo (29° mínimo e 33° máximo) necessário para que haja o atrito entre o solo e o substrato. Abaixo estão os valores padrões do modelo SINMAP, e, no quadro 9, seguem os valores definidos para serem utilizados na BHCY retirados do trabalho de Fonseca (2016), que encontra tal intervalo como aquele mais frequente para esse tipo de episódio:

- Ângulo [°] (limite inferior): Valor do limite inferior do ângulo de atrito do solo (valor Padrão: 30°);
- Ângulo [°] (limite superior): Valor do limite superior do ângulo de atrito do solo (valor Padrão: 45°);

A seguir estão os demais parâmetros de entrada do modelo SINMAP, seus significados e valores padrões, além disso, constam os respectivos valores utilizados para este trabalho (Quadro 9):

- Linha de umidade do SA Plot (%): Este valor representa o limite de umidade entre as zonas de baixa umidade e parcialmente úmido no mapa de saturação (valor padrão: 10%).
- Aceleração gravitacional (g), (valor padrão: 9,81m/s<sup>2</sup>);
- Densidade do solo (ps), (valor padrão: 2000kg/m<sup>3</sup>);
- Densidade da água (pw), (valor padrão: 1000kg/m<sup>3</sup>);
- Número de pontos no AS Plot, (valor padrão de 2000).

Todos estes parâmetros acima citados são responsáveis pela calibração, simulação e validação do modelo. Pois, é a partir destes dados que o modelo simula e calibra todos os aspectos morfológicos, hidrológicos e geotécnicos apropriados à bacia hidrográfica em estudo.

#### **5.1.4 - CICATRIZES DE ESCORREGAMENTOS**

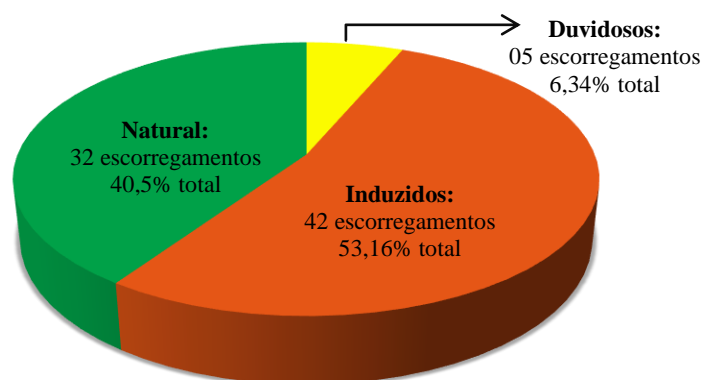
Para a validação da análise das ocorrências de movimentos de massa na BHCY, foi necessário recorrer aos pontos referentes aos locais onde ocorreram os



escorregamentos (pontos de cicatrizes). Diante disso, é imprescindível buscar esses dados no trabalho de Faria (2013) e, a partir das atualizações, inserir as novas ocorrências destes processos.

Abaixo estão descritos os tipos de escorregamentos encontrados (quanto a sua origem) BHCY e no gráfico da figura 27 estão representadas as quantidades e proporcionalidades dos escorregamentos encontrados.

- **Duvidoso:** Há dúvida se o escorregamento tem origem natural, ou se é causado por origem antrópica;
- **Induzido:** É o tipo de escorregamento que tem sua origem devido a interferências de ações humanas (por exemplo: corte de talude provocando um deslocamento do material que está na parte superior da encosta);
- **Natural:** É o tipo de escorregamento que possui sua origem a partir de causas naturais, ou seja, aquelas dadas por descontinuidade do material, saturação hídrica do solo e etc.



**Figura 27:** Proporcionalidade de Escorregamentos na BHCY

Tais processos foram divididos nestas três classes ao serem analisados em campo e através de imagens aéreas dos locais onde ocorrem os escorregamentos. Isso porque os tipos (quanto à origem) Naturais e Induzidos são nítidos quando visualizados destas duas formas (em campo e imagem aérea), porém os duvidosos podem ter sido “mascarados” por ação antrópica e/ou serem escorregamentos anteriores à ocupação urbana na área.

## **5.2 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Neste item é apresentado quais foram as metodologias procedimentos e técnicas executadas ao longo do trabalho: 1 – ArcGIS, como a ferramenta para pré e pós-processamento dos dados; 2 - Módulo SINMAP que possibilitou gerar a análise de estabilidade de encostas; 3 – Legislação de parcelamento do Solo, que possibilitou identificar áreas que podem ser ocupadas (ou não) no meio urbano, e; 4 – Análise de Riscos, que possibilitou compreender e discutir a evolução areal de setores de risco na BHCY;

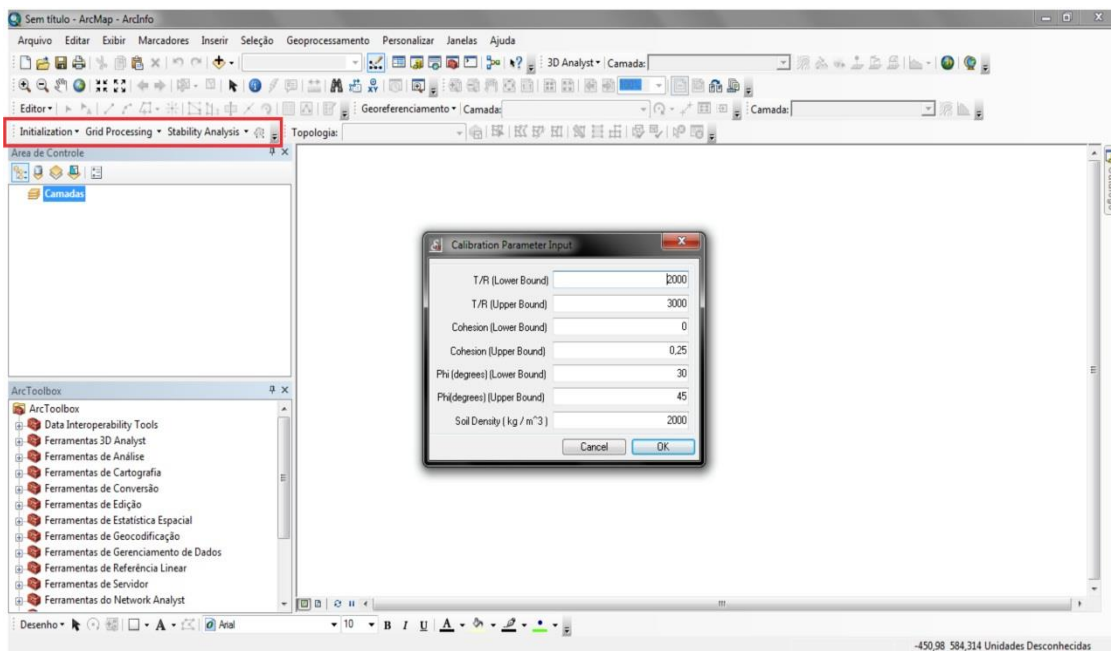
### **5.2.1 – ARCGIS**

Diante dos diversos sistemas de processamento de informação geográfica, o ArcGIS foi utilizado para o pré e pós processamento dos dados trabalhados, pois combina um ambiente necessário para inserção, edição, manipulação e análise dos mapas. Além disso, no bojo de sua estrutura, possui uma interface que permite a execução do módulo SINMAP, ou seja, consegue abarcar as diversas informações, modelos, e processamentos necessários ao estudo em questão (mapeamento de uso e ocupação e outros), além de possibilitar a sobreposição de mapas para o estudo de evolução do risco.

### **5.2.2 – MODELO SINMAP 2.0**

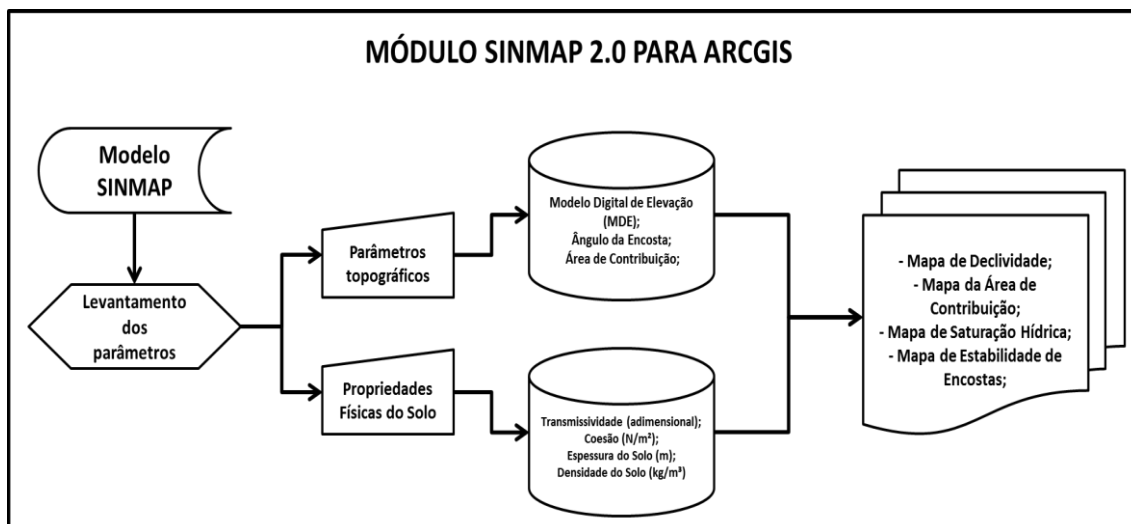
O módulo SINMAP 2.0 para ArcGIS é gratuito, e pode ser obtido pelo sítio eletrônico da Universidade do Estado de Utah (<http://hydrology.usu.edu/sinmap2/>). Através desse módulo é possível trabalhar com o modelo SINMAP em ambiente GIS. Portanto, permite que o modelo trabalhe o MDE – modelo digital de elevação, onde são

obtidas as variáveis topográficas, declividade e demais informações referentes ao modelo. A qualidade destas informações depende da escala do mapeamento básico utilizado. O índice de estabilidade (IE) é calculado para cada célula (pixel) separadamente. Na figura 28, é mostrada a interface do modelo para o software ArcGIS – Destaque em vermelho para a barra de ferramentas do SINMAP.



**Figura 28:** Módulo SINMAP em Ambiente de Trabalho ARCGIS

A figura 29 apresenta o fluxograma de funcionamento do módulo SINMAP 2.0. Para a operacionalização do módulo é necessário que sejam inseridos os parâmetros da área de estudo, já levantados previamente. Tais dados se dividem em: Topográficos (Modelo Digital de Elevação, Ângulo da Encosta e a Área de Contribuição da Bacia), e Propriedades Físicas do Solo (Transmissividade, Coesão, Espessura e Densidade). Após esta etapa, o módulo fará o processamento dos dados e compilará os mapas de: Declividade, Área de Contribuição, Saturação Hídrica e, Estabilidade de Encostas.



**Figura 29:** Fluxograma de Funcionamento do Módulo SINMAP 2.0

Entre os resultados gerados por esse modelo, este trabalho se ateve principalmente ao mapa de Estabilidade de Encostas, pois ele foi de vital importância para o cruzamento e geração dos mapas de evolução do risco.

### 5.2.3 – ANÁLISE DA LEGISLAÇÃO PARA USO E PARCELAMENTO DO SOLO

Para que fosse compreendido se o uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung cumpria ou não às exigências da legislação federal e municipal, recorreu-se à Lei federal nº 6766 (BRASIL, 1979), e em âmbito local a lei municipal nº 6908 (JUIZ DE FORA, 1986). Em geral, possuem vários pontos semelhantes, isso porque a Lei municipal foi baseada na lei federal, porém o município possui algumas especificidades. Portanto, a Lei nº 6766 (BRASIL, 1979, Cap I, art. 3º, parágrafo único) coloca os seguintes itens de restrição ao parcelamento:

“Não será permitido o parcelamento do solo:

- I - em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas;
- II - em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados;
- III - em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes;
- IV - em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação;

V - em áreas de preservação ecológica ou naquelas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção.”

A Lei municipal nº 6908 (JUIZ DE FORA, 1986, Cap. II, Sec I, art. 6º) acrescenta ainda os seguintes itens:

“Nenhuma modalidade de parcelamento do solo será permitida em:  
VI - áreas contendo matas ou florestas, sem prévia manifestação favorável das autoridades competentes;  
VII - áreas com reservas naturais que o Poder Público tenha interesse em sua defesa e proteção;  
VIII - área de beleza natural paisagística de interesse público.”

Nesse sentido, foi buscado na literatura, principalmente no Plano Diretor do Município (PJF, 2004), dados relativos aos itens de I a V da legislação federal e de VI a VIII da legislação municipal. Na área onde se encontra a BHCY, apenas o item IV – que se refere ao parcelamento do solo em áreas com declividade acima de 30%, está em inconformidade, não ocorrendo a violação dos demais itens. Sendo apenas o item VI verificado após o mapeamento feito para os três períodos.

Portanto, em virtude desses aspectos, foram utilizados os mapeamentos de uso e ocupação do solo (realizados a partir do item 5.1.1), a fim de identificar a evolução da ocupação da área urbana em áreas com declividade acima de 30%, e verificar se a expansão urbana também se direcionou para algum remanescente de mata presente na área de estudo.

#### **5.2.4 – ANÁLISE DE RISCOS**

Para compreender a evolução das áreas de riscos, presentes na Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung, foram realizadas integrações dos diversos Usos e Cobertura da Terra referente aos anos 1968, 1983 e 2010 com o mapa de Índice de Estabilidade (IE) de Encostas. Este, obtido a partir da utilização do MDE, dos parâmetros das propriedades físicas, hidrológicas, e do solo (rever Quadro 9), para assim serem cruzados com as imagens de cobertura da área.

As bases cartográficas de Índice de Estabilidade e Uso da Terra e Vegetação foram sobrepostas no software ArcGIS para geração da carta de risco. Nesta etapa, foram definidos os pesos referentes a cada mapa utilizado, sendo que o peso consiste no

grau de importância de cada plano de informação usado. Para a sobreposição dos mapas referentes ao risco ambiental, foi utilizada a ferramenta “Sobreposição Ponderada”, do software ArcGIS, tal ferramenta possibilitou atribuir valores de peso e influência, nele há várias escalas de avaliação para atribuição de valores para classes de mapas a serem sobrepostos: escala de 1 a 9, 1 a 5, 1 a 3, -1 a 1, -5 a 5 e -10 a 10. Para o presente estudo, adotou-se para avaliação da sobreposição a escala de 1 a 9.

No quadro 10, há um quadro de atribuição de pesos e notas referentes às classes de cada mapa. Para cada atributo utilizado quanto maior for o valor, maior será o potencial de risco ambiental. A definição de notas para as classes de cada mapa devem estar de acordo com o grau de risco que cada uma pode apresentar, ou seja, no caso do mapa de estabilidade de encostas, as notas também variam de 1 a 9. As classes com menor valor são aquelas que apresentam menor risco (Estável, Moderadamente Estável e Pouco Estável), e por sua vez, as classes com maior valor são aquelas que apresentam maior risco (Pouco Instável, Moderadamente Instável e Instável), ver Quadro 11.

**Quadro 10:** Exemplo de atribuição de pesos e notas para um quadro de risco ambiental

<b>ATRIBUTO</b>	<b>CLASSE</b>	<b>NOTA</b>	<b>INFLUÊNCIA</b>
<b>Índice de Estabilidade</b>	Instável	9	50%
	Moderadamente Instável	8	
	Pouco Instável	5	
	Pouco Estável	3	
	Moderadamente Estável	2	
	Estável	1	
<b>Uso e ocupação da terra</b>	Área Edificada	9	50%
	Agricultura	4	
	Silvicultura	3	
	Mineração	2	
	Pastagem	2	
	Solo Exposto	1	
	Vegetação Mista	1	
	Afloramentos Rochosos	1	
	Vegetação Arbórea	1	

No caso do uso e ocupação da terra, é respeitada a mesma consideração do mapa anterior, ou seja, as áreas com Vegetação Arbórea ou Mista e Afloramentos Rochosos e Solo Exposto possuem as menores notas. Mineração e pastagem, Silvicultura e Agricultura receberam notas maiores e gradativas por se tratarem de classes que podem provocar perda econômica a partir de eventos de magnitudes maiores. E, as áreas mais adensadas e edificadas receberiam maior pontuação, ou seja, os valores foram arbitrados levando em consideração a possibilidade de perda de vida. Para o mapa de estabilidade

de encostas, as classes Pouco Instável, Moderadamente Instável e Instável receberam pontuação 5, 8 e 9, respectivamente, levando em consideração mesmo critério aplicado ao mapa de uso e ocupação da terra. Definidas essas etapas, foi obtido como resultado, o mapa de risco para cada ano determinado neste estudo, e assim, foi possível definir quais são as áreas e os principais vetores de crescimento areal de risco na BHCY. No quadro a seguir (Quadro 11) há a descrição das classes de risco adotadas para os mapeamentos, de acordo com o grau de probabilidade e as notas obtidas.

**Quadro 11:** Graus de Probabilidade de Risco e seus fatores relacionados

<b>Grau de Probabilidade</b>	<b>Descrição<sup>22</sup></b>
<b>Muito Baixo</b> (Notas 1, 2 e 3)	<p>Os fatores levados em consideração para este grau de probabilidade estão associados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Os condicionantes de estabilidade do terreno (Coesão, ângulo de atrito da encosta e transmissividade) são de Baixíssima potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos.</li> <li>• Pode provocar perdas Baixíssimas ou nulas para a população: Perda de solo em áreas de pastagem ou de Vegetação Arbórea.</li> <li>• Mantidas as condições existentes a ocorrência de eventos destrutivos no período compreendido por uma estação chuvosa é praticamente nula ou inexistente</li> </ul>
<b>Baixo</b> (Notas 4 e 5)	<p>Os fatores levados em consideração para este grau de probabilidade estão associados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Os condicionantes de estabilidade do terreno (Coesão, ângulo de atrito da encosta e transmissividade) são de Baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos.</li> <li>• Pode provocar perdas baixas para a população: Perda de solo em áreas de pastagem ou de Vegetação Arbórea; Perda de pequenos cultivos ligados a agricultura e silvicultura.</li> <li>• Está ligado ao Risco Aceitável, nível para o qual nós estamos preparados para aceitá-lo como ele é, sem considerar seu gerenciamento. A sociedade geralmente não considera justificável gastos adicionais para redução destes riscos.</li> </ul>
<b>Médio</b> (Nota 6)	<p>Os fatores levados em consideração para este grau de probabilidade estão associados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Os condicionantes de estabilidade do terreno (Coesão, ângulo de atrito da encosta e transmissividade) são de media potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos.</li> <li>• Podem vir a apresentar algum(s) sinal/feição/evidência(s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens). A classe de uso e ocupação da terra pode provocar perdas moderadas para a</li> </ul>

22 - Condicionantes como Coesão e Transmissividade comportam-se como variáveis diretamente proporcionais, ou seja, quanto maior o valor menor é o desequilíbrio presente para a deflagração dos escorregamentos. No caso do Ângulo de atrito da encosta, o processo é inverso, pois quanto maior a inclinação da encosta, maior a probabilidade de desestabilização da encosta e posterior ocorrência de escorregamentos.

	<p>população (pequenos escorregamentos que afetam vias públicas sem incapacitar o acesso da população a outros espaços públicos).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Está ligado ao Risco Tolerável, ou seja, um risco que a sociedade está disposta a aceitar para viver com ele a fim de obter certos benefícios líquidos, na confiança que este risco está sendo propriamente controlado, mantido sob inspeção e que será reduzido quando possível.</li> </ul>
<p><b>Alto</b> <b>(Notas 7 e 8)</b></p>	<p>Os fatores levados em consideração para este grau de probabilidade estão associados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Os condicionantes de estabilidade do terreno (Coesão, ângulo de atrito da encosta e transmissividade) de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos.</li> <li>• Podem vir a apresentar significativo(s) sinal/ feição/ evidencia(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc.).</li> <li>• Pode provocar perdas elevadas para a população: Escorregamentos que derrubam muros e causam pequenos danos residenciais e pequenos danos a saúde humana, ou seja, trincas nas paredes, ferimentos em pessoas por pequenos danos; Interrupção de tráfego em vias públicas e desestruturação de parte de serviços essenciais – água, luz e telefone.</li> <li>• Está ligado ao Risco Individual, isto é, o risco de morte e/ou danos para qualquer indivíduo identificável que vive em uma zona exposta ao perigo, ou quem segue um padrão particular de vida que o submete a consequências deste perigo (de escorregamento, no caso). As condições para a ocorrência desses eventos são as ocorrências de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</li> </ul>
<p><b>Muito Alto</b> <b>(Nota 9)</b></p>	<p>Os fatores levados em consideração para este grau de probabilidade estão associados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Os condicionantes de estabilidade do terreno (Coesão, ângulo de atrito da encosta e transmissividade) de altíssima potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos.</li> <li>• Podem vir a apresentar sinais/feições/evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamentos, feições erosivas.) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo em avançado estágio de desenvolvimento, é a condição mais crítica.</li> <li>• Pode provocar perdas extremamente elevadas para a população: Escorregamentos que derrubam muros e causam grandes danos residenciais, ou seja, perdas econômicas e de vidas; Desestruturação completa de serviços básicos (água, luz e telefone), Interrupção do tráfego por completo.</li> <li>• Está ligado ao Risco Social, que é o risco de múltiplos danos ou mortes para toda a sociedade, um risco no qual a sociedade poderá carregar o peso de um acidente causando várias mortes, injúrias, perdas financeiras, ambientais, etc. É muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</li> </ul>



## **6 – RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A partir do que foi proposto nos objetivos do trabalho, neste capítulo serão apresentados os resultados e discussões. Este capítulo busca interligar os aspectos teóricos da Revisão Bibliográfica - sobre os diferentes assuntos abordados, e a prática – referente à utilização dos Materiais e Métodos e técnicas apresentadas.

A estrutura deste capítulo está disposta da seguinte forma: Primeiramente, serão apresentadas as cartas de Uso e ocupação da Terra referente aos anos de 1968, 1983 e 2010, e a discussão da presença das diferentes classes e a sua relação com a BHCY; No segundo momento são apresentados os mapas de evolução urbana em correlação com a legislação vigente para parcelamento e ocupação do solo para cada período proposto do estudo; No terceiro momento, é apresentado o Mapa de Estabilidade de Encostas, gerado a partir da utilização do modelo SINMAP. Serão apresentadas as disposições das classes ao longo da área da bacia, desde as mais estáveis (Estável, Moderadamente Estável e Pouco Estável) até as mais instáveis (Pouco Instável, Moderadamente Instável e Instável); Na quarta parte do capítulo são apresentados os mapas referentes à evolução das áreas de risco para os anos períodos supracitados (1968, 1983, 2010), e discutido como que essas áreas de risco se expandiram ao longo da BHCY.

