

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

**ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A CORRIDAS DE MASSA APLICADA A DUTOVIAS:
ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIBEIRÃO DO ROQUE**

Gabriela Lumiatti

Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

Rio Claro (SP)

2015

GABRIELA LUMIATTI

**ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A CORRIDAS DE
MASSA APLICADA A DUTOVIAS: ESTUDO DE CASO
NA BACIA DO RIBEIRÃO DO ROQUE**

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas,
Campus de Rio Claro (SP), da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.*

Orientador: Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

Rio Claro (SP)
2015

551.4a Lumiatti, Gabriela
L957a Análise da suscetibilidade a corridas de massa aplicada a
 dutovias : estudo de caso na bacia do Ribeirão do Roque /
 Gabriela Lumiatti. - Rio Claro, 2015
 62 f. : il., figs., quadros, mapas

 Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) -
 Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e
 Ciências Exatas
 Orientador: Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

 1. Geografia física - Aspectos ambientais. 2. Análise
 multicriterial. 3. Engenharia ambiental. I. Título.

GABRIELA LUMIATTI

**ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A CORRIDAS DE
MASSA APLICADA A DUTOVIAS: ESTUDO DE CASO
NA BACIA DO RIBEIRÃO DO ROQUE**

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas,
Campus de Rio Claro (SP), da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.*

Comissão Examinadora
Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis
Prof. Dr. Leandro Eugenio da Silva Cerri
Prof. Dr. José Eduardo Zaine

Rio Claro, 25 de Março de 2015.

Gabriela Lumiatti

Prof. Dr. Fabio A.G.V. Reis

Rio Claro (SP)
2015

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço aos meus pais, Rosana e Edmilson, pelo amor incondicional e pelo apoio, tanto nos momentos mais felizes quanto nos mais tristes. Muito obrigada pelo carinho, atenção e dedicação nestes anos todos.

Agradeço também a minha querida irmã Giovanna, pela amizade e companheirismo.

A minha eterna e mais sincera amiga Larissa, que tem me dado o privilégio da sua amizade desde o ensino fundamental.

Agradeço ainda a minha querida tia Neuza, cúmplice de todas as horas e conselheira sem igual. Muito obrigada mesmo pelo seu carinho!

Agradeço ainda a minhas queridas amigas de república, Laís, Helena, Isabela e Ana Carolina, com as quais eu tenho vivido momentos inesquecíveis, nestes que tem sido os melhores anos da minha vida.

Agradeço ainda ao Dimitrios, uma pessoa que tem sido muito mais do que especial, neste quase um ano de amizade e companheirismo.

Agradeço também aos companheiros do grupo de pesquisa, Cláudia Vanessa, Flávio, William e Ana Paula, por todas as dicas importantes, que fizeram com que este projeto pudesse tomar a forma que possui.

Aos colegas da turma de 2010 da Engenharia Ambiental, pelos anos vividos e por todas as experiências compartilhadas.

Gostaria de agradecer especialmente ao meu orientador, o Prof. Fábio, por todo o auxílio que tem me dado para a realização desse projeto e pelas oportunidades de aprendizado acadêmico e profissional que o senhor tem me proporcionado.

Quero agradecer ainda ao Prof. Zaine, pelo seu auxílio e paciência.

Finalmente e não menos importante, quero agradecer ao meu professor/amigo/ Léo, por todo os ensinamentos, incentivos e ainda lições de vida ao longo de todos estes anos da graduação.

Agradeço ainda ao Programa de Formação de Recursos Humanos em Geologia do Petróleo e Ciências Ambientais Aplicadas ao Setor de Petróleo & Gás e de Biocombustíveis (PRH-05) da UNESP, campus Rio Claro, Programa da ANP/PETROBRAS.

“Não existem receitas populares para investigar, o que existe é uma estratégia de investigação científica, é uma maneira de fazer boa ciência, natural ou social, pura ou aplicada, formal ou factual. Posto que o método científico é uma maneira de conduzir as investigações científicas, não pode ser aprendido separadamente destas ultimas. Vai-se dominando o método- e talvez também modificando-o a medida que se faz investigação original. Há um sem-número de táticas ou métodos especiais característicos das diversas ciências e tecnologias particulares. Nenhuma destas táticas é exaustiva e infalível. É preciso vivê-las para compreendê-las. Seu êxito depende não só da tática ou método, mas também da escolha do problema, dos meios (conceituais e empíricos) disponíveis e, em medida não menor, do talento do investigador. O método não supre o talento, apenas o ajuda.”