### **6.1 – CARTAS DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA**

Dentro dos estudos de planejamento urbano, o mapeamento do uso e ocupação da terra constitui um dos aspectos mais fundamentais, pois ele possibilita tanto a espacialização das diversas ocupações numa visão intra-urbana quanto a quantificação dos elementos funcionais existentes e os seus reflexos no equilíbrio ambiental da paisagem urbana (MENESES & ALMEIDA, 2012).

Nesse sentido, o rápido crescimento das cidades é um fenômeno constante na sociedade atual, surgindo situações específicas que devem ser avaliadas por meio de um monitoramento permanente dos cenários em constante mudança. Portanto, as técnicas

de sensoriamento remoto são ferramentas que desempenham um importante papel no processo de planejamento do ambiente urbano, pois as imagens permitem identificar as características dos objetos e correlacioná-los às origens dos agentes modificadores do espaço. Além disso, permitem verificar a extensão e a intensidade das alterações provocadas pelas ações antrópicas (MENESES & ALMEIDA, 2012).

Assim, neste item serão apresentadas as cartas de Uso e Ocupação da Terra referente aos anos de 1968, 1983 e 2010, respectivamente. Tais cartas apresentam a dinâmica e evolução ao longo de 42 anos na Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung, são mostradas: as principais características da ocupação ao longo da BHCY, os diversos usos que permearam ou que permeiam a Bacia, além das variações percentuais e areais das diversas classes ao longo do período citado anteriormente. Estes mapas também fazem parte dos documentos que subsidiaram os resultados para o Item 6.3, relativos à Evolução das áreas de Risco na BHCY.

### **6.1.1 – CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA (1968)**

As primeiras áreas ocupadas dentro do município de Juiz de Fora foram em torno do eixo do Rio Paraibuna, principalmente com a presença de povoados agrícolas situados ao longo do traçado do Caminho Novo da Estrada Real, dessa forma é possível afirmar que Juiz de Fora se originou no Caminho Novo (BOTTI, 1994) – esse processo remonta ao final do séc. XVIII e prolongando-se até o início do séc. XIX. Nesse Caminho, uma das partes da cidade que sofreu o processo de ocupação foi o setor mais a jusante da Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung. As primeiras ocupações se deram próxima à margem do Paraibuna, e posteriormente, indo em direção as partes mais interiores da BHCY.

Dentro do que foi mapeado, esta classe apresentou uma área edificada de aproximadamente 1,94km<sup>2</sup> ou 9,85% da área total da Bacia (Quadro 12). O processo de consolidação das áreas edificadas no ano de 1968 ocorria em dois núcleos de adensamentos principais (Figuras 30 e 31):

- O primeiro, próximo a foz do Córrego do Yung com o Rio Paraibuna, compreende as Regiões Urbanas 63, 64, 65 e 66 da Prefeitura de Juiz de Fora (PJF, 2000), e que tem como principais Bairros, respectivamente:

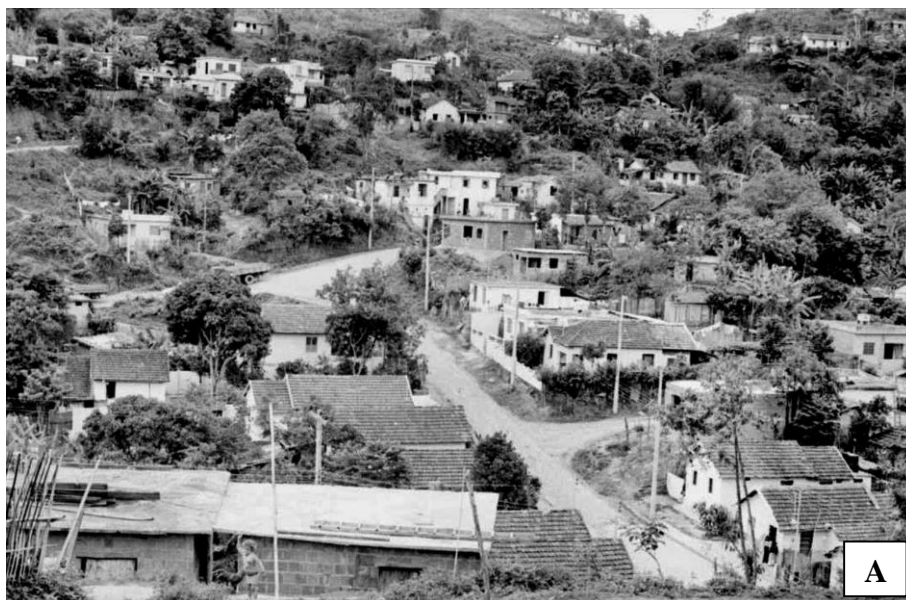
Cesário Alvim, Vitorino Braga, São Benedito e Grajaú; É possível notar na figura 30 (A até D) que estas áreas compreendem principalmente a planície e as encostas menos íngremes.

- O segundo núcleo na BHCY compreende as Região Urbana 67 da Prefeitura de Juiz de Fora (PJF, 2000), e que tem como principal Bairro, o Linhares. A ocupação dessa área esta intimamente ligada com a morfologia presente, ou seja, ocupa uma grande porção da planície alúvio-coluvionar, permitindo uma expansão mais horizontalizada nessa parte da Bacia, nesse período algumas áreas de morros com encostas suavizadas também foram ocupadas.

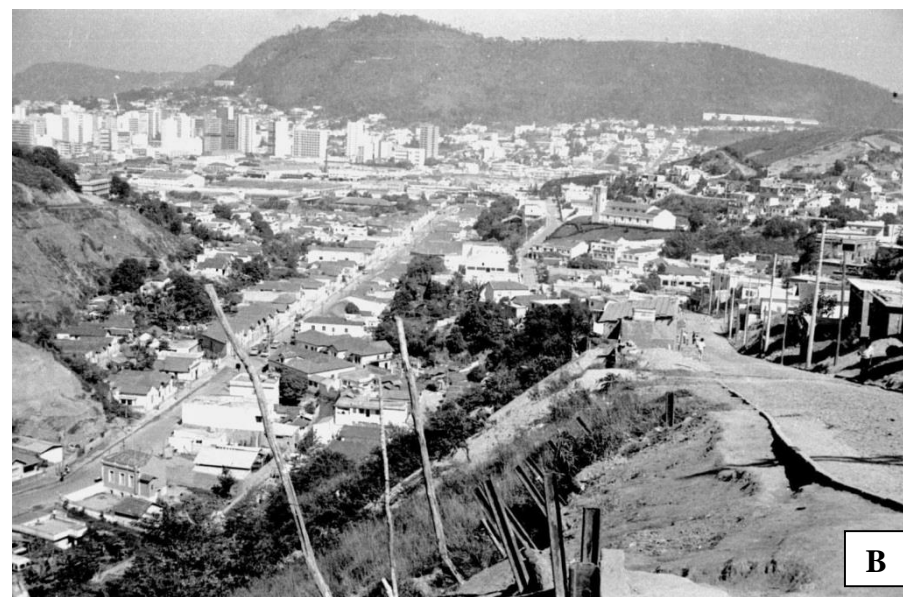
**Quadro 12:** Relação de Classes e suas respectivas Áreas em Km<sup>2</sup> e Porcentagens na BHCY para o ano de 1968

<b>Classe</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (em porcentagem %)</b>
<b>Área Edificada</b>	1,94	9,85
<b>Agricultura</b>	0,227	1,15
<b>Área de Mineração</b>	0	0
<b>Afloramento Rochoso</b>	0,156	0,79
<b>Solo Exposto</b>	0,357	1,81
<b>Pastagem</b>	15,16	76,97
<b>Silvicultura</b>	0	0
<b>Vegetação Mista</b>	0,186	0,95
<b>Vegetação Arbórea</b>	1,67	8,48
<b>Total</b>	<b>19,7</b>	<b>100</b>

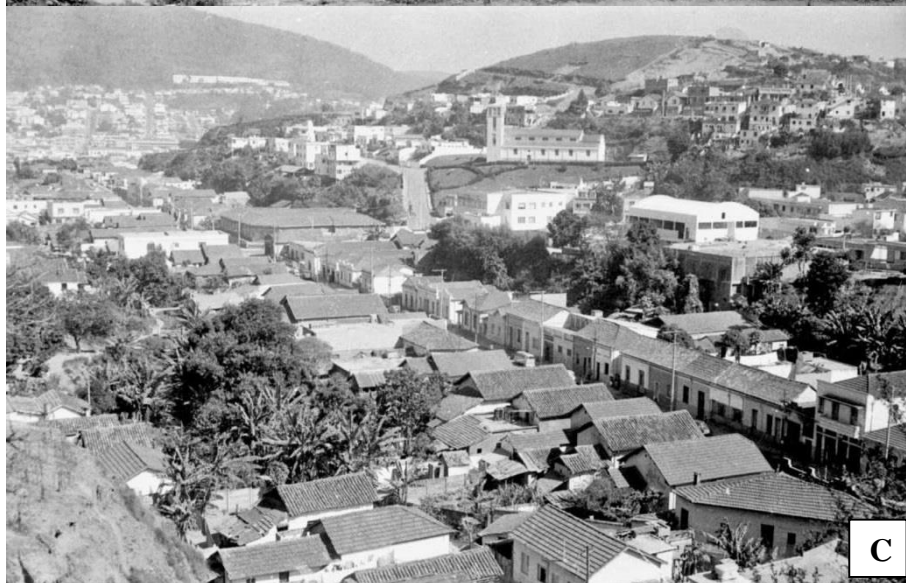
A respeito das áreas de agricultura, essas respondiam por uma parcela muito pequena da área, quase 0,23km<sup>2</sup> (pouco mais de 1% da área), se restringe principalmente à pequenas propriedades rurais familiares. Normalmente, estas propriedades ocupavam as áreas mais próximas aos cursos d'água (vide figura 26), e declives menos acentuados em encostas, ou seja, as áreas de morros com encostas suavizadas e algumas áreas colinosas (vide figura 16). Nessas áreas, onde a morfologia é mais suavizada, há a possibilidade de manejo da terra onde é permitida uma menor utilização de mecanização (desde que respeitados os declives inferiores à 12%), pois em declives mais acentuados é necessária a implementação de técnicas mais avançadas de cultivo.



A



B



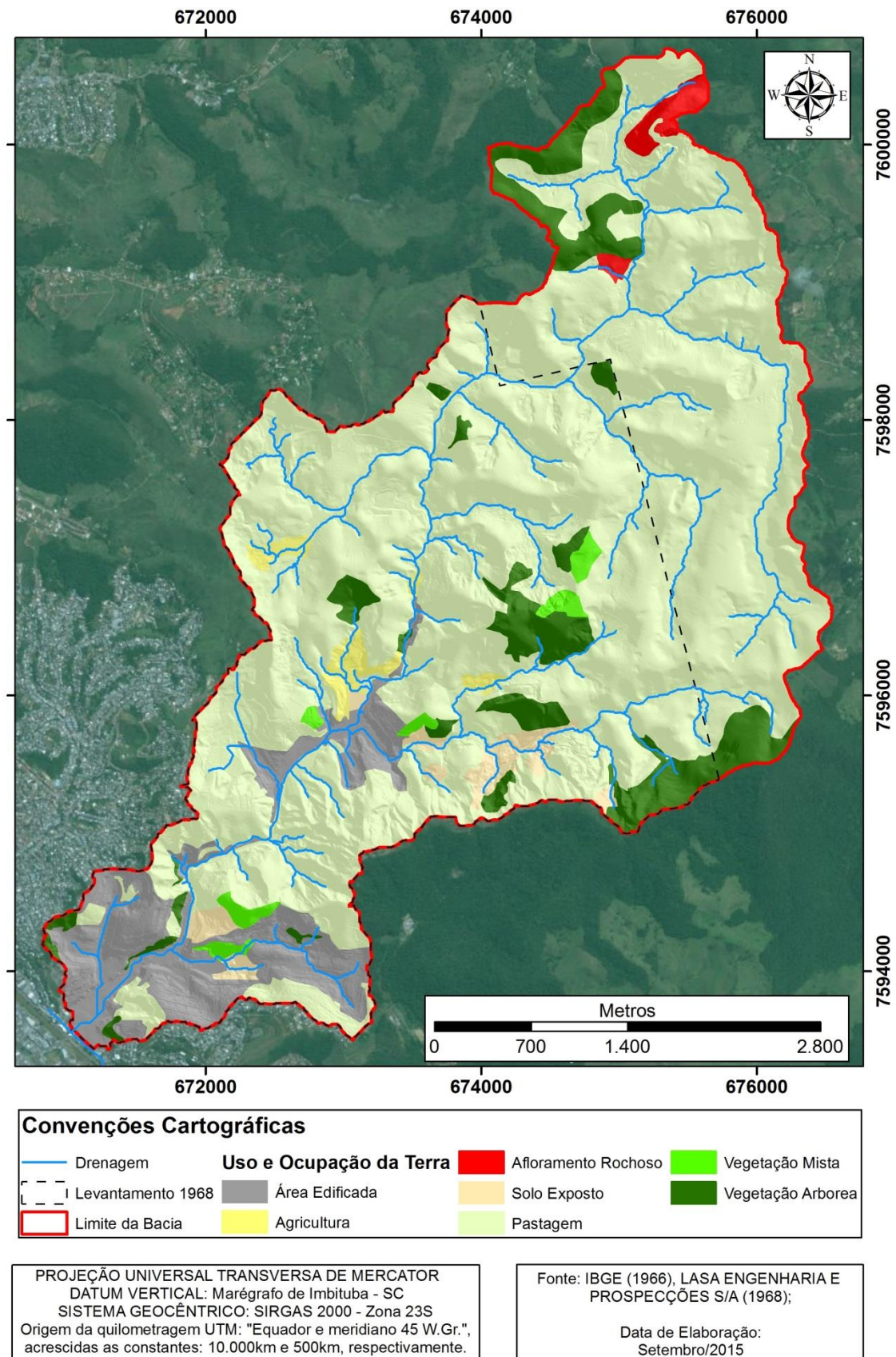
C



D

**Figura 30:** A imagem A é referente ao Bairro Vila Alpina (Rua Doutor Eurico Viana) – final da década de 1960; A imagem B é referente ao Bairro Vitorino Braga, com destaque para as ruas Rosa Sfeir (à direita) e a Rua de nome semelhante ao do Bairro – final da década de 1960; A imagem C também referente ao Bairro Vitorino Braga, com destaque para a rua de mesmo nome – final da década de 1960; A imagem D é da Rua Nsa. Senhora do Líbano, referente ao bairro Grajaú – início da década de 1950; Fonte das Imagens: Blog Maria do Resguardo, Disponível em <http://www.mariadoresguardo.com.br/>. Acesso em: 27/10/2015



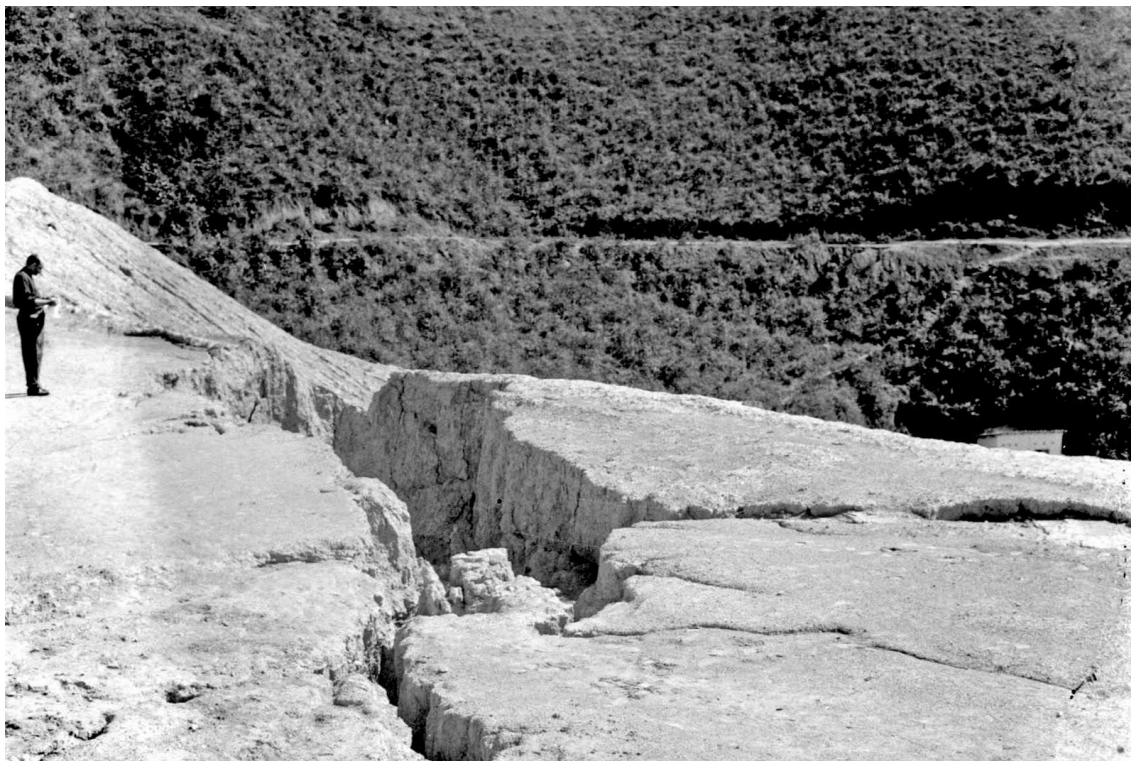


**Figura 31:** Uso e Ocupação da Terra na BHCY no ano de 1968.

A área de afloramento rochoso corresponde principalmente à “Pedra Redonda”, e outra pequena área próxima ao canal fluvial, localizadas no extremo norte da bacia,

juntas somavam aproximadamente 0,16km<sup>2</sup> ou 0,8% da área total. A Pedra Redonda além de ser um dos pontos do divisor de águas, constitui um dos locais mais altos da cidade de Juiz de Fora com 1021 metros de altitude.

As áreas de solo exposto mapeadas compreendiam antigas saibreiras e ficavam principais localizadas na Região entre os Bairros Vila Alpina e Vitorino Braga (Figura 32), e outra nos limites do Bairro Linhares, compreendiam cerca de 0,36km<sup>2</sup> aproximadamente (1,8%) da área total.



**Figura 32:** Área de Saibreira possivelmente localizada entre os bairros Vitorino Braga e Vila Alpina, data provável entre 1960-70. Fonte da Imagem: Blog Maria do Resguardo, Disponível em <http://www.mariadoresguardo.com.br/>. Acesso em: 27/10/2015.

Na área da BHCY, o predomínio é da classe pastagem, com uma área total de aproximadamente 15km<sup>2</sup> que corresponde a 77% da área total da bacia. Como a grande maioria das cidades nessa região do Estado de Minas Gerais - a Zona da Mata, em várias áreas do município de Juiz de Fora houve um processo de retirada de vegetação em função da absorção de algumas atividades, primeiramente em função da produção do café e posteriormente com a produção de leite. Nesse sentido é compreensível a grande quantidade de terras voltadas à pastagem.

No ano de 1968 não era encontrado qualquer tipo de atividade de mineração, pois a Pedreira Santo Cristo que atualmente pratica suas atividades na chamada “Pedra

Redonda”, só se instalou no ano de 1973, ou seja, cinco anos após o levantamento apresentado. Conforme está destacado no site da empresa:

“Suas atividades iniciaram-se em 25 de Janeiro de 1955... Uma das primeiras do ramo em Juiz de Fora – MG, funcionou por 18 anos na Av. Olegário Maciel... Com o crescimento da cidade, ficou inviável a exploração no local e visando a segurança da população vizinha, a empresa transferiu-se para Fazenda do Yungue, conhecida também como Pedra Redonda” (PEDREIRA SANTO CRISTO, 2015).

Neste período ainda não era encontrado qualquer tipo de atividade de Silvicultura (plantio ou coleta de Eucalipto para a produção celulose), em geral, esse tipo de atividade era pouco recorrente dentro do município neste período.

A presença da classe de vegetação mista (que transita entre as vegetações arbustivas e arbóreas, podendo incluir a mata em regeneração) era pouco notável ao longo da área de estudo, ocupavam menos de 0,2km<sup>2</sup>, que representa menos de 1% da área total. Havia neste período apenas duas áreas de destaque: uma na parte mais ao sul da bacia, localizada próximo ao bairro Vila Alpina; a outra área na porção mais central da bacia, já na parte rural da mesma.

A presença de vegetação Arborea (Caracterizado principalmente por Floresta Estacional Semidecidual) nesta época era restrita a algumas partes da bacia, uma delas localizada na parte Sudeste próxima ao limite com a bacia adjacente, esta vegetação faz parte da atual Reserva do Poço D’anta – parte da área era pertencente a uma antiga fazenda da região. Nesse período ainda não havia sido criada a Reserva, a mesma passou a ser ativa somente no ano de 1982 pelo decreto municipal nº2794 (JUIZ DE FORA, 1982). As outras duas áreas significativas - uma na parte central e outra na parte ao Norte, próxima ao divisor de águas – apresentavam uma configuração espacial que favoreciam a preservação de alguns topos de morros, e que por sua vez, promoviam a conservação de cursos d’água e a diminuição de processos erosivos nas partes mais baixas destas encostas.

### **6.1.2 – CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA (1983)**

A partir do levantamento aerofotogramétrico do ano de 1983 foi possível visualizar e compreender a expansão dos diferentes usos e a ocupação que ocorreram ao

longo de 15 anos (a partir de 1968) na BHCY. Portanto, é notável como a cidade de Juiz de Fora (em geral) expandiu sua área urbana, não sendo diferente BHCY.

As décadas de 1970 e 1980 foram de suma importância para o desenvolvimento de cidades de porte médio, isso em função da capacidade de receber novos investimentos (indústria, comércio e outros setores que dinamizaram a economia). Portanto, Juiz de Fora se encontrava inserida nesta situação, isto favoreceu o aumento populacional tanto nas áreas centrais, como nos bairros mais periféricos – próximo ao centro urbano. Portanto, na década de 1980 a BHCY as áreas edificadas aumentaram em pouco mais de 20% entre os dois períodos (1968 – 1983) – em média, pouco mais de 1% ao ano. Em áreas absolutas a bacia passou de 1,94km<sup>2</sup> para 2,4km<sup>2</sup> (pouco mais de 12% da área total, ver quadro 13).

Em termos de ocupação territorial (Figura 34), a BHCY consolidou por completo (restando alguns resquícios de mata) a porção à jusante, mais próximo ao Rio Paraibuna e às principais vias de acesso ao centro da cidade (Regiões Urbanas 63, 64, 65 e 66.). Tal ocupação foi em direção às partes mais elevadas e mais íngremes (aos morros que ainda não haviam sido ocupados). A outra área de expansão diz respeito à parte central da bacia, onde se encontra principalmente o Bairro Linhares (Região Urbana 67, segundo a PJF, 2000). Nesta parte, as áreas de planícies já haviam sido ocupadas por completo, avançando em direção aos morros e encostas próximas. Em função do relevo, a BHCY possui poucas áreas planas para a ocupação (Figura 33A), forçando a população que desejava se instalar a procurar as áreas de encostas mais próximas (Figura 33B). Neste período ainda aparece uma área de crescimento incipiente ao longo da drenagem principal em direção à montante, denunciando um novo eixo de expansão urbana na bacia.

**Quadro 13:** Relação de Classes e suas respectivas áreas em Km<sup>2</sup> e porcentagens para o ano de 1983

<b>Classe de uso</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (em porcentagem %)</b>
<b>Área Edificada</b>	2,4	12,19
<b>Agricultura</b>	0,61	3,1
<b>Área de Mineração</b>	0,07	0,35
<b>Afloramento Rochoso</b>	0,156	0,79
<b>Solo Exposto</b>	0,8	4,06
<b>Pastagem</b>	11,97	60,77
<b>Silvicultura</b>	0	0
<b>Vegetação Mista</b>	0,77	3,91
<b>Vegetação Arbórea</b>	1,92	14,83
<b>Total</b>	<b>19,7</b>	<b>100</b>





**Figura 33** Área plana da BHCY já com consolidação de áreas edificadas no bairro Vitorino Braga (A), Novas áreas com ocupação em encostas no bairro São Benedito (B). Datas agosto e março de 1974, respectivamente. Fonte da Imagem: Blog Maria do Resguardo, Disponível em <http://www.mariadoresguardo.com.br/>. Acesso em: 27/10/2015.

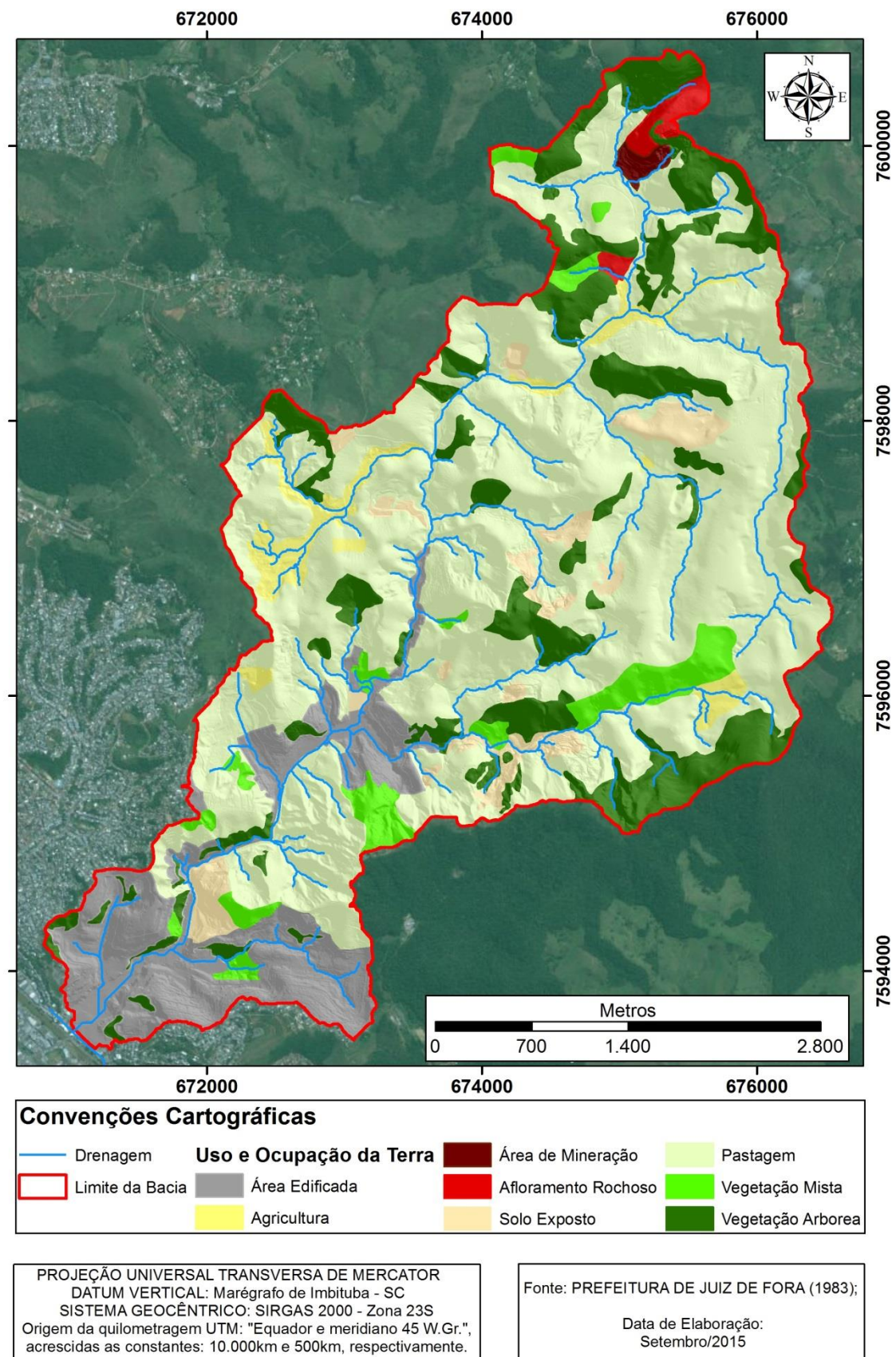
Em relação às áreas Agricultáveis, percebe-se um salto quantitativo considerável, em relação ao período anterior. Em 1968 era cerca de 0,22km<sup>2</sup>, em 1983 passou para 0,60km<sup>2</sup>, um aumento quase de três vezes em relação ao período anterior. A área *core* pretérita estava concentrada em uma das poucas planícies existentes na margem direita da bacia (à montante), nesse caso essa área *core* se expandiu em direção ao longo da planície ainda não ocupada e às porções mais colinosas e de declividades mais suavizadas (Morros com encostas suavizadas). Outra parte ocupada por esta classe é ao longo de uma das planícies do canal principal, mais à jusante da bacia.

No ano de 1983, já estava instalada na bacia a empresa de mineração “Pedreira Santo Cristo”, tal fato ocorreu 10 anos antes do presente levantamento aerofotogramétrico (1973) e conforme foi destacado no item 6.1.1. Portanto, a pequena área (0,07km<sup>2</sup>) diz respeito somente à área de extração da empresa citada que se situa na “pedra redonda”, é um dos divisores de água da BHCY (porção ao norte) e apresenta uma imponência e destaque diante da paisagem local, pois apresenta as maiores altitudes da área (passando dos 1000m) e grande massa rochosa a ser explorada (ortognaisses) para a construção civil (Figura 26). Nesse sentido, é de se compreender que tal área passou a ter tal tipo de uso.

As áreas principais de Afloramento Rochoso (0,156km<sup>2</sup>) são as adjacências da “Pedra Redonda” onde ainda não foi explorado pela pedreira, com a presença de manchas tímidas de Neossolos Litólicos sobre as suas superfícies, embasadas nos ortognaisses do Complexo Mantiqueira (Figura 15). Outro local onde ocorre esse afloramento é em um dos braços de drenagem da margem direita – próximo a montante, onde se encontra um contato litológico entre os ortognaisses do Complexo Mantiqueira com quartzitos impuros da Megassequência Andrelândia (ver Estruturas, Figura 15).

No caso das áreas de solo exposto (Figura 34), a área de ocupação desta classe mais do que dobrou em relação ao período anterior (passando de pouco mais de 0,35km<sup>2</sup> em 1968 para 0,8km<sup>2</sup> em 1983), isso em função da instalação de áreas de saibreiras na bacia. Muitas delas se localizavam de forma até irregular, sem respeitar qualquer tipo de licença de instalação e operação, isso porque se localizam em parte da zona rural e/ou longe dos núcleos urbanos presentes na BHCY. Uma dessas áreas de extração de saibro que mais impactava diretamente a população é a situada entre os bairros Vila Alpina e Vitorino Braga, localizada na porção a jusante e próximo ao eixo de drenagem principais da bacia, um dos grandes impactos dessa atividade, além da desestabilização de encostas, e mudança na dinâmica hidrológica local, é o preenchimento dos leitos da

bacia com o material transportado dessas áreas, provocando alagamentos e enchentes pontuais que afetam a população diretamente.



**Figura 34:** Uso e Ocupação da Terra na BHCY no ano de 1983

As áreas de Pastagem são aquelas que dão a tônica no que diz respeito ao uso e ocupação da Bacia, mesmo recuando cerca de 16% em sua área total, ainda é responsável pela maior porção (pouco mais de 60% ou cerca de 12km<sup>2</sup>). Parte desse processo de recuo é em função da recuperação de algumas áreas que anteriormente eram pastagem e deram lugar às vegetações Mistas e Arbóreas. E também pode se ressaltar que isso ocorreu em função da recuperação feita por alguns proprietários da região e/ou em função da regeneração natural das mesmas devido ao abandono das pastagens.

As áreas de Vegetação Mista e Arbórea apresentaram crescimento considerável em relação à 1968, elas aumentaram cerca de 400% e 80%, respectivamente. Isso em função do que foi colocado no parágrafo anterior. Áreas de Pastagem que se regeneraram devido ao abandono e/ou a recuperação das mesmas pelos proprietários dessas terras, fazendo neste caso o replantio para que volte ao estágio de Floresta Estacional Semidecidual ou que chegue mais próximo disso.

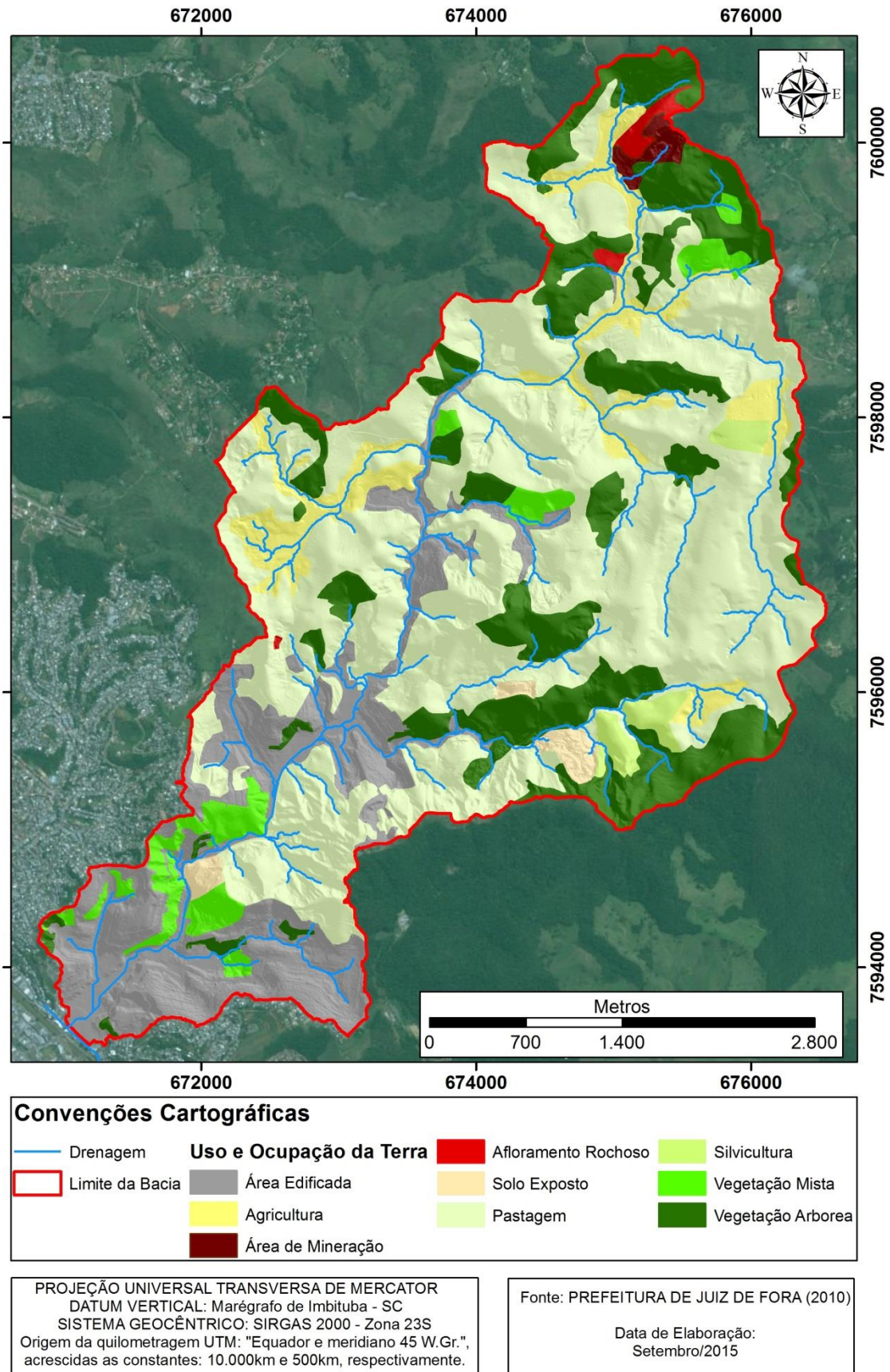
### 6.1.3 – CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA (2010)

O último período observado (Figura 35) para elaboração das cartas de Uso e Ocupação da Terra foi o ano de 2010, este período compreende o levantamento de imagens mais recente da cidade feito pela Prefeitura de Juiz de Fora e que é utilizado para o planejamento e gestão territorial da mesma. O quadro 14 apresenta a disposição das classes e as respectivas (Áreas e Percentuais) áreas presentes de cada uma na bacia.

**Quadro 14:** Relação de Classes e suas respectivas Áreas em Km<sup>2</sup> e Porcentagens para o ano de 2010

<b>Classe</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (em porcentagem %)</b>
<b>Área Edificada</b>	3,51	17,82
<b>Agricultura</b>	1,23	6,22
<b>Área de Mineração</b>	0,124	0,63
<b>Afloramento Rochoso</b>	0,122	0,62
<b>Solo Exposto</b>	0,21	1,05
<b>Pastagem</b>	10,15	51,55
<b>Silvicultura</b>	0,285	1,45
<b>Vegetação Mista</b>	0,67	3,4
<b>Vegetação Arbórea</b>	3,4	17,26
<b>Total</b>	<b>19,7</b>	<b>100</b>





**Figura 35:** Uso e Ocupação da Terra na BHCY no ano de 2010

Neste período é perceptível que várias classes sofreram mudanças consideráveis, tanto em termos de crescimento, como em tipos de locais onde estas áreas foram ocupadas. No caso das Áreas Edificadas, esse processo de expansão é notório, entre o último período (1983) e o atual (2010), houve um acréscimo de quase 50% nesta classe, indicando um forte processo de adensamento e expansão populacional na BHCY (de 2,4km<sup>2</sup> para 3,5km<sup>2</sup>). Na figura 36 é possível notar a presença da área edificada em um período pretérito (em primeiro plano) e (ao fundo) a expansão de novas áreas edificadas presentes na bacia.



**Figura 36:** Áreas Edificadas na BHCY após o ano de 2010. Foto cedida por Alexasander de Oliveira.

Este processo está relacionado com o crescimento, desenvolvimento e expansão das atividades nas cidades médias, na qual Juiz de Fora se insere – que ocorreu a partir de meados dos anos 1980 e que continua ocorrendo até os dias atuais. Nesse sentido, as Áreas Edificadas que mais se consolidaram foram àquelas situadas, principalmente, nas encostas mais íngremes, tanto em função do relevo que não permite a ocupação em outros locais, mas também em função da rápida expansão urbana que não permitiu as devidas intervenções por parte dos órgãos municipais de fiscalização, e que acabou



promovendo um processo desordenado e com a ausência de estruturas básicas necessárias à ocupação (padrão de vias estruturadas, rede de drenagem e coleta de esgoto, estabilização de encostas, entre outros). Na figura 37 é possível notar que parte da ocupação se dá ao lado do canal principal do córrego do Yung (edificações à esquerda na imagem), e ao fundo da imagem as ocupações que ocorreram de forma irregular nas encostas.



**Figura 37:** Áreas Edificadas na BHCY (anteriores ao ano de 2010) (Canal principal à esquerda, ocupações irregulares ao fundo – ao centro). Foto cedida por Alexasander de Oliveira.

Em função da consolidação pretérita da porção a jusante da BHCY, a região que mais cresceu em edificações foi a Região Urbana (67) de Linhares. Muitas propriedades foram construídas e que já atingiram o divisor oeste da bacia, se interligando com os bairros da bacia adjacente (Bacia do Córrego Matirumbide). Outro setor é o divisor Sul próximo à Reserva Ambiental do Poço D’Anta. Mas as áreas que se destacam nesse período são ao longo do canal principal do Córrego do Yung, em direção à montante, ou seja, nota-se que surge um vetor que ocupado nas planícies e encostas mais próximas. Este processo está muito condicionado à presença da via de articulação principal da

Bacia, a Rua Diva Garcia - ela corta em direção SO-NE ao longo do canal principal do córrego – que interliga os bairros da bacia em geral, ao centro da cidade. Na figura 38 observa-se a ocupação de áreas edificadas no Bairro Linhares, e ao redor é possível notar o padrão de encostas íngremes que a BHCY possui, impossibilitando (de certa forma) a ocupação destas áreas.



**Figura 38** Áreas Edificadas na BHCY (anteriores ao ano de 2010) (Na parte mais baixa encontra-se o bairro Linhares cercado por encostas íngremes).

As áreas com presença de agricultura também tiveram acréscimo considerável entre os dois últimos períodos, sendo no anterior (1983) uma área com pouco mais de 0,6km<sup>2</sup> e no atual uma área de 1,23km<sup>2</sup>, representando o dobro do que havia. Os locais onde essa atividade mais se expandiu foram:

- No setor da margem direita, onde já se localizavam consideráveis espaços de propriedades produtoras de hortifrúti, houve um acréscimo das mesmas e expansão das atividades ao longo da calha da drenagem que irriga e abastece essa região. Os padrões morfológicos são aqueles mais suavizados de Colinas e Morros com encostas mais suavizadas (Figura 39 e 40).
- O outro local onde houve expansão dessas atividades foram ao longo do canal principal, na porção a montante da bacia, e o surgimento de propriedades rurais próximas à pedreira – próximo ao divisor de águas.



- E outros dois pontos são aqueles na região leste da bacia, um mais a sudeste e outro mais a nordeste, se tratam de duas propriedades rurais de área considerável, não foi possível destacar quais seriam suas respectivas atividades, mas se englobam nesta categoria de análise (Figura 41).



**Figura 39:** Propriedade Rural com cultura de Hortaliças voltadas ao comércio, nota-se o padrão de formas suavizado nesta área.



**Figura 40:** Nova área de Agriultura presente na BHCY a partir do mapeamento de 2010.



**Figura 41:** Propriedade com atividades rurais indiferenciadas (a princípio se assemelha a tanques e/ou açudes para criação de piscicultura).

Em 2010, a área de operação da empresa de mineração “Pedreira Santo Cristo” aumentou 80%, passando de 0,07km<sup>2</sup> (em 1983) para de 0,12km<sup>2</sup>. Esta é a única responsável pelo aumento desse tipo de atividade na bacia, haja vista que não se encontra qualquer outra empresa do segmento atuando na área. Isso em função também de ser uma das poucas áreas com afloramentos rochosos disponíveis para a efetiva extração e comercialização, além disso, tem uma vantagem estratégica em relação ao transporte que é estar situada na via principal da BHCY, que interliga tanto ao centro de Juiz de Fora, como liga às cidades que fazem limite à nordeste do divisor de águas.

As áreas de Afloramentos Rochosos (0,122km<sup>2</sup>) estão muito inter-relacionadas com a própria atividade da pedreira, portanto, suas áreas diminuíram em função da expansão da pedreira, o único caso que não se encaixa nesta soma é o surgimento de um afloramento rochoso próximo ao divisor oeste da bacia mais a jusante. Esta feição apresenta um paredão que surgiu em função da construção e instalação do presídio no bairro Linhares.

As áreas de Solo Exposto presentes na BHCY recuaram ao longo dos dois últimos períodos - em 1983 havia cerca de 0,8km<sup>2</sup> contra os 0,2km<sup>2</sup> aproximadamente em 2010. Apresentou um recuo de 75% nesta classe, esses locais, que deixaram de ser solo exposto, eram antigas áreas de saibreiras, que devido à regeneração e/ou replantio de



vegetação nas áreas anteriormente afetadas promoveram a diminuição das mesmas (figura 42).

Uma nova classe que surge no atual período é a de Silvicultura, em nenhum dos dois períodos anteriores tal classe havia aparecido, e apesar de ser pequena, é representativa. Ela possui 0,3km<sup>2</sup> e ocupa duas porções na zona rural da BHCY:

- Uma porção no setor nordeste, próximo a um dos divisores a montante. Nesta área há o cultivo de eucaliptos para a produção de celulose, tal área é banhada por um dos canais que possui grande vazão de água na bacia;
- A outra área é na porção sudeste da BHCY, localizada em um dos eixos secundários da drenagem, nota-se que neste local o uso anterior era de pastagem, assim como na primeira, e que passou a dar lugar a esse tipo de cultivo (também de eucaliptos). O que chama mais a atenção é que esta cultura está fazendo limite com a vegetação arbórea próxima ao divisor de águas e que fazem parte do fragmento da Reserva Biológica do Poço D'Antas. Isso poderia implicar em prejuízos ambientais em parte da vegetação adjacente, além de afetar o equilíbrio ecológico próximo á área (Figura 42).



**Figura 42:** Área com diversos usos na BHCY. Ao fundo as áreas de saibreiras desativadas, à esquerda áreas de silvicultura (eucaliptos) e à direita áreas de vegetação arbórea.

Portanto, através dos mapeamentos de uso e cobertura terra da BHCY notou-se que a maior parte da bacia encontra-se coberta por vegetação rasteira (pastagem) devido ao intenso processo de desmatamento. No que tange às áreas edificadas, a maior concentração está localizada na porção sul (próximo à foz no Rio Paraibuna) com vetor de crescimento direção à porção norte (montante), em geral seguindo o curso do canal principal do Córrego do Yung. Sobre as áreas de vegetação arbórea ou arbustiva (mista), elas localizam-se (em geral) em pequenas partes distribuídas ao longo da bacia. Normalmente estão situadas em áreas mais elevadas com declividades mais acentuadas ou em áreas próximas à divisores de água.

## **6.2 – INCONGRUÊNCIAS DE USO, OCUPAÇÃO E PARCELAMENTO DO SOLO NA BHCY A PARTIR DA INTERPRETAÇÃO DA LEGISLAÇÃO DE PARCELAMENTO E OCUPAÇÃO DO SOLO**

Os resultados obtidos encontram-se nos itens a seguir (6.2.1, 6.2.2 e 6.2.3), os mapas de uso e ocupação da terra dos anos de 1968, 1983 e 2010 foram combinados com os dados de declividade apenas nas áreas urbanizadas, isso foi realizado a fim de se mensurar espacialmente o impacto da expansão das áreas edificadas ao longo da bacia sobre o previsto nos padrões estabelecidos pelas legislações apresentadas no item 5.2.3, no quesito declividades.