Villoro (1980), apud Bacaro (1990).

RESUMO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso teve como objetivo analisar a suscetibilidade a corridas de massa da Bacia do Ribeirão do Roque, com enfoque nas áreas situadas a montante do duto OSBRA (Oleoduto São Paulo- Brasília). Uma vez que, corridas de massa/detritos podem afetar sistemas de dutos, principalmente, condicionando erosão hídrica dos terrenos em travessias de drenagens, incluindo solapamento de margens de córregos. Primeiramente foi realizado um levantamento bibliográfico, a fim de que as principais características e condicionantes do processo de corridas pudessem ser identificados e compreendidos. A partir destas informações, foram selecionados os fatores físicos e antrópicos e seus respectivos pesos utilizados na determinação da suscetibilidade a corridas de massa, de acordo com sua influência na geração do processo. Os fatores físicos utilizados foram: tipo e espessura das rochas, solo e materiais inconsolidados; densidade textural; amplitude do relevo; declividade do relevo; forma de vale; e forma de encostas. Tais fatores estão contidos no mapa de compartimentação fisiográfica da área de estudo. Além disso, os atributos antrópicos correspondem as classes contidas no mapa de uso e ocupação do solo. Sendo assim, por meio da análise multicriterial em ambiente SIG, integraram-se os atributos físicos e antrópicos, gerando um mapa de suscetibilidade total a corridas de massa na escala 1:50.000. Os resultados mostraram que a maior parte da bacia apresentou média suscetibilidade a corridas, sendo que especificamente na região na qual o duto atravessa o Ribeirão do Roque, localizam-se áreas classificadas como alta suscetibilidade, sendo que neste ponto o rio apresenta um vale mais fechado e encontra-se na forma de meandro, sem a existência de planície aluvionar, capaz de amortecer as corridas. Consequentemente, caso uma corrida se inicie em alguma destas regiões mais suscetíveis, localizadas a montante do duto, as chances de que esta se desenvolva pelo Ribeirão do Roque e provoque a escavação do seu leito são bem grandes. Todavia, a travessia do duto nestas áreas mais críticas é feita em cavalete diretamente na rocha (diabásio), o que propicia uma proteção adicional contra possíveis danos ao duto.

Palavras-chave: Corridas de Massa. Análise Multicriterial. Suscetibilidade.

ABSTRACT

This scientific research aimed at to analyse the susceptibility to debris flow of the watershed of Ribeirão do Roque (SP), focusing on the upstream areas of OSBRA pipeline. This is because, mass flow can cause damage to pipes, mainly due to conditioning hydro erosion of the land in the drainage crossings, including the undermining the banks of streams. Firstly, It was conducted a literature review, aiming to identify and understand the principal characteristics and conditions of debris flow. Secondly, the physical and anthropic factors and their respective weights of influence were selected and used to determine the mass flow susceptibility. It was selected the following physical factors: type and thickness of rocks, soil and unconsolidated materials; textural density; amplitude relief; relief slope; shaped valley; and shape of slopes. Such factors are present in the physiographic subdivision map of the study area. In addition, the anthropic attributes correspond to the classes contained in the land use map. Therefore, the physical and anthropic factors were integrated through the multi-criteria analysis in a GIS environment, generating a total susceptibility map of debris flow on the scale 1:50,000. The results showed that a significative part of the study area was classified as average susceptibility. However, it was identified areas with high susceptibility in the region in which the pipe cross the Ribeirão do Roque. Moreover, at which point the river presents a closed valley and a meander shape, without a fluvial plain that would be useful to attenuate the development of the process. Consequently, if a mass flow begins in any of these most susceptible regions located upstream of the pipe, the chances that the process develops by the river and causes the excavations of his bed are quite large. However, the pipelines cross these critical areas directly on the rock (diabase), which provides additional protection against possible damage to the pipe.