### **6.2.1 – OCUPAÇÃO E PARCELAMENTO DO SOLO NA BHCY A PARTIR DA INTERPRETAÇÃO DA LEGISLAÇÃO DE PARCELAMENTO E OCUPAÇÃO DO SOLO (1968)**

O mapeamento apresentado (Figura 43) juntamente com os dados do Quadro 15 evidencia-se que no período de 1968 a área urbanizada da BHCY ocupava 1,94km<sup>2</sup> dos 19,7km<sup>2</sup> da área total da bacia. Deste total, 1,35km<sup>2</sup> (ou 69,6% da área urbanizada) estariam situados em áreas permitidas a ocupação e parcelamento do solo (áreas com declive inferior à 17° ou 30% do talude), e 0,59km<sup>2</sup> (ou 30,4%) estariam ocupados por

edificações em áreas não permitidas o parcelamento do solo de acordo com a legislação (declive superior à 17° ou 30%) que ainda entraria em vigor pouco mais de 10 anos depois, ou seja, do ponto de vista legal, toda a área ocupada não está subordinado a lei. Isso porque no período trabalhado ainda não havia a legislação federal e nem municipal que restringisse a ocupação destas áreas (elas surgiram apenas nos anos de 1979 e 1986), respectivamente.

**Quadro 15:** Áreas edificadas e seus valores (areais e percentuais) de acordo com as áreas passíveis ou não de ocupação para o período de 1968.

<b>Classe</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (em porcentagem %)</b>
<b>Área Edificada permitida pela Legislação (até 30%)</b>	1,35	69,6
<b>Área Edificada não permitida pela Legislação (acima de 30%)</b>	0,58	30,4
<b>Total</b>	<b>1,94</b>	<b>100</b>

Conforme já citado no item 6.1.1, os dois núcleos principais de áreas edificadas, o primeiro compreende os bairros Cesário Alvim, Vitorino Braga, São Benedito e Grajaú; o Segundo núcleo é ocupado pelo bairro Linhares.

É possível notar que no primeiro núcleo de adensamento, há ocupação maciça na planície alúvio-coluvionar e encostas menos íngremes (declividade inferior à 30%), porém destacasse que antes mesmo da criação das leis de parcelamento para a ocupação do solo, era considerável a ocupação das áreas superiores à 30%.

No segundo núcleo de adensamento, do Bairro Linhares, há ocupação ao longo da planície do canal principal onde as declividades não chegam à 30%, porém aquelas que estariam em inconformidade (acima de 30% de declividade) já ocupavam parte das áreas com morfologias mais acentuadas, principalmente na porção da margem esquerda. Esse fato está relacionado com a ocupação pretérita de áreas de agricultura em morfologias mais suavizadas na margem direita, nesse sentido, é possível constatar que a agricultura “direcionou” parte das novas ocupações para as áreas com declividades mais acentuadas.



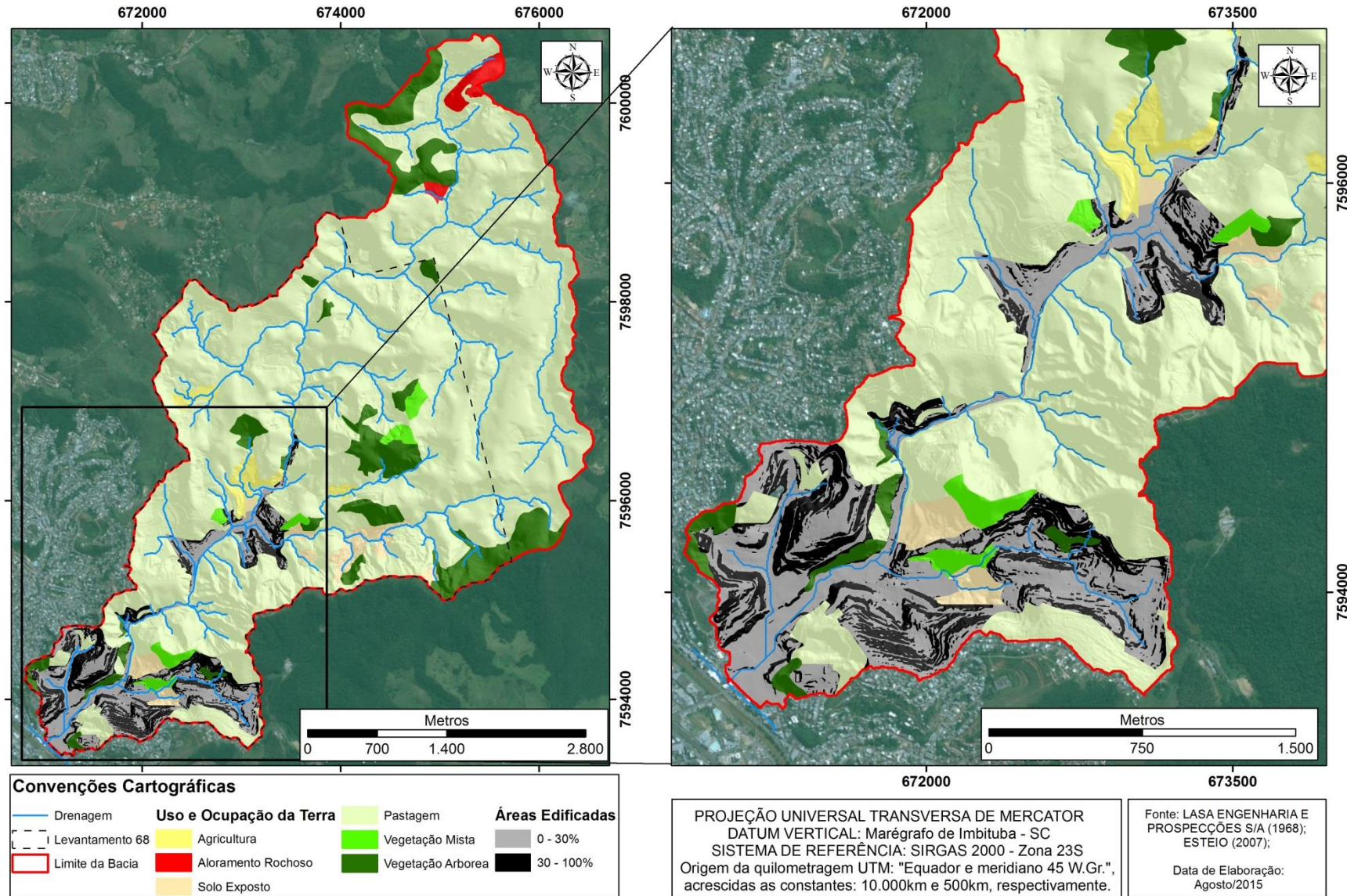


Figura 43: Classes de áreas Edificadas em função das declividades permitidas e não permitidas pela legislação para o ano de 1968.

### 6.2.2 – INCONGRUÊNCIAS DE USO, OCUPAÇÃO E PARCELAMENTO DO SOLO NA BHCY A PARTIR DA INTERPRETAÇÃO DA LEGISLAÇÃO DE PARCELAMENTO E OCUPAÇÃO DO SOLO (1983)

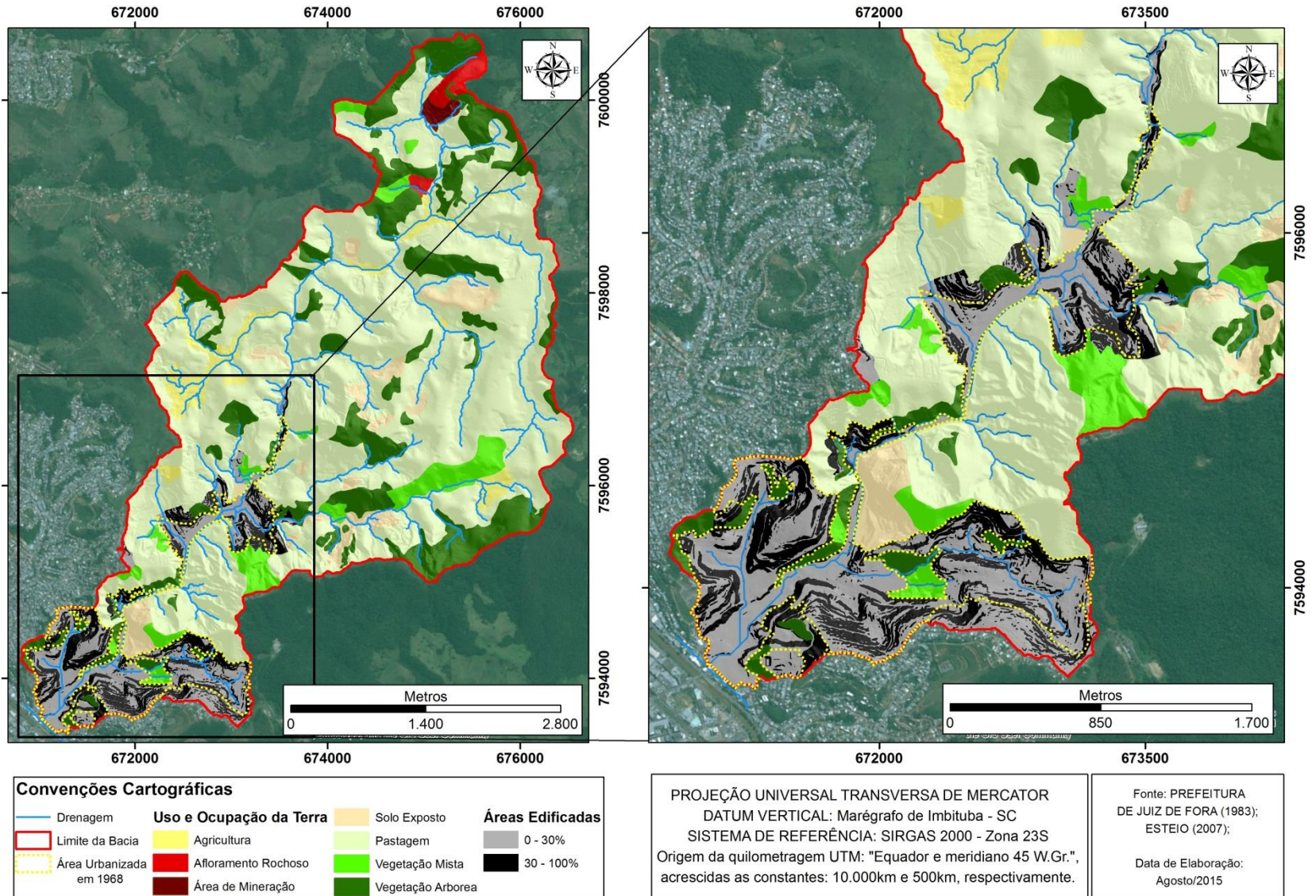
O mapeamento apresentado na figura 44 e os dados do quadro 16 mostram que no período de 1983 a área urbanizada da BHCY ocupava 2,39km<sup>2</sup> dos 19,7km<sup>2</sup> da área total da bacia. Deste total, 1,63km<sup>2</sup> (ou 68,2% da área urbanizada) estavam situados em áreas que eram permitidas a ocupação e parcelamento do solo (áreas com declive inferior à 17° ou 30% do talude), e 0,76km<sup>2</sup> (ou 30,4%) estavam ocupados por edificações em áreas não permitidas o parcelamento do solo de acordo com a legislação (declive superior à 17° ou 30%). Em relação ao período anterior, é possível visualizar no mapa qual era a área edificada ocupada anteriormente (pontilhado em amarelo), e quais passaram a ser ocupadas no período em questão.

**Quadro 16:** Áreas edificadas e seus valores (areais e percentuais) de acordo com as áreas passíveis ou não de ocupação para o período de 1983.

<b>Classe</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (em porcentagem %)</b>
<b>Área Edificada permitida pela Legislação (até 30%)</b>	1,63	68,2
<b>Área Edificada não permitida pela Legislação (acima de 30%)</b>	0,76	31,8
<b>Total</b>	<b>2,39</b>	<b>100</b>

As áreas passíveis de ocupação recuaram em termos percentuais (de 69,6% em 1968 para 68,2% em 1983), porém a área absoluta aumentou (1,35km<sup>2</sup> para 1,63km<sup>2</sup>). Isso é reflexo da maior expansão urbana na região do Bairro Linhares, onde aumentaram as áreas edificadas, principalmente aquelas que não são permitidas pela lei em vigor (Destaca-se que somente a Lei Federal ainda estava em vigor). As áreas passíveis de serem construídas cresceram principalmente no Bairro São Benedito próximas ao divisor de águas leste que faz limite com a Reserva do Poço D'anta.





**Figura 44:** Classes de áreas Edificadas em função das declividades permitidas e não permitidas pela legislação para o ano de 1983.



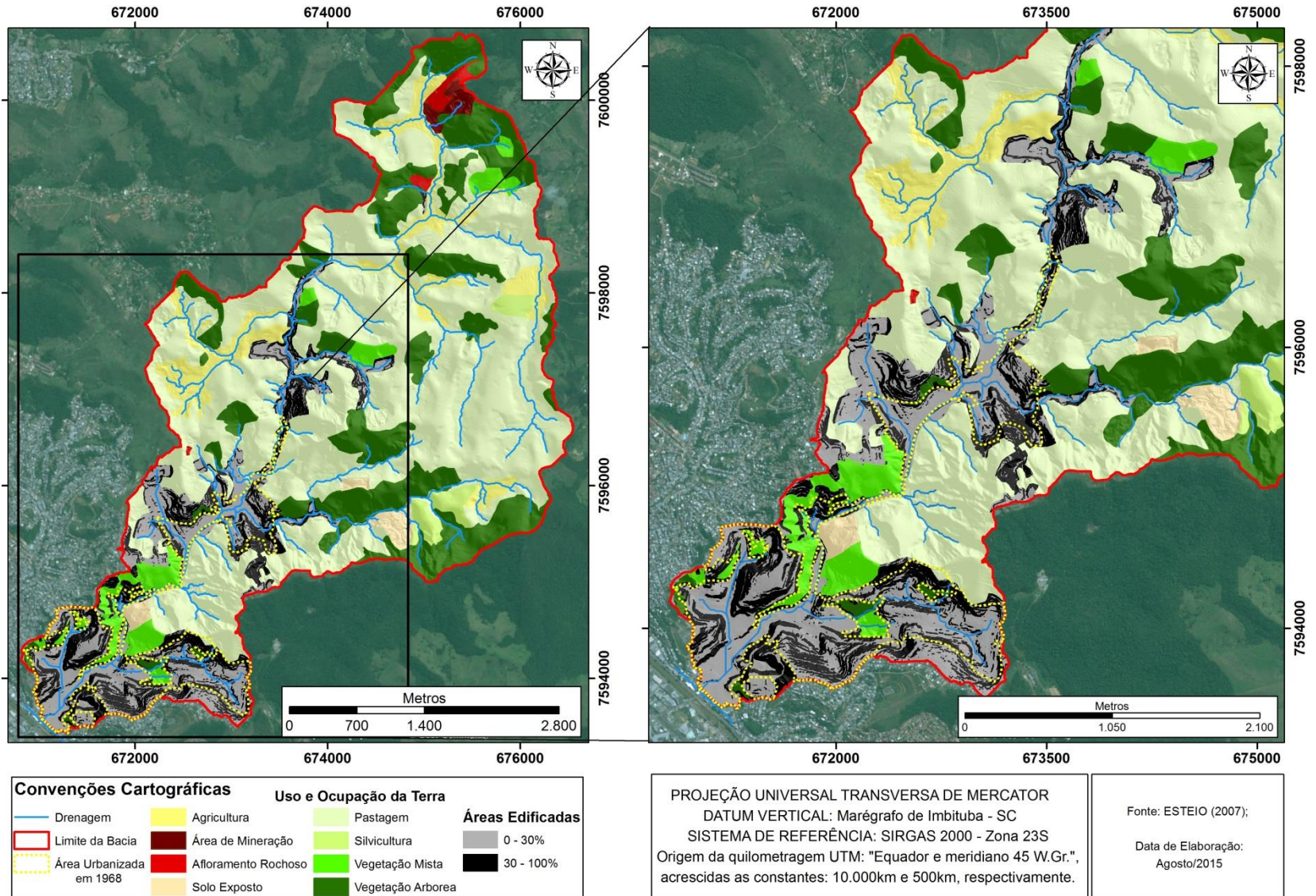
Portanto, o primeiro núcleo de adensamento (próximo à foz), consolidou definitivamente as áreas que restavam ainda não ocupadas (partes de planícies e as encostas adjacentes). No segundo núcleo de adensamento, do Bairro Linhares, há novas ocupações em declividades (acima de 30% de declividade), e a mudança de uso para dar lugar a novas ocupações, este fato ocorreu principalmente em locais próximos aos canais da margem direita do córrego do Yung. Onde ocorriam classes de vegetações mistas e áreas de agricultura, o uso passou a ser urbano, isso pode ter acontecido por alguns fatores, como: O enfraquecimento da agricultura local, que por motivos econômicos, forçaram os donos da terra a vender parceladamente suas terras; A simples venda da área e a instalação do loteamento, que por sinal encontra-se em áreas planas, possibilitando a expansão horizontal da ocupação.

### **6.2.3 – INCONGRUÊNCIAS DE USO, OCUPAÇÃO E PARCELAMENTO DO SOLO NA BHCY A PARTIR DA INTERPRETAÇÃO DA LEGISLAÇÃO DE PARCELAMENTO E OCUPAÇÃO DO SOLO (2010)**

O mapeamento apresentado na figura 45 e os dados do quadro 17 mostram que no período de 2010 a área urbanizada da BHCY ocupava 3,5km<sup>2</sup> dos 19,7km<sup>2</sup> da área total da bacia. Deste total, 2,35km<sup>2</sup> (ou 67,15% da área urbanizada) estavam situados em áreas que eram permitidas a ocupação e parcelamento do solo (áreas com declive inferior à 17° ou 30% do talude), e 1,15km<sup>2</sup> (ou 32,85%) estavam ocupados por edificações em áreas não permitidas o parcelamento do solo de acordo com a legislação (declive superior à 17° ou 30%). Em relação ao período anterior, é possível visualizar no mapa qual era a área edificada ocupada anteriormente (pontilhado em amarelo), e quais passaram a serem ocupadas no período em questão.

**Quadro 17:** Áreas edificadas e seus valores (areais e percentuais) de acordo com as áreas passíveis ou não de ocupação para o período de 2010.

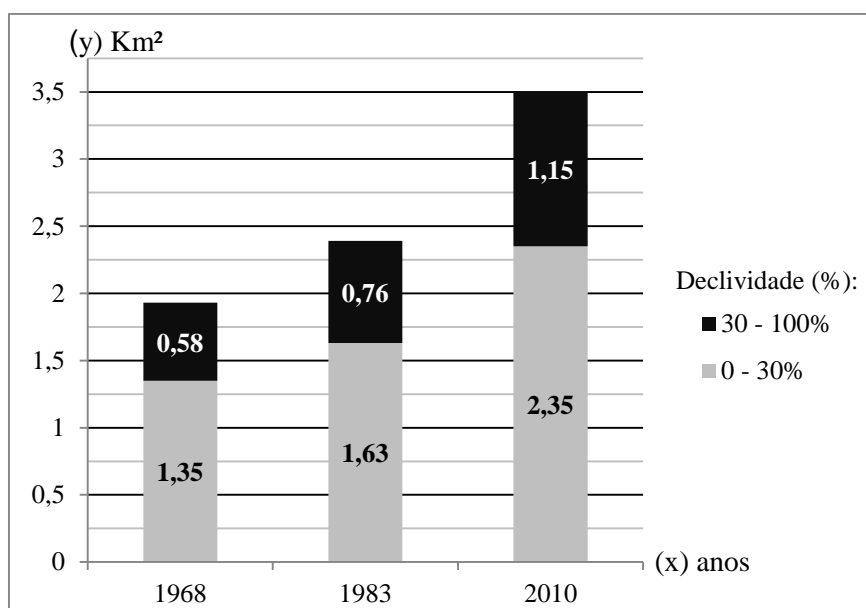
<b>Classe</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (em porcentagem %)</b>
<b>Área Edificada permitida pela Legislação (até 30%)</b>	2,35	67,15
<b>Área Edificada não permitida pela Legislação (acima de 30%)</b>	1,15	32,85
<b>Total</b>	<b>3,5</b>	<b>100</b>



**Figura 45:** Classes de áreas Edificadas em função das declividades permitidas e não permitidas pela legislação para o ano de 2010.

Em geral, o uso destas áreas edificadas é predominantemente residencial, notando a presença de alguns estabelecimentos de serviços e comércio locais. O baixo padrão de habitação, as invasões de terrenos públicos e particulares estão entre os problemas principais de certas áreas edificadas. Em geral o uso residencial apresenta um padrão de edificações com 1 e 2 pavimentos e em algumas partes com a incidência de prédios de 3 e 4 pavimentos, assentados normalmente em lotes de pequenos.

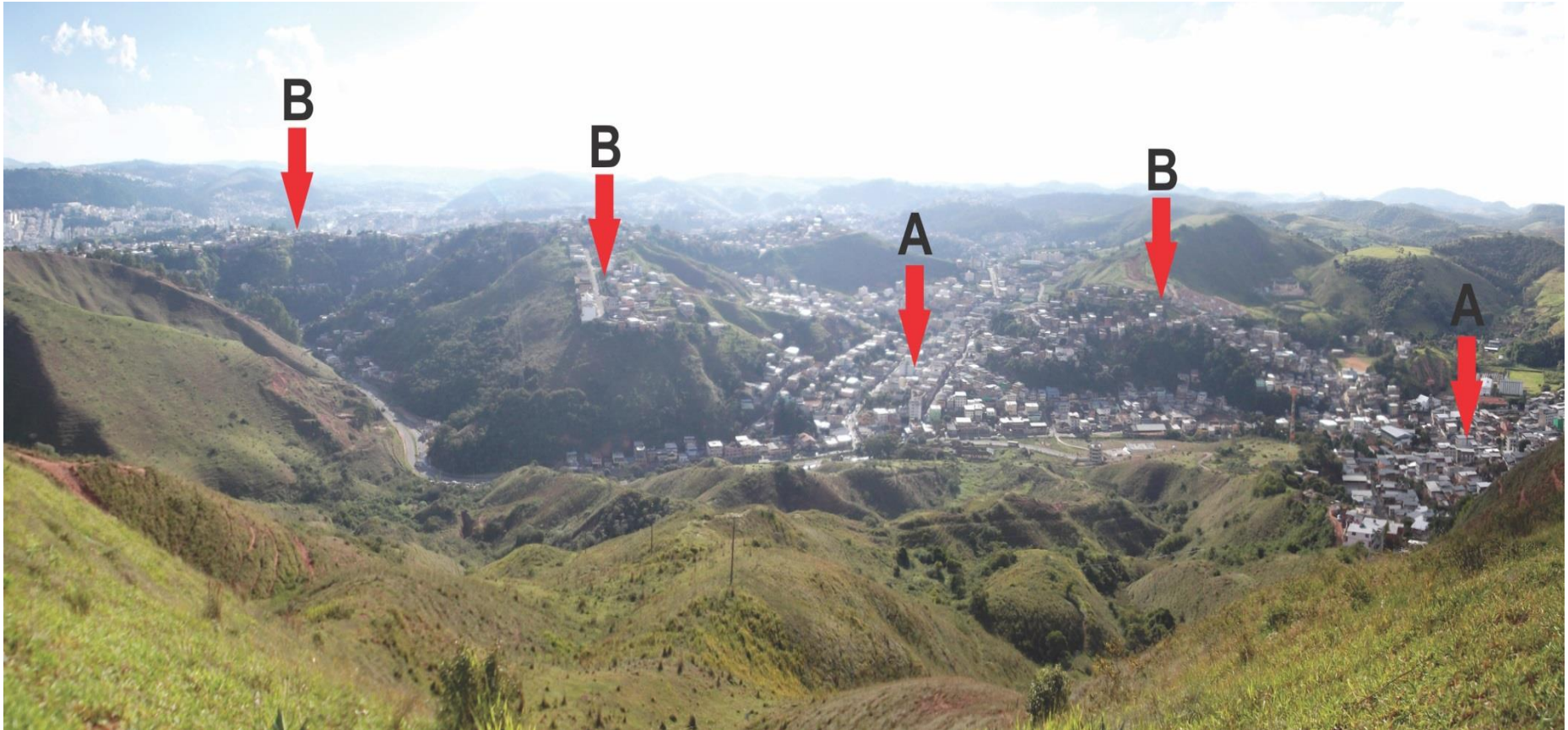
Seguindo a tendência do período anterior, as áreas passíveis de ocupação recuaram em termos percentuais, (de 68,2% em 1983 para 67,15% em 2010), e aumentaram em área absoluta (1,63km<sup>2</sup> para 2,35km<sup>2</sup>). As áreas edificadas que estão fora dos limites permitidos pela legislação chegaram ao patamar de um terço (1/3, ou 32,85%) das áreas edificadas com uma área absoluta de 1,15km<sup>2</sup> (próximo à área edificada permitida pela ocupação no período de 1968 – ver gráfico da figura 46).



**Figura 46:** Gráfico referente à evolução das áreas passíveis de ocupação (Cinza), a das áreas não passíveis de ocupação (Preto)

As áreas que mais expandiram nesse período foram aquelas do bairro Linhares, em direção ao divisor de águas à oeste na Bacia do Yung (Divisor Leste da Bacia do Córrego Matirumbide), isso em função principalmente das morfologias mais suavizadas como as de morros com encostas suavizadas, e algumas áreas de planícies aluvio-coluvionares não ocupadas (Figura 47). No divisor Leste do Yung (próximo ao limite com a Reserva do Poço D'anta), a expansão se deu sobre áreas onde a declividade está fora dos limites permitidos pela lei, e onde há uma ocorrência notável de escorregamentos (ver item 6.3).





**Figura 47:** Área urbanizada da bacia mostrando a grande ocupação das áreas de planície (área de ocupação mais antiga - A) e posteriormente a ocupação em direção às encostas e parte dos topos dos morros (área de ocupação mais recente - B).

O novo vetor de crescimento das áreas urbanizadas aconteceu ao longo do canal principal em direção à montante, ocupando principalmente as margens de canais da margem esquerda que desaguam no canal principal. Uma das áreas, onde apresentam maior concentração de ocupações acima de 30% de declividade, é reflexo de um loteamento – que provavelmente foi instalado irregularmente nesta área. Um pequeno segmento de planície aluvio-coluvionar foi ocupado nesta área, indo em direção aos morros com encostas suavizadas da margem direita. Porém, a margem esquerda é aquela que recebeu maior parte das ocupações principalmente em morfologias mais acentuadas, as de morros. Outro fator que se destaca desse novo vetor é a ocupação ao longo do canal principal em direção à montante, que por ser extremamente estrangulado (não formando planície) expõe diretamente qualquer tipo de ocupação que se venha a instalar.

O declive de 30% (aproximadamente 17°) é muito próximo daqueles em que os escorregamentos são deflagrados. Conforme já foi comentando, estes processos ocorrem em locais de litologia friável e/ou camadas superpostas ou justapostas de diferentes graus de coesão, com espesso manto de intemperismo e situados em relevo com declividades acima de 20° (IBGE, 2009). Portanto, o ponto de inflexão ao longo da encosta pode ser considerado o limite entre a morfogênese e pedogênese (meio intergrade), ou seja, pode ser considerado o ângulo de atrito para a ocorrência de escorregamentos.

Apesar do quadro crescente em direção às áreas proibitivas para o parcelamento e uso do solo, a BHCY ainda pode ter esse quadro revertido, pois dado que apenas 3,51km<sup>2</sup> de área urbanizada representa menos de 20% da área total da bacia, ou seja, para a ocupação futura ainda podem ser tomadas medidas que não ponham em risco a vida da população ali residente. Nesse sentido, é possível compreender porque a legislação coloca o patamar de 30% como o limite para ocupação e parcelamento do solo urbano, isso porque visa prevenir os desastres associados aos processos de encosta. Porém, é notório como que no caso da BHCY, o processo de ocupação aumentou mais em direção às áreas que não são favoráveis ao uso urbano.

### 6.3 – ÍNDICE DE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS

A partir do resultado final da análise do modelo SINMAP, foi gerado o mapa de estabilidade de encostas. Nele, de acordo com a metodologia proposta por Pack (1998), estão presentes as 6 classes de estabilidade (Figura 48), que, de acordo com o quadro 18, parte da menos estável até a mais estável, são elas: Estável, Moderadamente Estável, Pouco Estável, Pouco Instável, Moderadamente Instável e Instável. As três primeiras citadas correspondem as classes de maior estabilidade, porém nas três últimas são designadas aquelas de maior instabilidade. Portanto, a seguir estão os valores tabelados, e o respectivo mapa de instabilidade correspondente.

Classes	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)	Número de Cicatrizes
<b>Estável</b>	5,34	27,15	1
<b>Moderadamente Estável</b>	1,43	7,25	0
<b>Pouco Estável</b>	2,26	11,55	0
<b>Parcial de Classes de Estabilidade</b>	<b>9,03</b>	<b>45,95</b>	<b>1</b>
<b>Pouco Instável</b>	9,24	46,8	25
<b>Moderadamente Instável</b>	1,40	7,1	53
<b>Instável</b>	0,03	0,15	0
<b>Parcial de Classes de Instabilidade</b>	<b>10,67</b>	<b>54,05</b>	<b>78</b>
<b>Total Geral</b>	<b>19,7</b>	<b>100</b>	<b>79</b>

**Quadro 18:** Classes de Estabilidade e suas respectivas áreas de abrangência (km<sup>2</sup> e %) e total de cicatrizes Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A partir da análise dos dados do quadro 16 e do mapa da figura 45, destaca-se que 45,95% da área total da bacia, ou 9,03km<sup>2</sup>, possui parcial estabilidade ou plena estabilidade, de acordo com o modelo, sendo que 27,15% ou 5,34km<sup>2</sup> da área total da bacia corresponde à áreas de completa estabilidade (Stable), onde foi encontrada uma cicatriz de escorregamento, referente à cortes de taludes de origem antrópica.



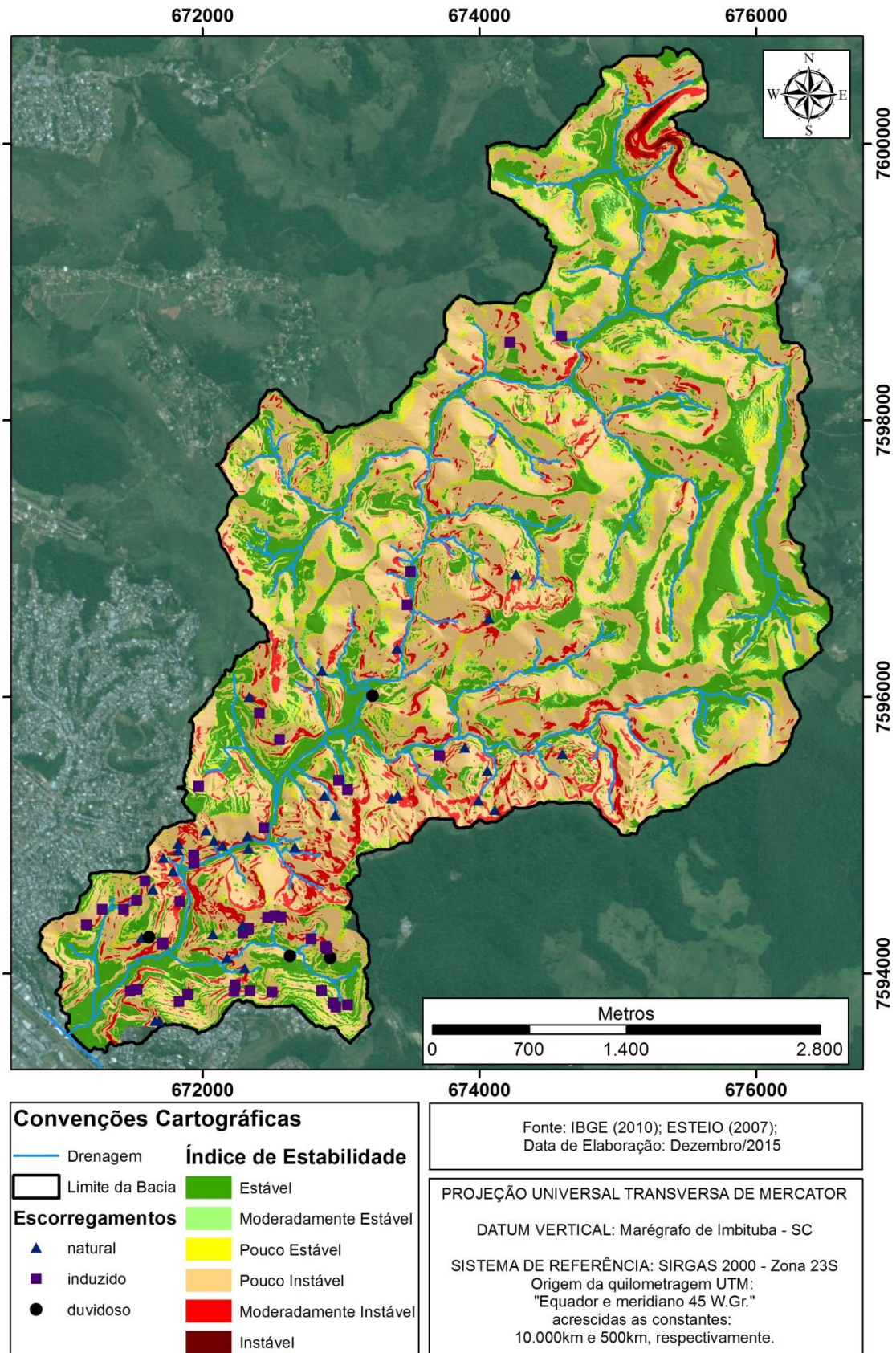


Figura 48: Mapa de Estabilidade de Encostas da Bacia do Yung

Diante disso, a área cai drasticamente para a classe moderadamente estável (Moderately Stable), sendo apenas 7,25% ou 1,43km<sup>2</sup> da área total, onde não foram encontradas qualquer cicatriz de escorregamento. No que tange as áreas Pouco Estáveis (Quasi-Stable), passa para 11,55% ou 2,26km<sup>2</sup> da área total da Bacia do Yung, nesta classe também não foram encontradas qualquer cicatriz de escorregamento.

Diante dos dados, pouco mais de 54% da área da Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung ou 10,67km<sup>2</sup> do total são consideradas áreas de baixa, alta e altíssima instabilidade, segundo o modelo SINMAP. Desse total de áreas instáveis 46,8% ou 9,24km<sup>2</sup> estão no limiar inferior de instabilidade (Pouco Instável – ou Lower Threshold), significando que o número de cicatrizes de escorregamentos situados nesta classe foram o total de vinte e cinco (25), que são de origem induzida, ou seja, além do fator de instabilidade, a ocupação urbana afetou na indução deste processo. Isso gira em torno de uma cicatriz de escorregamento a cada 0,37km<sup>2</sup> da classe Pouco Instável. Diante disso, os valores do limiar superior de instabilidade (Moderadamente Instável – ou Upper Threshold) são de 7,1% da área total da bacia, ou 1,4km<sup>2</sup> respectivamente, na qual cinquenta e três (53) cicatrizes de escorregamentos foram classificadas neste índice e são de origem duvidosa, ou seja, pode ser um evento causado tanto pela instabilidade natural da área, quanto à própria ocupação urbana no local. Isso gira em torno de uma cicatriz de escorregamento a cada 0,03km<sup>2</sup> da classe Moderadamente Instável. O percentual de 0,15% corresponde a área de completa instabilidade (Instável - ou Defended) da bacia do Yung, isso gira em torno de 0,03km<sup>2</sup> da área total. Nesta é importante ressaltar que não foi encontrada quaisquer cicatrizes de escorregamentos.

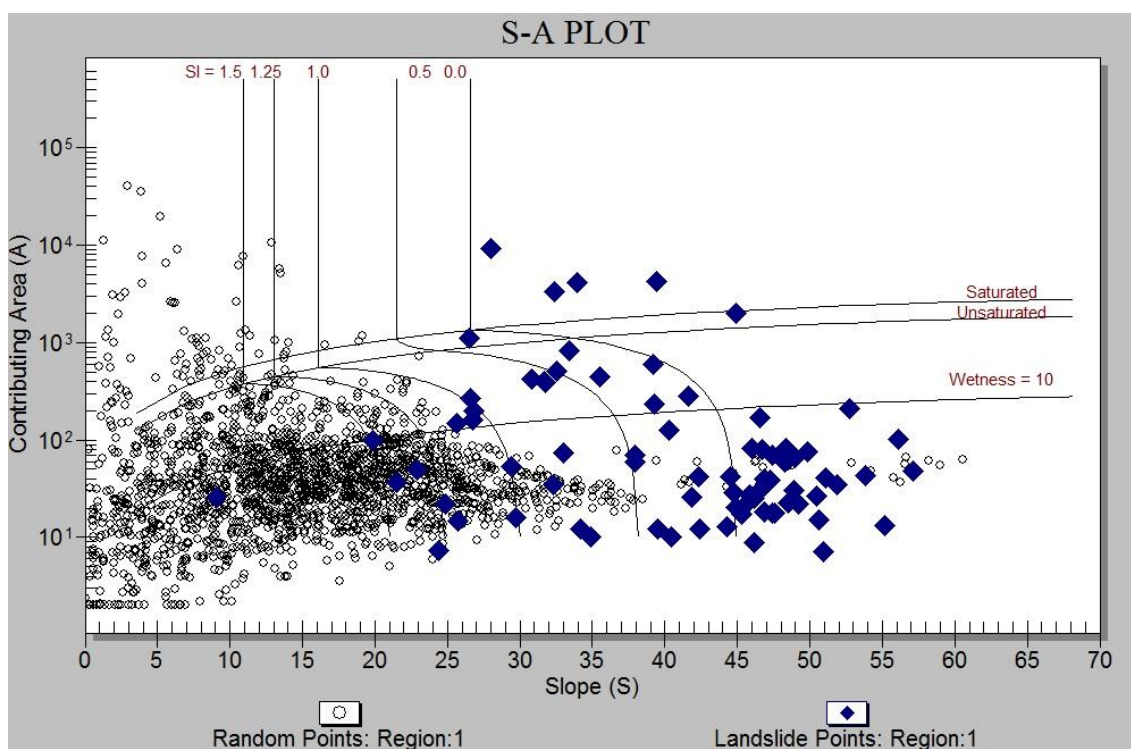
Em geral, isto indica que não é somente a questão do material e os processos envolvidos que causam os movimentos de massa na bacia, o fator antrópico é considerável neste aspecto, pois das setenta e nove (79) cicatrizes encontradas, quarenta e duas (42) são induzidas (53,15% do total encontrado). Portanto, associados às áreas de instabilidade é somado a grande quantidade de ocupações residenciais irregulares, as quais possibilitam que estes eventos de movimentos de massa se tornem cada vez mais recorrentes.

No figura 49 é mostrado o gráfico gerado a partir do resultado do modelo de validação do SINMAP para a BHCY, nele é feita uma relação entre a área de contribuição (*Contributing Area*) e a declividade (*Slope*) da bacia. O gráfico apresenta uma nuvem de pontos aleatórios (*Random Points*) juntamente com os pontos mapeados



das cicatrizes de escorregamento (*Landslide Points*) distribuídos ao longo das curvas de saturação (*Saturated*, *Unsaturated* e *Wetness*) e de índice de estabilidade (SI).

Interpretando os dados do gráfico é possível perceber que parte considerável dos escorregamentos ocorre em intervalos de declividade superiores a 30° atingindo até cerca de 58°, ou seja, em locais com declividades mais acentuadas. Além disso, a maior parte desses processos ocorre em condição de pouca umidade (*Wetness*), índice de estabilidade (SI) inferior à 1.25 e área de contribuição inferior à 100m<sup>2</sup>. Isso reflete que não é necessária uma precipitação volumosa para a deflagração dos escorregamentos nas encostas e que o fator topográfico é um importante desencadeador para a ocorrência dos mesmos.



**Figura 49:** Gráfico de dispersão representando a Área de Contribuição (Contributing area) versus Declividade (Slope) com as cicatrizes mapeadas (azul) e pontos aleatórios (preto).

Nota-se que os escorregamentos presente nas condições insaturada (*Unsaturated*) e saturada (*Saturated*) ocorrem principalmente devido à elevação do fator de umidade e ao aumento na área de contribuição, variando entre 100 e 10000m<sup>2</sup>. Em geral, as parcelas de áreas mais instáveis correspondem aquelas onde a declividade é maior do que nas demais áreas. Na figura 50 há uma área específica onde ocorre a maior parte dos escorregamentos, tal área está localizada na porção ao sul da Bacia.

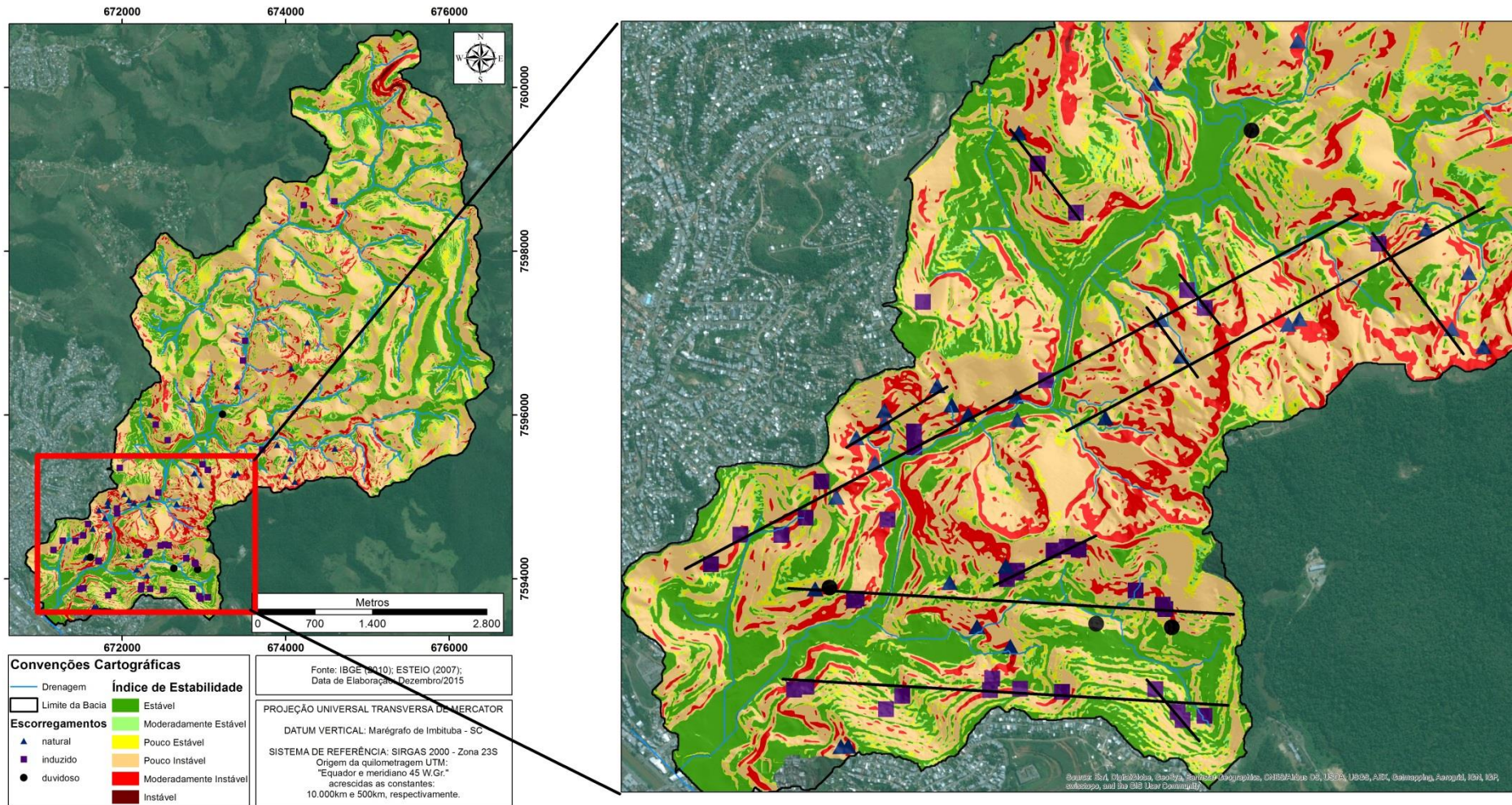


Figura 50: Área de Concentração de Cicatrizes na BHCY



Ao visualizar está área – voltando à caracterização Geológica (Figura 15) - é possível notar que há uma zona de contato litológico transcorrente entre litotipos presentes na BHCY, e que esses contatos formam um eixo transversal com os principais lineamentos apresentado na figura 50, ou seja, pode-se considerar que há uma possível ação de caráter interno (estrutura interna das litologias), associado com a dinâmica externa (ação do intemperismo químico) retrabalhando a paisagem. Esse retrabalhamento pode estar provocando um recuo das vertentes juntamente com o alargamento da planície nos arredores (Figura 51A e B), pois ao visualizar a figura 50 é possível notar que há concentração de escorregamentos associados às classes de maior instabilidade das encostas.



**Figura 51:** Exemplo de recuo das vertentes (A). Visualização da vertente anterior em outro ângulo, mostrando alguns processos erosivos e de movimentação de massa (B) - Indicações com as setas em vermelho.

Nas imagens apresentadas nas Figura 51 A e B podemos notar que as encostas sofrem agressivos processos de desgaste, provocando escorregamentos de dimensões consideráveis, isso sem contar que nesta área encontram-se cerca de 60 cicatrizes escorregamentos (aproximadamente 75% total encontrado na bacia inteira) sendo que todos estão em áreas baixa a alta instabilidade (Pouco Instável e Moderadamente Instável). Portanto, é possível incluir que esta área tem um potencial considerável a esse tipo de processo, onde tal poderia ser considerada uma área de maior risco na Bacia do Yung – que será observado nos próximos itens desse capítulo. Além disso, o desnível altimétrico é bastante incisivo nesta porção da bacia, e, analisando o mapa de declividade e altimetria (Figuras 17 e 18) esta mesma área possui declividades superiores à 30%, evidenciando uma grande susceptibilidade à ocorrência de movimentos de massa nessa região. As demais áreas com potencial instável estão localizadas em áreas situadas próximas ao canal principal e afluentes que desagüam diretamente na drenagem principais (vertentes íngremes, que denunciam o recuo das mesmas em função da energia do relevo), onde também se concentra a ocupação urbana (Figuras 52 e 53).



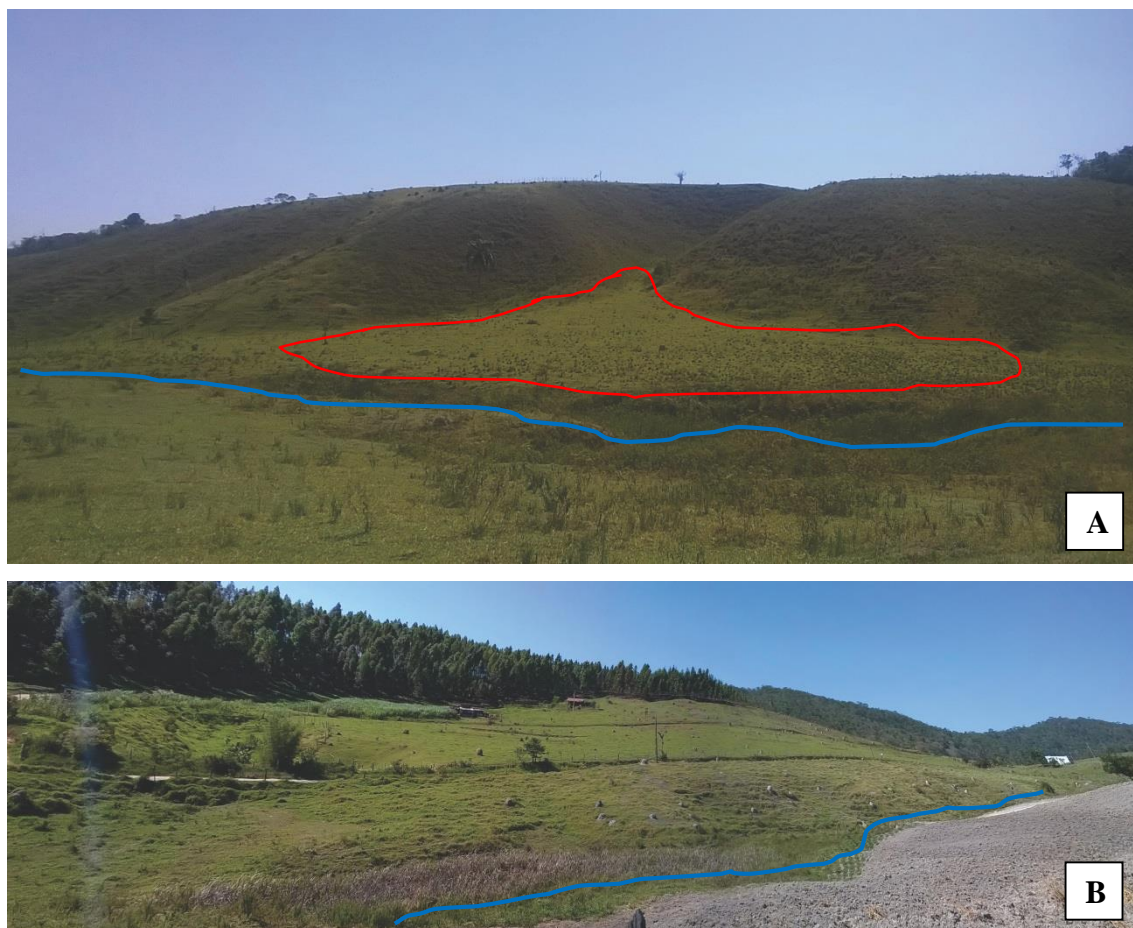
**Figura 52:** Ocupações de Imóveis em áreas de alta instabilidade à instáveis.



**Figura 53:** Forte entalhamento do canal fluvial, mostrando o grande potencial de suavização das vertentes, e possíveis ocorrências de movimentos de massa na BHCY.

Diante disso, ao verificar os quase 46% de áreas de estabilidade (Estável, Moderadamente Estável e Pouco Estável), foi possível identificar que grande parte destas classes estão situadas em áreas de planície de inundação da BHCY – suavizadas pelos processos de coluvionamento do material que se deslocou vertente abaixo e deposição de material no leito do canal fluvial. A maior parte destas áreas possuem até 30% de declividade, evidenciando que o substrato (solo e/ou rocha) estão bem consolidados, ou seja, a estabilidade do terreno não permite que ocorra, com facilidade, qualquer movimentação e possível deslocamento vertente abaixo, mesmo que a maioria das vertentes estejam desprovidas de cobertura vegetal mais proeminente.





**Figura 54:** Imagens referente as porções Estáveis, Moderadamente Estáveis e Pouco Estáveis apontadas pelo modelo SINMAP, (A) e (B). Linha azul é referente à drenagem e o vermelho à deposição em leque.

Na figura 54A é mostrado um segmento de planície com morrotes ao fundo, é notável a estabilidade do material ao longo das margens, devido ao manejo dos solos próximos à encosta. A deposição pretérita do material em leque denuncia um estágio de diminuição da energia do relevo, o qual deposita o seu material ao longo das margens próximas ao canal e o córrego não consegue transportar o mesmo, por isso a ocorrência de vertentes próximas estarem mais suavizadas. A Figura 54B apresenta a mesma configuração da figura anterior, ela é uma porção à montante do mesmo canal, nesta imagem é possível perceber ainda que o ambiente possui uma redução química do seu material (em função da coloração acinzentada vista em campo), denunciando a saturação por água em períodos mais chuvosos.

#### 6.4 – ÁREAS DE RISCO: CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE

Baseados nas situações potenciais de perdas e danos ao homem, resultantes dos riscos naturais e os riscos naturais agravados pela natureza humana, os mapeamentos de risco tornam-se uma importante ferramenta para verificação do perigo (probabilidade de um evento de risco), os elementos sob risco (populações, edificações, atividades econômicas e etc), os processos perigosos (no caso: o escorregamento) e qual tipo de risco (Aceitável, Tolerável, Individual e Social) estaria mais susceptível a ocorrer. No caso, o processo que verifica, avalia e controla os fatores descritos é o Gerenciamento de Risco.

Neste item serão apresentados os mapas referentes aos períodos de 1968, 1983 e 2010, a fim de verificar quais são os vetores de risco na BHCY, quantificar as porcentagens e as áreas absolutas, além de compreender como ocorreu a evolução do risco na bacia ao longo desse tempo. Conforme anteriormente destacado na metodologia, os mapeamentos consistiram na sobreposição dos mapas de uso e ocupação da terra (para a espacialização das diferentes classes presentes) dos períodos supracitados juntamente com o mapa de estabilidade de encostas.

A fim de se obter melhor visualização das classes de risco, os mapas tiveram suas classes de risco divididas em ordens: Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto, Muito Alto. Tais classes surgiram a partir da agregação das notas obtidas, a fim de obter melhor visualização e compreensão dos dados, ou seja: Muito Baixo (notas 1, 2 e 3), Baixo (notas 4 e 5), Médio (nota 6), Alto (nota 7) e Muito Alto (nota 9), não houve intervalo de nota equivalente a 8.



#### 6.4.1 – ÁREAS DE RISCO: CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE PARA O ANO DE 1968

O resultado do mapeamento (disponível na figura 55) e os dados (Quadro 19) apresentam que no período de 1968 as áreas com menor risco na BHCY ocupavam 18,60km<sup>2</sup> ou 94,41% da área total, levando em consideração apenas as classes de risco “**Muito Baixo** e **Baixo**” os valores eram de 9,00km<sup>2</sup> (45,68%) e 9,60km<sup>2</sup> (48,73%), respectivamente. As áreas com risco “**Médio**” (ou moderado) representavam 0,37km<sup>2</sup> ou 1,87% da área total da Bacia do Yung. As áreas que registraram maior risco somavam um total de 0,72km<sup>2</sup> (3,66%), ou seja, as áreas com risco “**Alto**” e “**Muito Alto**” ocupavam 0,61km<sup>2</sup> (3,1%) e 0,11km<sup>2</sup> (0,56%), respectivamente.

**Quadro 19:** Classes de Risco e seus valores (areais e percentuais) para o período de 1968.

Classes de Risco	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
<b>Muito Baixo</b>	9,00	45,68
<b>Baixo</b>	9,60	48,73
<b>Médio</b>	0,37	1,87
<b>Alto</b>	0,61	3,1
<b>Muito Alto</b>	0,11	0,56
<b>Total</b>	<b>19,7</b>	<b>100</b>

Na figura 55 é possível perceber que as classes que se destacam no mapa são aquelas relacionadas aos Riscos “**Muito Baixo** e **Baixo**”, isso em função principalmente das classes de **Pastagem, Vegetação Mista e Vegetação Arbórea** (referente ao mapa de Uso e ocupação da Terra) e referente às classes **Estável, Moderadamente Estável, Pouco Estável e Pouco Instável** (referente ao mapa de estabilidade de encostas) que estiveram presente em grande parte da área da bacia. Apesar da combinação de classes que possuíam notas elevadas em função da estabilidade da encosta (por exemplo: Pouco Instável), o risco obtido foi considerado **Muito baixo** e **Baixo** em função do impacto que ele poderia causar diretamente sobre as populações que residem na BHCY.

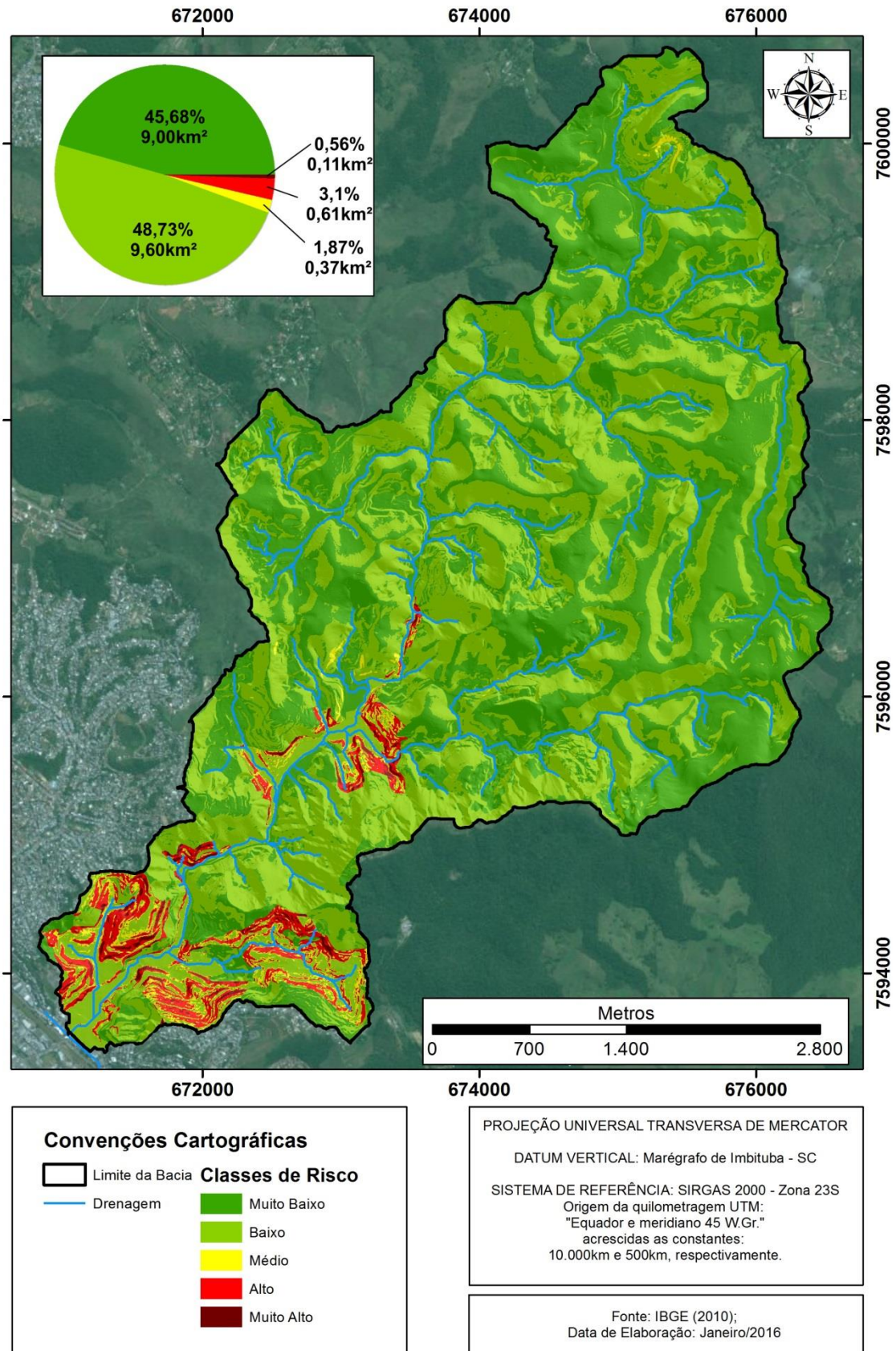


Figura 55: Mapeamento de Áreas de Risco da BHCY para o ano de 1968

As áreas consideradas de Risco **Muito Baixo**, apresentam uma porção significativa da bacia (quase 46% da área total), conforme foi colocado no início deste resultado, e estão ligadas principalmente às porções mais **estáveis** da bacia (de acordo com o mapa da figura 49) são, em geral, locais de morfologias mais suavizadas (áreas de planícies, colinas, morros com encostas suavizadas e alguns morrotes que apresentam topos mais suavizados), o padrão de uso mais comum para esta classe de risco é a de pastagem, além disso, a classe de Vegetação Arbórea está englobada dentro dessa classificação de risco. Portanto, os resultados do quadro 17 e figura 55 se justificam, isso porque estes tipos de uso não oferecerem quaisquer tipos de riscos a perda de vida humana e/ou econômica e encontram-se situados em locais onde a probabilidade de ocorrência de escorregamentos é praticamente nula.

Em um primeiro momento, observando as áreas de Risco **Baixo**, são aquelas que obtiveram maior área no presente período (quase 49% da área total), além disso, é possível notar que estão vinculadas principalmente às áreas **pouco instáveis** (figura 49) associadas ao uso de áreas de pastagem. Apesar da estabilidade do terreno - de acordo com o modelo SINMAP - ser classificada dentro de uma classe de instabilidade, isso não afeta na questão do risco, pois em associação com a classe de pastagem. A geração de qualquer risco social e/ou econômico é praticamente nulo.

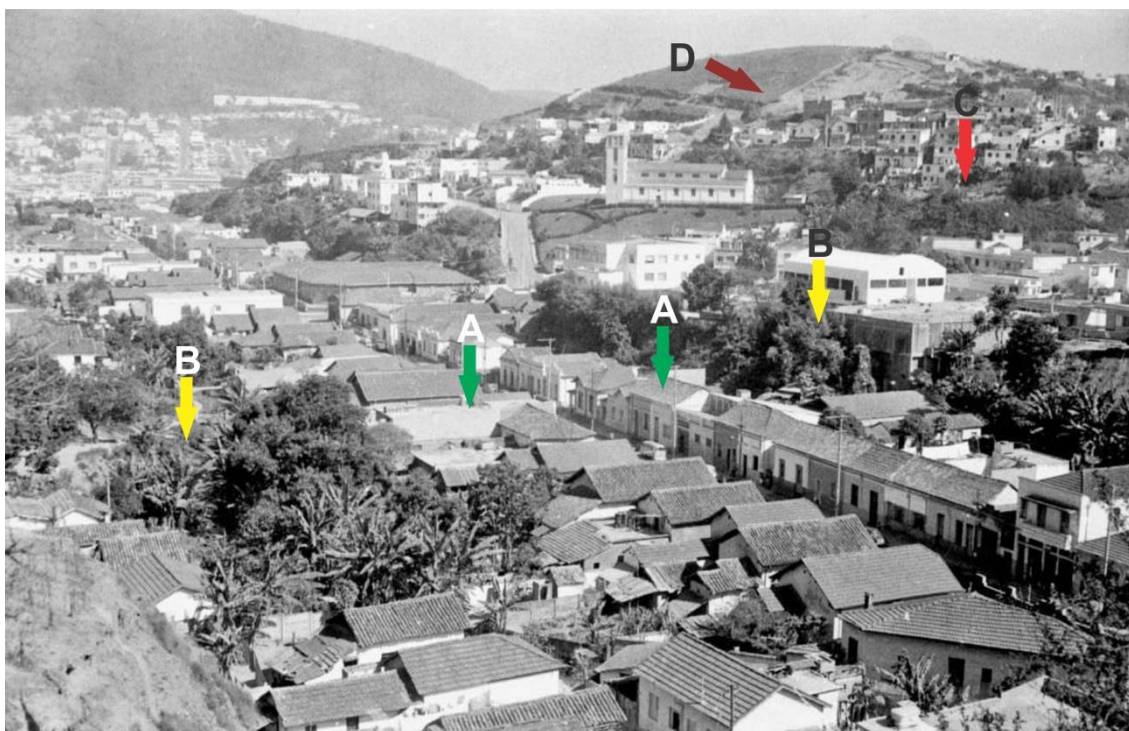
No segundo momento, observando esta mesma classe de risco, surge uma nova combinação de fatores. Tais fatores seriam as porções **Estáveis** e **Moderadamente Estáveis** do relevo estarem vinculadas à parte da classe **Áreas Edificadas**. Isto ocorre principalmente porque as edificações situadas em relevos mais planos (Planícies Alúvio Coluvionares) possuem inclinação de rampas mais suaves (abaixo dos 15% de declividade), ou seja, para que ocorresse o escorregamento e gerasse o risco para a população que vivia nestas áreas, seria necessário que tais áreas apresentassem menor estabilidade – que está ligado à declividade e aos fatores geotécnicos do terreno.

Apesar das Classes de Risco **Médio, Alto e Muito Alto** somarem pouco mais de 5,5% da área, foi possível perceber que elas estiveram associadas principalmente a uma parcela importante das **áreas edificadas**, mas não é a única classe relacionada com essa característica. Em uma pequena fração na parte mais ao norte da bacia, há a presença de **afloramentos rochosos** associados às áreas **Moderadamente Instáveis** a **Instáveis** que potencializou o risco presente na BHCY. Nas figuras 56 e 57 são apresentados exemplos referentes às áreas com Risco Médio, Alto e Muito Alto.





**Figura 56:** Esquina da Rua Ângelo Biggi com Diva Garcia no Bairro Linhares em Dezembro de 1963. Na imagem a classificação de risco varia de **Médio (A)**, **Alto (B)** e **Muito Alto (C)**. Fonte da Imagem: Blog Maria do Resguardo, Disponível em <http://www.mariadoresguardo.com.br/>. Acesso em: 27/10/2015.



**Figura 57:** Visão para a rua Vitorino Braga (alinhamento de casas no centro da imagem), com visão para parte dos Bairros Grajaú e Vitorino Braga (Imagem da década de 1960). Na imagem a classificação de risco também varia entre Baixo (A) Médio (B), Alto (C) e Muito Alto (D). Fonte da Imagem: Blog Maria do Resguardo, Disponível em <http://www.mariadoresguardo.com.br/>. Acesso em: 27/10/2015.

A figura 56 mostra diferentes tipos de risco em um mesmo plano de fundo, na parte inferior é possível ver edificações situadas em locais de risco **Muito Baixo**, passando para áreas de risco **Médio** setores medianos da Encosta até atingir as áreas com os riscos **Alto** e **Muito Alto** nas partes mais elevadas. Em outro exemplo das áreas

com Risco **Muito Baixo, Médio, Alto e Muito Alto**, a figura 57 apresenta a configuração semelhante da imagem anterior, neste caso é possível ver a configuração do fundo do vale (**Risco Muito Baixo**), passando para os sopés das encostas mais próximas (**Risco Médio**), subindo em direção aos topos de morros através das encostas mais íngremes (**Riscos Alto e Muito Alto**).

Portanto, fica evidente nas imagens apresentadas que nessa época já havia os riscos individuais e sociais, isso porque existia a probabilidade de ocorrência de um processo perigoso que gerasse múltiplos danos ou mortes para os habitantes desses locais e para sociedade em geral que ali vivia, ou seja, um acidente que pudesse causar perdas humanas, materiais e ambientais. Vale destacar que neste período ainda não havia qualquer legislação de parcelamento do solo a fim de estruturar e organizar a ocupação e a presença de áreas edificadas, conforme já foi destacado em momentos anteriores (Item 6.2).

#### 6.4.2 – ÁREAS DE RISCO: CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE PARA O ANO DE 1983

O resultado do mapeamento (disponível na figura 58) e os dados (quadro 20) apresentam que no período de 1983 as áreas com menor risco na BHCY ocupavam 18,21km<sup>2</sup> ou 93,04% da área total, levando em consideração apenas as classes de risco “**Muito Baixo e Baixo**” os valores eram de 9,88km<sup>2</sup> (50,76%) e 8,33km<sup>2</sup> (42,28%), respectivamente. As áreas com risco “**Médio**” (ou moderado) representavam 0,44km<sup>2</sup> ou 2,25% da área total da Bacia do Yung. As áreas que registraram maior risco somavam um total de 0,92km<sup>2</sup> (4,66%), ou seja, as áreas com risco “**Alto**” e “**Muito Alto**” ocupavam 0,78km<sup>2</sup> (3,95%) e 0,14km<sup>2</sup> (0,71%), respectivamente.

**Quadro 20:** Classes de Risco e seus valores (áreas e percentuais) para o período de 1983.

Classes de Risco	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
<b>Muito Baixo</b>	10,00	50,76
<b>Baixo</b>	8,33	42,28
<b>Médio</b>	0,44	2,25
<b>Alto</b>	0,78	3,95
<b>Muito Alto</b>	0,14	0,71
<b>Total</b>	<b>19,7</b>	<b>100</b>



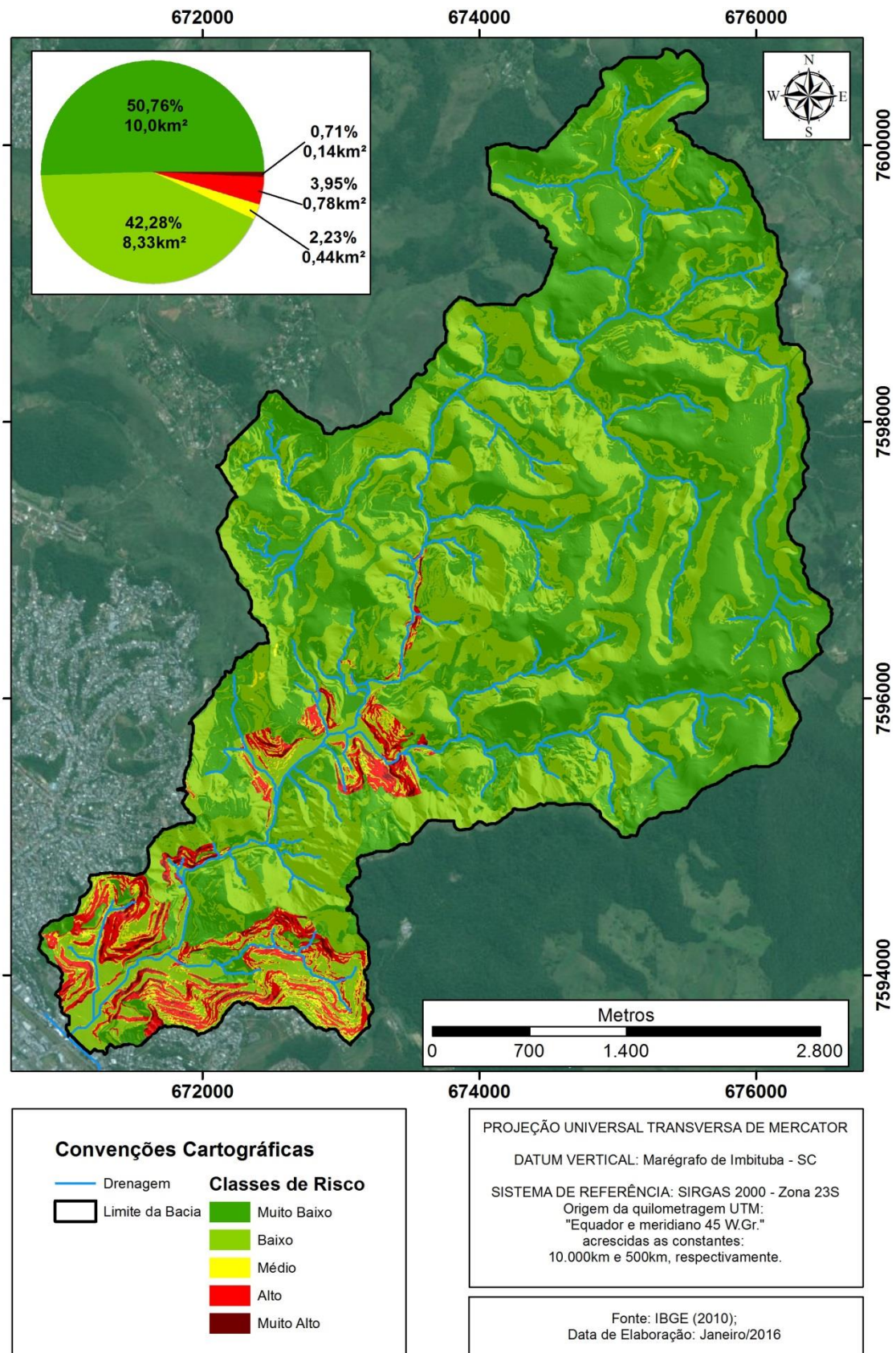


Figura 58: Mapeamento de Áreas de Risco da BHCY para o ano de 1983

As áreas consideradas de Risco **Muito Baixo**, mantiveram um dos maiores percentuais apresentados 50,76% ou 10 km<sup>2</sup>. Em relação ao período anterior, percebe-se que houve um notável aumento que chegou a 1 km<sup>2</sup> (ou 5%), estas áreas continuam ligadas principalmente às porções mais **estáveis** da bacia e com o padrão de uso mais comum para esta classe de risco continuou sendo o de pastagem. Porém, o aumento dessa classe de risco ficou condicionado principalmente ao acréscimo de áreas de **vegetação mista e arbórea**. Ou seja, se reforça a ideia de que estes tipos de uso não ofereceram quaisquer tipos de riscos a perda de vida humana e/ou econômica.

Em relação às áreas de Risco **Baixo**, foram aquelas em que mais tiveram sua de abrangência reduzida, ou seja, no período anterior ela ocupava quase 49% da área total, no presente período ela passou a ocupar pouca mais de 42%, isso significa uma redução de quase 1,3km<sup>2</sup>. Parte desta área “perdida” está ligada ao aumento da classe de risco **Muito Baixo** – conforme destacado anteriormente, e os quase 0,3 km<sup>2</sup> restante se redistribuíram entre as classes de maior risco. As áreas **pouco instáveis** associadas ao uso de áreas de pastagem continuaram dominando a combinação mais comum para esta classe de risco, e, as porções **Estáveis** e **Moderadamente Estáveis** do relevo vinculadas à parte da classe **Áreas Edificadas**.

No que diz respeito às classes de risco **Médio, Alto e Muito Alto** somarem no presente período 6,9% da área (1,36 km<sup>2</sup>), comparando com o período anterior, significa um aumento de 1,4% (0,27 km<sup>2</sup>), condicionada principalmente as novas **áreas edificadas**, na bacia. Neste período é notável o crescimento e consolidação urbana na porção sul, onde se encontram os bairros Vitorino Braga, Grajaú e parte do Bairro São Benedito. Nesta mesma época o núcleo do Bairro Linhares expande as suas ocupações em áreas de encostas mais íngremes e **pouco instáveis** e surgem outras ocupações ao longo do canal em direção à montante, tais áreas se enquadraram em classes de risco **Alto** e **Muito Alto** por estarem localizadas em partes onde o canal fluvial é estrangulado em função da morfologia da bacia, ou seja, ligado ao fator de estabilidade.

Esse grande aumento das áreas de risco **médio a muito alto** está vinculado também ao crescimento constante que as cidades “Médias” (como o caso de Juiz de Fora na época) sofreram no final dos anos 1970 e início dos anos 1980. Entre 1970 e 1980 a cidade passou de 238000 para mais de 307000 habitantes (IBGE, 2010), ou seja, um aumento de 29%, isso impactou diversas áreas do município e não foi diferente na BHCY (Figura 59). Com essas informações é possível compreender que inúmeras partes que antes não eram ocupadas, deram lugar a edificações em locais não seguros

influenciadas principalmente pela falta de planejamento e gestão do espaço urbano, haja vista que quatro anos antes desse mapeamento, já havia uma lei para o parcelamento do solo em áreas proibitivas – conforme já foi colocado no item 6.2.



**Figura 59:** Na parte inferior da imagem visão para Rua Vitorino Braga, Rua e Igreja Nossa Senhora do Líbano (parte dos Bairros Grajaú e Vitorino Braga - Imagem da década de 1980), próximo à foz da BHCY no Rio Paraibuna. Na mesma imagem, ao fundo, o núcleo central de Juiz de Fora. Na imagem, é possível notar a distribuição da classificação de risco entre  **muito baixo** a  **muito alto**, levando em consideração a ocupação urbana. Fonte da Imagem: Blog Maria do Resguardo, Disponível em <http://www.mariadoresguardo.com.br/>. Acesso em: 27/10/2015.



### 6.4.3 – ÁREAS DE RISCO: CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE PARA O ANO DE 2010

O resultado do mapeamento (disponível na figura 60) e os dados (quadro 21) apresentam que no período de 1968 as áreas com menor risco na BHCY ocupavam 17,49km<sup>2</sup> ou 89,37% da área total, levando em consideração apenas as classes de risco “**Muito Baixo** e **Baixo**” os valores eram de 9,28km<sup>2</sup> (47,1%) e 8,31km<sup>2</sup> (42,18%), respectivamente. As áreas com risco “**Médio**” (ou moderado) representavam 0,65km<sup>2</sup> ou 3,3% da área total da Bacia do Yung. As áreas que registraram maior risco somavam um total de 1,46km<sup>2</sup> (7,41%), ou seja, as áreas com risco “**Alto**” e “**Muito Alto**” ocupavam 1,25km<sup>2</sup> (6,35%) e 0,21km<sup>2</sup> (1,06%), respectivamente.

**Quadro 21:** Classes de Risco e seus valores (areais e percentuais) para o período de 2010.

Classes de Risco	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
<b>Muito Baixo</b>	9,28	47,10
<b>Baixo</b>	8,31	42,18
<b>Médio</b>	0,65	3,30
<b>Alto</b>	1,25	6,35
<b>Muito Alto</b>	0,21	1,06
<b>Total</b>	<b>19,7</b>	<b>100</b>

As áreas consideradas de Risco **Muito Baixo**, mantiveram um dos maiores percentuais apresentados 47,10% ou 9,28 km<sup>2</sup>. Em relação ao período anterior, percebe-se que houve uma redução que chegou a quase 0,7 km<sup>2</sup> (ou 3,6%), estas áreas permaneceram ligadas principalmente às porções mais “**estáveis**” da bacia e com o padrão de uso mais comum para esta classe de risco continuou sendo o de pastagem. A redução dessas áreas se deu em função da modificação do tipo de risco, passando do risco Muito Baixo para o Baixo conforme pode ser visto na figura 61 onde áreas de pastagem estão associadas a algumas áreas de cultivo agrícola. A presença dessa classe de risco ficou também associada a presença de áreas de **vegetação mista e arbórea**, conforme pode ser observado na figura 62. Isso reitera que tais tipos de uso não oferecem quaisquer tipos de riscos à perda humana e/ou econômica.

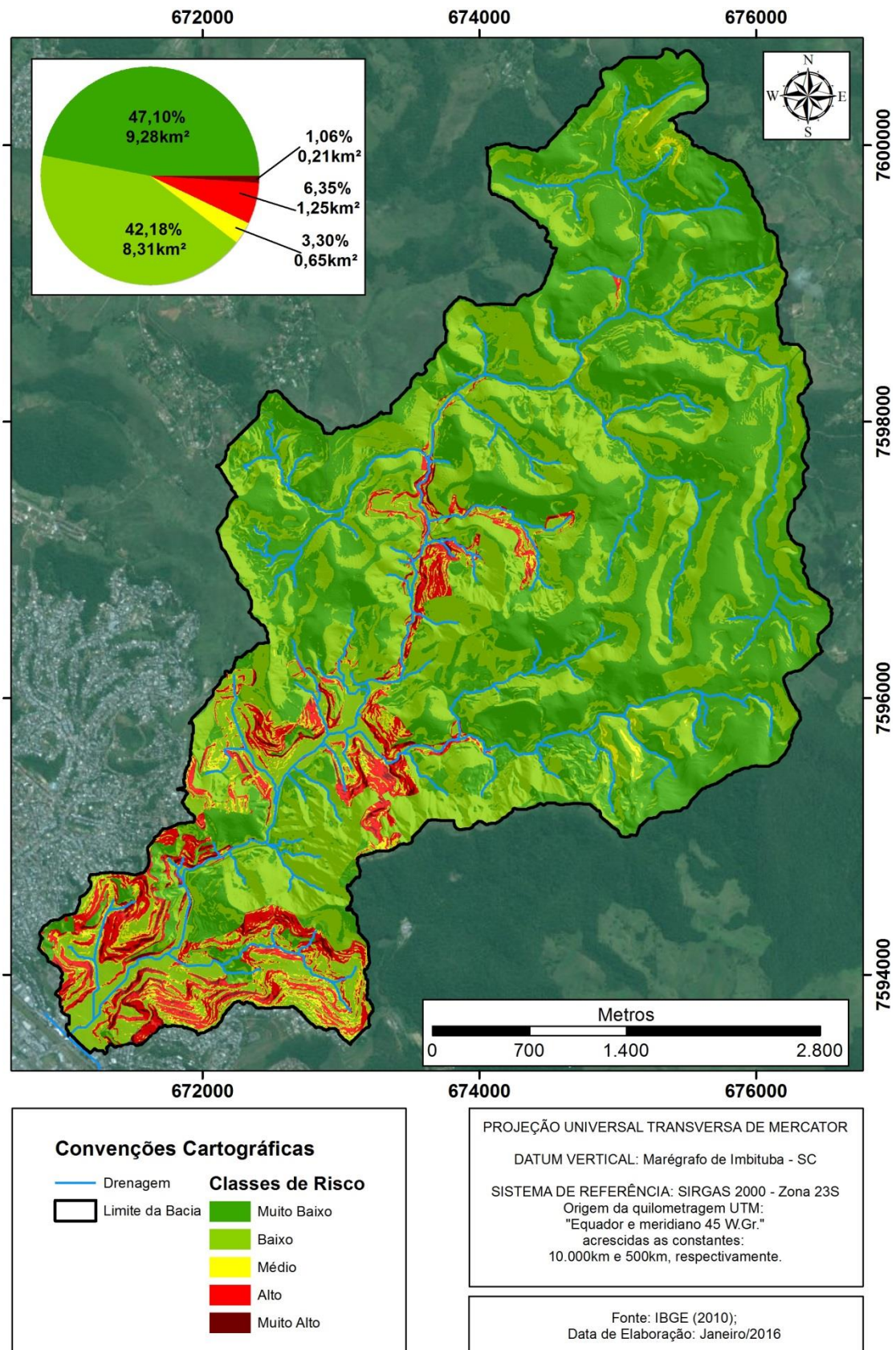


Figura 60: Mapeamento de Áreas de Risco da BHCY para o ano de 2010





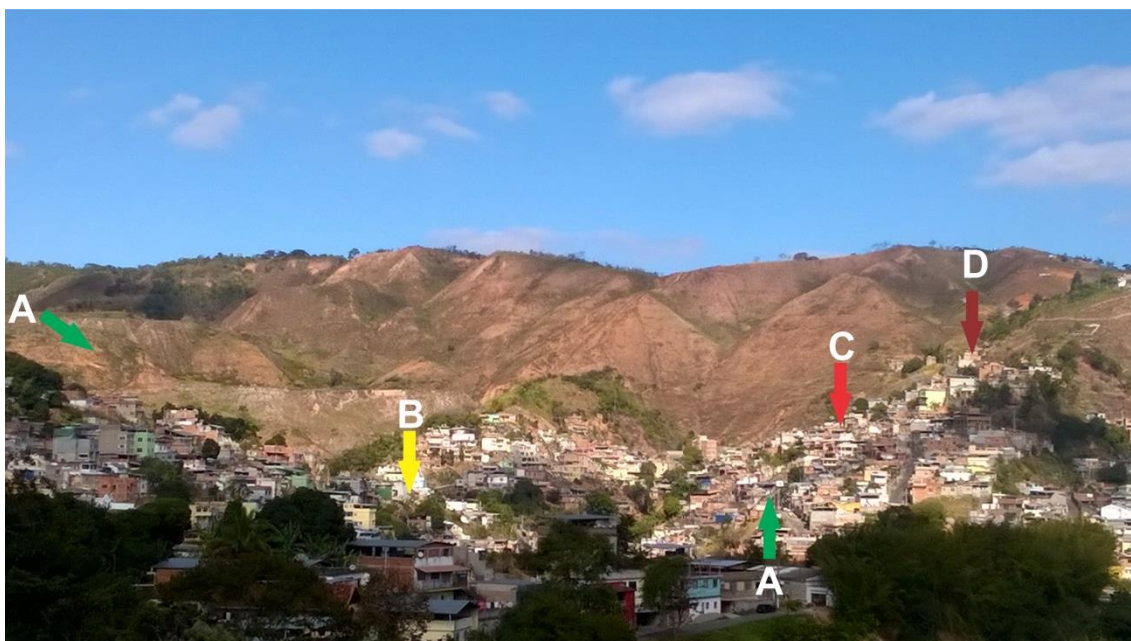
**Figura 61:** Área de Risco **Muito Baixo** (encostas com pastagens) e novas áreas de Risco **Baixo** (Área de cultivo agrícola na parte central da imagem), mostrando o quão heterogêneo pode ser a divisão desses espaços. Na imagem ainda é possível visualizar algumas edificações relacionadas ao segmento rural da BHCY.



**Figura 62:** Áreas de Risco **Muito Baixo** ligadas às áreas de vegetação mista e arborea.

As áreas de Risco **Baixo** mantiveram sua de abrangência em comparação com o período anterior 8,31 km<sup>2</sup> (42,18%), isso significa que parte das áreas de Risco **Muito Baixo** se transformaram em Risco **Baixo** e parte do Risco **Baixo** se tornou Risco **Médio**, **Alto** ou **Muito Alto**. As áreas **pouco instáveis** associadas ao uso de áreas de

pastagem continuaram dominando a combinação mais comum para esta classe de risco, e, as porções **Estáveis** e **Moderadamente Estáveis** do relevo vinculadas à parte da classe **Áreas Edificadas**. Na figura 63 é possível visualizar a presença de áreas com risco **Baixo** nos setores de encostas mais elevadas com cobertura de pastagem (parte superior da imagem), e a parte de áreas edificadas (porção inferior, no fundo de vale). Na mesma imagem ainda é possível compreender que as áreas de risco se mostram distribuídas de forma heterogênea, ou seja, parte de áreas edificadas estão situadas em risco **Médio, Alto e Muito Alto**.



**Figura 63:** Distribuição das classes de Risco na BHCY. Nos fundos de vale predominam o Risco **Baixo** assim como nas porções de pastagem, nas porções de média encosta surgem outras classes de risco como **Médio, Alto e Muito Alto**.

No que diz respeito às classes de risco **Médio, Alto e Muito Alto** (Figura 64 A até D) somarem no presente período 10,7% da área (2,11 km<sup>2</sup>), comparando com o período anterior, significa um aumento de 3,8% (0,75 km<sup>2</sup>), isso vinculado principalmente ao aumento considerável das **áreas edificadas** em tal período (comparado com o ano de 1983). Com o crescimento e consolidação urbana na porção sul (bairros Vitorino Braga, Grajaú e parte do Bairro São Benedito) e na porção central da Bacia (Bairro Linhares), as áreas de encostas sofrem pressão ainda maior com o aumento considerável das áreas edificadas (Figuras 64 C e D). O núcleo do Bairro Linhares expande ainda mais as suas ocupações em áreas de encostas mais íngremes e **pouco instáveis, moderadamente instáveis e instáveis**.





**Figura 64:** Distribuição das Classes de Risco Médio a Muito Alto na BHCY para o ano de 2010.

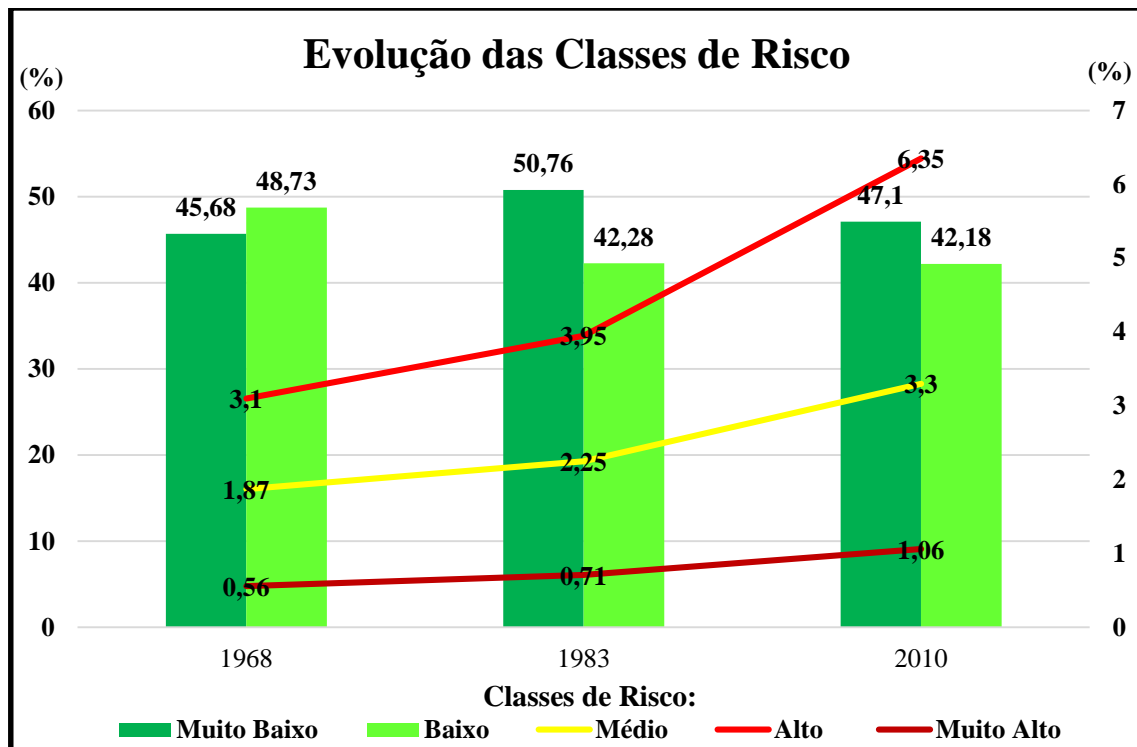
Ainda há o aumento de novas ocupações ao longo do canal que vai em direção à montante (Figura 64 B), tais áreas se enquadraram em classes de risco **Alto** e **Muito Alto** e são áreas edificadas de forma irregular, pois se constituem com formato de loteamento. Na figura 64A está um exemplo notório de risco da BHCY, está no núcleo dos Bairros Vitorino Braga e Grajaú, mas é conhecido como “Alto Três Moinhos”, um local com processos recorrentes recorrente e já identificado pela prefeitura. Conforme Chaves (2010) destaca, este local trata-se de um loteamento não aprovado pela prefeitura, que foi implantado no local pelo loteador com a venda de terrenos e posterior registro em cartório. As outras áreas são as invasões que foram ocorrendo ao longo do tempo.

Portanto, esse aumento exacerbado das áreas de risco **médio** a **muito alto** está diretamente relacionado ao crescimento considerável que Juiz de Fora passou entre 1980 e 2010. Em 1980 a cidade possuía 307.000 habitantes, no ano de 2010 esse número chegou a 516.000 habitantes (IBGE, 2010), isso reflete em um acréscimo de 59,5%, e isso também refletiu na BHCY - se compararmos ainda com 1968 é um aumento de 216% na população total. Juiz de Fora - consolidada como polo da Zona da Mata Mineira - atraiu mais infraestrutura e população residente e isso não foi diferente no caso da BHCY. Ou seja, as edificações, e a população continuaram se instalando cada vez mais em locais que não tinham qualquer tipo de planejamento e/ou obras estruturais que dessas condições de segurança.

Nesse sentido percebe-se que o problema avançou em progressão quase geométrica, pois problemas que já ainda na década de 1980 (quando ainda era passível de se amenizar) não foram solucionados – por exemplo, a proibição e desapropriação dos residentes dessas áreas, além da demolição das construções indevidas – e ainda surgiram inúmeras outras ocupações que consolidaram ainda mais o problema ocorrido. Mais uma vez, houve falta de planejamento e gestão do espaço urbano, haja vista que leis que proibiam o parcelamento do solo nessas áreas já existiam.

Sobre a compreensão da expansão do risco é possível considerar que eles evoluíram de forma acentuada entre os três períodos estudados (Gráfico da figura 65). O período de 2010 não é só o mais crítico por ser o mais recente, mas porque foi o momento em que a cidade mais se expandiu em termos populacionais. A respeito das classes de Risco **Muito Baixo** e **Baixo**, elas estão vinculadas essencialmente às áreas que não oferecem perdas econômicas e/ou de vidas humanas. O grau de risco **Médio** apresentou pequena área de abrangência normalmente já estava associado com as áreas

de Alto risco. O grau de risco mais comum para as áreas edificadas identificada nos três períodos é das classes de **Alto** risco, isso significa que os riscos individuais são aqueles com o maior potencial de ocorrência na BHCY. E no caso dos riscos **Muito Altos** apresentaram abrangência associadas ao risco **Alto**.



**Figura 65:** Gráfico de Evolução das Áreas de Risco entre 1968, 1983 e 2010



## 7 – CONCLUSÕES

Dentre os resultados obtidos, a importância do mapeamento do Uso da Terra e cobertura vegetal é fundamental, pois tem função para o planejamento territorial do município e retrata a forma como a área está sendo usada. Durante a pesquisa deste trabalho, foram buscados os levantamentos (aerofotogramétricos, imageamento por satélite, Ortofotocartas) mais abrangentes da área de estudo, isso porque, em vários mapeamentos do município a BHCY não é contemplada em sua totalidade, pois parte de sua área está situada fora do perímetro urbano.

Nesse sentido, o mapeamento para o ano de 1968, apesar de incompleto para o município (contempla apenas o perímetro urbano da época), trata-se do material mais antigo registrado no acervo da cidade para fins de planejamento e gestão urbana, ou seja, possui importância para a compreensão para uma cidade começa a crescer e se desenvolver efetivamente. O mapeamento do ano de 1983 foi de fundamental valor, pois se trata do primeiro mapeamento completo da cidade, isso possibilitou compreender a dinâmica da época e as reais potencialidades de uso, ocupação e cobertura vegetal que o município apresentava, não diferente isso se aplica a BHCY. Em 2010 foi realizado o último mapeamento para cidade, o qual apresenta as várias transformações pelas quais o município passou e logicamente a BHCY.

Nesse sentido, os mapeamentos de uso e ocupação da terra para os períodos de 1968, 1983 e 2010 visam dar aporte ao planejamento racional de uso da terra na BHCY. Isso possibilita o melhor conhecimento da área e a aplicação das legislações vigentes, e possibilita serem usados como instrumento para o poder público e para a redução dos vários impactos presentes. Estes muitas vezes chegando a limites críticos em determinadas regiões, tais impactos visualizados podem ser: Aumento desordenado de áreas edificadas em locais onde o risco é iminente, ou seja, onde a infraestrutura é precária e não atende o básico para dar suporte a população residente; Redução das áreas de vegetação mista e arbórea, que foram destruídas em função de outras atividades que se instalam na área como a Pastagem, Silvicultura e Agricultura, promovendo a diminuição das paisagens naturais e da biodiversidade; Impacto nos canais fluviais em

função do assoreamento causado por pedreiras e/ou saibeiras, promovendo uma alteração nos fluxos de matéria e energia, entre outros.

No que diz respeito à aplicação da Legislação de Parcelamento do Solo, foi possível visualizar como que o processo acelerado da urbanização se direcionou, em maior parte, a áreas não favoráveis a ocupação na BHCY. As legislações (nacional e municipal) colocam pontos importantes no que tange a essa ocupação (limita o declive de ocupação, dentre outros fatores destacados), e é notório que os órgãos municipais tentam controlar e impedir que tais locais sejam habitados, porém a ocupação se dá de uma maneira muito mais veloz, ou seja, a produção do espaço urbano muda a dinâmica e o equilíbrio das planícies e vertentes, potencializando e acelerando processos naturais que pode causar prejuízos e danos às pessoas que ali estão inseridas.

Em relação ao panorama apresentado da estabilidade das encostas, considera-se que a utilização do modelo SINMAP se mostra uma ferramenta capaz de auxiliar, no estudo da dinâmica de movimentos de massa na Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung, ou seja, bacias de pequeno porte. No que diz respeito à consistência dos dados geotécnicos e hidrológicos, é considerável a importância com dados calibrados da área, isso porque em trabalho anterior Menon Júnior (2014) já havia obtido um resultado satisfatório para área com dados ainda não calibrados, neste caso 86% das cicatrizes se enquadraram em classes de instabilidade, agora o acerto chega aos 98%.

Apesar da limitação de resolução espacial para a operação do modelo SINMAP - o qual somente permite uma entrada de um MDE de 7000x7000 pixels, ou seja, não foi possível trabalhar com pixel de 1m (1m<sup>2</sup> de área), isso não gerou quaisquer problemas na manipulação e interpretação dos dados. Portanto, mesmo trabalhando com um pixel de 2m - 4m<sup>2</sup> de área, nota-se que isso não gerou qualquer problema na análise final dos dados de estabilidade e muito menos do risco na BHCY.

O mapa de estabilidade possibilitou compreender os locais com maiores susceptibilidades à ocorrência de movimentos de massa na Bacia do Yung e estimar quais são as áreas mais propensas a esse tipo de evento. É notório o papel da declividade sobre as forças de cisalhamento do terreno, além dos solos espessos da região, sem considerar que em períodos chuvosos há o somatório destas diversas forças.

As sugestões de possíveis ações a fim de minimizar os riscos de processos perigosos com os escorregamentos podem ser as obras de contenção de encostas - eficientes enquanto medidas de curto prazo - podem ser as principais medidas tomadas para redução do risco de acidentes associados a escorregamentos onde existe um risco

instalado e/ou iminente. Porém, existe outro fator é que essas obras nunca serão suficientes para atender a todos os pontos de risco, pois os escorregamentos de pequeno volume ocorrem espalhados em diversos pontos da BHCY.

Nesse sentido, é importante que sejam implantadas medidas de caráter estrutural e não estrutural de longo prazo, ou seja, o impedimento de ocupação e uso da terra através das leis ou a remoção de moradias que estejam situadas em áreas de risco extremamente elevado. A adoção de medidas de longo prazo para a redução de risco de escorregamentos não é simples, pois há alguns fatores que devem ser levados em consideração, como: Falta de decisão política para fazer valerem os documentos legislativos e garantir a ocupação ordenada das encostas; Persistência do desconhecimento de grande parte do público sobre as medidas técnicas e seus aspectos positivos.

As relações entre o relevo, urbanização e a dinâmica do domínio tropical atlântico são muito próximas na BHCY. As grandes pluviosidades sofridas nessas áreas durante as estações chuvosas possibilitam processos erosivos e movimentos de massa de forma mais acentuada. O declive mais acidentado favorece o escoamento superficial de forma mais agressiva, potencializando desastres para as sociedades que vivem próximos e/ou nas áreas de risco. Além disso, observando a forma como ocorreu a ocupação (das planícies para as encostas até os topos de morro), diversos processos de vertente na BHCY foram modificados como a aceleração/diminuição do escoamento superficial nas porções altas e baixas da bacia, prejudicando a dinâmica de infiltração, e, em áreas onde ocorrem saturações mais profundas em porções altas da vertente, os movimentos de massa são mais constantes e recorrentes. Portanto, a BHCY apresenta várias restrições que devem ser levadas em consideração para a sua ocupação, conforme foi apresentado nesse trabalho, e que as áreas de risco no domínio tropical atlântico tem seus processos potencializados devido à intensa dinâmica de esculturação do relevo e processos deposicionais correlatos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AB'SÁBER, A. N. Um conceito de Geomorfologia a Serviço das Pesquisas Sobre o Quaternário. **Geomorfologia**. n. 18. São Paulo, 1969. p. 1 - 19

\_\_\_\_\_. **Os Domínios de Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas**. 7ªed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2012. 158p.

AMORIM, R. R. Um novo olhar na Geografia para os conceitos e aplicações de Geossistemas, Sistemas Antrópicos e Sistemas Ambientais. **Caminhos de Geografia**, v. 13, n.41, 2012. p. 80-101.

ARISTIZÁBAL, E.; MARTÍNEZ, H.; VÉLEZ, J. I. Una Revisión Sobre El Estudio De Movimientos En Masa Detonados Por Lluvias. **Rev. Acad. Colomb. Cienc**, v. 24, n.131, 2010. p.209-227.

BERTALANFFY, L. V. **General System Theory: Foundations, Development, Applications**. New York: George Braziller, 1968. 277p.

BEVEN, K. 12 Equifinality and Uncertainty in Geomorphological Modelling. In: **The Scientific Nature of Geomorphology: Proceedings of the 27th Binghamton Symposium in Geomorphology, Held 27-29 September, 1996**. John Wiley & Sons, 1996. p. 289-313.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1994. v.1.

\_\_\_\_\_.; BECKER, R. D.; PASSOS, E. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. v.3.

BOTTI, C. A. H. **Companhia Mineira de Eletricidade**. Belo Horizonte: CEMIG, 1994. 179p.

BRASIL. Lei nº 5172, de 25 de outubro de 1966. Dispõe sobre o Sistema Tributário Nacional e institui normas gerais de direito tributário aplicáveis à União, Estados e Municípios. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L5172.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L5172.htm). Acesso em: 01 fev. 2016.

\_\_\_\_\_. Lei nº 6766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L6766.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6766.htm). Acesso em: 04 abr. 2015.

CERRI, L. E. S. & AMARAL, C. P. **Riscos Geológicos**. In: OLIVEIRA, A. M. S. BRITO, S. N. A. (eds.) 1998. Geologia de Engenharia. São Paulo, ABGE.

CHAVES, T. S. **Expansão Urbana e Degradação de Encostas em Juiz De Fora-MG: Um Estudo de Caso do Alto Três Moinhos e do Morro do Imperador**.

Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Análise Ambiental). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010. 85p.

CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. **Physical Geography: A Systems Approach**. London: Prentice-Hall Internacional Inc, 1971.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979. 106p.

\_\_\_\_\_. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 236p.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geosystems: an introduction to physical geography**. 8th ed. New York: Prentice Hall, 2012. 693p.

CONTI, J. B. Resgatando a Fisiologia da Paisagem. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, São Paulo, v. 14, p. 59-68, 2001.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa em Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa produção de informação**; Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 306p, 2006.

ERHART, H. A teoria bio-resistásica e os problemas biogeográficos e paleobiológicos. **Notícia Geomorfológica**. Campinas, n. 11, p. 51-58, 1966.

ESRI. **ArcGIS Desktop: Release 10.2.2**. Redlands, California: Environmental Systems Research Institute, 2014.

ESTEIO-S/A. **Levantamento Aerofotogramétrico do Município de Juiz de Fora**. Curitiba: ESTEIO S/A, 2007. (1:2000).

FARIA, R. L. **Zoneamento da Susceptibilidade à Ocorrência de Escorregamentos na Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

FANIRAN, A; JEJE, L. K. **Humid Tropical Geomorphology**. Great Britain: Pitman Press, 1983. 414p.

FERNANDES, N. F. e AMARAL, C. P. **Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica**. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (Ed.). **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro 1996. p.123-194.

FONSECA, L. M. D.; LANI, J. L.; FERNANDES FILHO E. I.; MARQUES, E. A. G.; FERREIRA, W. P. M. Avaliação da Erodibilidade de um Cambissolo de Juiz de Fora, Minas Gerais. **Revista Geotecnia**, n.136, março 2016. p. 143-156

GAPRINDASHVILI, G.; GUO, J.; DAORUEANG, P; XIN, T.; RAHIMY, P. A New Statistic Approach towards Landslide Hazard Risk Assessment. **International Journal of Geosciences**, v.5, 2014. p. 38-49



GORSEVSKI, P. V.; GESSLER, P. E.; BOLL, J; ELLIOT, W. J.; FOLTZ, R. B. Spatially and temporally distributed modeling of landslide susceptibility. **Geomorphology**, v.80, 2006. p. 178-198

GREEN, D.L. Section 5.3: Modelling Geomorphic Systems: Scaled Physical Models. In: Clarke, L.E. & Nield, J.M. (Eds.) **Geomorphological Techniques** (Online Edition). British Society for Geomorphology; London, UK, 2014. ISSN: 2047-0371.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. 2ªed. São Paulo: Edgard Blücher, 1984.

GUTIÉRREZ, F.; SOLDATI, M.; AUDEMARD, F.; BĂLTEANU, D. Recent advances in landslide investigation: Issues and perspectives. **Geomorphology**, v.124, 2010, p. 95-101

HAIGH, M. J. Geography and General System Theory, Philosophical Homologies and Current Practice. **Geoforum**, v.16, n.2, 1985. p. 191-203.

HAMMOND, C.; *et al.* **Level I Stability Analysis (LISA) Documentation for Version 2.0**. General Technical Report INT-285, USDA Forest Service Intermountain Research Station, 1992.

HIGHLAND, L.M.; BOBROWSKY, P. **The landslide handbook - A guide to understanding landslides**. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey Circular 1325, 2008. 129 p.

HUGETT, R. J. **Fundamentals of Geomorphology**. 2ª ed. New York: Routledge, 2007. 466p.

IBGE, Carta Geográfica da Região Sudeste do Brasil, **Folha de Juiz de Fora** (Folha SF-23-X-D-IV-1), em escala de 1:50.000 (1966).

\_\_\_\_\_. **Manual técnico de geomorfologia** / Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – 2. ed. - Rio de Janeiro : IBGE, 2009. 182p.

\_\_\_\_\_. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**/ Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – 2. ed. - Rio de Janeiro : IBGE, 2012. 275p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Disponível em: [http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg\\_dspDadosCodigo.php?QTUxOA==](http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo.php?QTUxOA==). Acesso em: 27/12/2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1981.

IUGS - International Union of Geological Sciences. **Quantitative risk assessment for slopes and landslides - The state of the art**. Proceedings of the Landslide Risk Workshop, IUGS Working Group on Landslides, Honolulu, 1997, pp 3-12.

JUIZ DE FORA. **Lei nº 6908, de 31 de maio de 1986**. Dispõe sobre o parcelamento do solo no Município de Juiz de Fora. Disponível em: [http://www.jflegis.pjf.mg.gov.br/c\\_norma.php?chave=0000019206](http://www.jflegis.pjf.mg.gov.br/c_norma.php?chave=0000019206). Acesso em: 08 abr. 2015.

JUIZ DE FORA. **Decreto nº 2794, de 21 de setembro de 1982.** Cria a Reserva Biológica Municipal do Poço D'Anta. Disponível em: [http://www.jflegis.pjf.mg.gov.br/c\\_norma.php?chave=0000008871](http://www.jflegis.pjf.mg.gov.br/c_norma.php?chave=0000008871). Acesso em: 20 nov. 2015.

LASA ENGENHARIA E PROSPECÇÕES S/A. **Levantamento Aerofotogramétrico do Município de Juiz de Fora.** Rio de Janeiro: LASA S/A, 1968. (1:5700).

LEMONS, R.C.; SANTOS, R.D. **Manual Método de Trabalho de Campo.** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. 35p.

LISTO, F. L. R.; VIEIRA, B. C. Mapping of risk and susceptibility of shallow-landslide in the city of São Paulo, Brazil. **Geomorphology**, v.169-170, 2012, p. 30-44

MACHADO FILHO, L.; RIBEIRO, M.W.; GONZALEZ, S.R.; SCHENINI, C.A.; SANTOS NETO, A.; PALMEIRA, R.C.B.; PIRES, J. L.; TEIXEIRA, W. & CASTRO, H.E.F. - 1983 - **Projeto RADAMBRASIL.** Folhas SF-23/24, Rio de Janeiro / Vitória (geologia). MME. VOL. 32, p. 27-304, Rio de Janeiro

MARQUES NETO, R. **Estudo Evolutivo do Sistema Morfoclimático e Morfotectônico da Bacia do Rio Verde (MG), Sudeste do Brasil.** Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Estadual Paulista (Campus Rio Claro), Rio Claro, 2012. 429f.

MARTHA, T. R.; VAN WESTEN, C. J.; KERLE, N.; JETTEN, V.; VINNOD KUMAR, K. Landslide hazard and risk assessment using semi-automatically created landslide inventories. **Geomorphology**, v.184, 2013. p. 139-150.

MENESES, P. R.; ALMEIDA T (Org). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Brasília: UnB e CNPq, 2012. 266p.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil.** São Paulo: Oficina de Texto, 2007. 206 p.

MENON JÚNIOR, W. **Movimentos de massa na Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung – Juiz de Fora/MG: Interpretações a partir da utilização do modelo SINMAP.** Monografia de conclusão de curso (Graduação em Geografia). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014. 81p.

MONTGOMERY, D. R. & DIETRICH, W. E. A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. **Water Resources Research**, v.30, n.4, 1994. p.1153-1171.

MORIN, E. **O método: a natureza da natureza.** Lisboa. Publicações Europa-América, 1997. 363p.

NEVES, C. E. et. al. A Importância dos Geossistemas na Pesquisa Geográfica: Uma análise a partir da correlação com o Ecossistema. **Sociedade e Natureza**, v.2, n.26, 2014. P. 271-285.

OLIVEIRA, A. M. S. e BRITO, S. N. A. **Geologia de Engenharia.** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. 587p.

OLIVEIRA, J. B. **Processos Pedogenéticos**. In: MONIZ, A. C. (Org) Elementos de Pedologia. São Paulo: Polígono, 1972. p.325-334.

PACHECO, B. L. S.; SILVA JÚNIOR, L. G.; OLIVEIRA, L. A. Estudo da Relação entre Temperatura/Altitude e Precipitação/Altitude aplicando-se os métodos de Correlação e regressão. **Revista Geonorte**, v.1, n.5, 2012. p.561-572.

PACK, R. T.; TARBOTON, D. G.; GOODWIN, C. N. "**The SINMAP Approach to Terrain Stability Mapping**" Paper Submitted to 8th Congress of the International Association of Engineering Geology, Vancouver, British Columbia, Canada 21-25 September 1998.

PACK, R. T., TARBOTON D. G., GOODWIN C. N., PRASAD, A. "**SINMAP user's manual**", 2005.

PEDREIRA SANTO CRISTO. **A EMPRESA**. Disponível em: <http://www.pedreirasantocristo.com.br/a-empresa.html>. Acesso em: 20 nov. 2015.

PEDROSA-SOARES, A. C.; NOCE, C. M.; TROUW, R. A. J.; HEILBRON, M. (coordenadores). **GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DO SUDESTE MINEIRO**. Projeto Sul de Minas-Etapa I (COMIG-UFGM-UFRJ-UERJ), relatório final, CD-ROM, Companhia Mineradora de Minas Gerais, 2003.

PHILLIPS, J. D. Nonlinear dynamical systems in geomorphology: revolution or evolution? **Geomorphology**, v.5, n.3-5, 1992. p. 219-229.

PREFEITURA DE JUIZ DE FORA. **Plano Diretor de Desenvolvimento de Juiz de Fora - Diagnóstico**. Juiz de Fora, 2000.

\_\_\_\_\_. **Plano Diretor de Desenvolvimento de Juiz de Fora - Diagnóstico**. Juiz de Fora, 2004.

PRESS, F. et. al. **Para Entender a Terra**. Bookman, Porto Alegre – RS. 2006. 4ª Ed. 656p.

RADAMBRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Levantamento dos Recursos Naturais - Folhas SF 23/24**, Rio de Janeiro / Vitória. Rio de Janeiro, 1983, v.32, p.780. (Escala 1:1.000.000).

RADBRUCH-HALL, D. H.; VARNES, D. J. Landslides – Cause and Effect. **Bulletin of the International Association of Engineering Geology**, n.4, 1976. p. 205-216.

REBELO, F. **Riscos naturais e acção antrópica**. Coimbra: Imprensa da Universidade, 2003.

REGMI, N. R.; GIARDINO, J. R.; VITEK, J. D. Assessing susceptibility to landslides: Using models to understand observed changes in slopes. **Geomorphology**, v.122, 2010. p. 25-38.

REZENDE, S.B. & RESENDE, M. Solos dos Mares de Morros: Ocupação e uso. In: ALVAREZ V.,V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F. **Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.261-289.

RINCO, L.; BACELLAR, L. A. P. **Configuração espacial da microbacia do córrego Yungue em Juiz de Fora, MG.** Geosul, v.22, n. 43, 2007. p. 147-165.

SCHEIDEGGER, A. E. A review of recent work on mass movements on slopes and on rock falls. **Earth-Science Reviews**, v.21, 1984 p. 225-249.

\_\_\_\_\_. Limitations of the system approach in Geomorphology. **Geomorphology**, v.5, n.3-5, 1992. p. 213-217.

SELBY, M. J. **Hillslope Materials and Processes.** 2ªed. New York: Oxford University Press, 1993. 451 p.

TORRES, F. T. P.; MARQUES NETO, R.; MENEZES, S. O. **Introdução à Geomorfologia.** São Paulo: Cengage Learning, 2012. 322p.

TRICART, J. **Principés et méthodes de la Geomorphologie.** Paris: Masson, 1965.

\_\_\_\_\_. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: SUPREN, 1977.

TROPPEMAIR, H; GALINA, M. H. Geossistemas. **Mercator**, n. 10, 2006. p. 79-89.

Universidade Federal de Viçosa; Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; Universidade Federal de Lavras; Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais: legenda expandida.** Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 49p.

VARNES, D. J. Slope movement types and processes. In: Special Report 176: Landslides: Analysis and Control (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.). **Transportation and Road Research Board, National Academy of Science,** Washington D. C. 1978. 11-33.

VALE, C. C. Teoria Geral do Sistema: Histórico e correlações com a Geografia e com o estudo da paisagem. **Entre-Lugar**, v.2, n.6, 2012. P. 85-108.

VESTENA, L. R. KOBİYAMA, M. Identificação e mapeamento dos processos erosivos na bacia hidrográfica do rio caeté, no município de Alfredo Wagner/SC. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.15, n.1, (Jan-mar) p.23-33, 2014.

VEYRET, Y. (org.). **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente.** São Paulo: Contexto, 2007, 320p

VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem Sistêmica e Geografia. **Geografia**, v. 28, n. 3, 2003. p. 323-344

WOLDENBERG, M. J. **Models in Geomorphology.** Londres: George Allen & Unwin, 1985.

ZAIDAN, R.T. **Riscos de escorregamentos numa bacia de drenagem urbana no município de Juiz de Fora – MG.** Tese de Doutorado em Geografia. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. 101p.