Keywords: Debris Flow. Multi-criteria Analysis. Suscetibility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Classificação de movimentos de massa em encostas com base no conteúdo de água no tipo de material mobilizado..	8
Figura 2. Mobilização de detritos nas drenagens..	10
Figura 3. Principais etapas de deflagração e desenvolvimento de uma corrida de massa.....	13
Figura 4. Operação matemática realizada pelo SIG na análise multicriterial	15
Figura 5. Fluxograma das etapas desenvolvidas durante a pesquisa científica.....	20
Figura 6. Classificação dos elementos de encosta de uma paisagem de acordo com as formas e os processos operantes.	27
Figura 7. Localização da Bacia do Ribeirão do Roque.....	31
Figura 8. Teste 1: Suscetibilidade Natural a Corridas de Massa da Bacia do Ribeirão do Roque	38
Figura 9. Teste 2: Suscetibilidade Natural a Corridas de Massa da Bacia do Ribeirão do Roque.	40
Figura 10. Teste 3: Suscetibilidade Natural a Corridas de Massa da Bacia do Ribeirão do Roque.	43
Figura 11. Suscetibilidade Antrópica a Corridas de Massa da Bacia do Ribeirão do Roque.....	45
Figura 12. Cruzamento 1: Suscetibilidade Total a Corridas de Massa da Bacia do Ribeirão do Roque.....	47
Figura 13. Cruzamento 2: Suscetibilidade Total a Corridas de Massa da Bacia do Ribeirão do Roque.....	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Alguns acidentes importantes de movimentos de massa e corrida de detritos/ lama no Brasil.....	6
Quadro 2. Principais grupos de movimentos gravitacionais de massa típicos de encostas brasileiras.....	9
Quadro 3. Principais características das corridas de detritos.	11
Quadro 4. Síntese de fatores importantes na geração e raio de alcance das corridas de massa. ..	14
Quadro 5. Pesos de influencia atribuídos aos fatores de cada mapa.....	18
Quadro 6. Fatores e pesos utilizados na análise da vulnerabilidade do terrenos a corrida de detritos	19
Quadro 7. Criterios, fatores e classes utilizados na avaliação e classificação do terreno quanto à susceptibilidade aos processos de corridas de massa.	28
Quadro 8. Distribuição das classes de uso e ocupação do solo na bacia do Ribeirão do Roque.	34
Quadro 9. Unidades de compartimentação fisiográfica da bacia hidrográfica do Ribeirão do Roque.....	35

SUMÁRIO

1) INTRODUÇÃO E IMPORTÂNCIA DO TEMA	1
2) OBJETIVO	3
3) FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-CONCEITUAL	4
3.1) Caracterização geral do processo de corridas de massa	4
3.1.1) Ocorrências, consequências e importância das corridas de massa	4
3.1.2) Conceitos e principais características das corridas de massa	6
3.1.3) Condicionantes a processos de corridas de massa	11
3.2) Análise multicriterial	15
3.3) Suscetibilidade a corridas de massa	17
4) MÉTODO E ETAPAS DA PESQUISA	20
4.1) Levantamento bibliográfico	20
4.2) Organização e gerenciamento do banco de dados	21
4.3) Caracterização da área de estudo	22
4.4) Seleção dos fatores e pesos para a análise da suscetibilidade a corridas de massa	22
4.4.1) Tipo e espessura das rochas, solo e materiais inconsolidados	23
4.4.2) Declividade do relevo	24
4.4.3) Densidade textural	25
4.4.4) Amplitude do relevo	25
4.4.5) Forma do vale	25
4.4.6) Forma da encosta/ vertente	26
4.4.7) Classes de uso e ocupação do solo	27
4.5) Elaboração do mapa de suscetibilidade a corridas de massa	28
4.5.1) Realização de testes- suscetibilidade natural a corridas de massa	28
4.5.2) Suscetibilidade antrópica a corridas de massa	29
4.5.3) Suscetibilidade total a corridas de massa	30
5) RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1) Caracterização da área de estudo	31
5.2) Classes de suscetibilidade pela compartimentação fisiográfica	36
5.2.1) Teste 1: suscetibilidade natural a corridas de massa	36
5.2.2) Teste 2: suscetibilidade natural a corridas de massa	39
5.2.3) Teste 3: suscetibilidade natural a corridas de massa	41
5.3) Classes de suscetibilidade pelo uso e ocupação do solo	44
5.4) Mapa final de suscetibilidade a corridas de massa	46
5.4.1) Cruzamento 1: mapa de suscetibilidade total a corridas de massa	46
5.4.2) Cruzamento 2: mapa de suscetibilidade total a corridas de massa	48
7) CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	50
REFERÊNCIAS	53
ANEXOS	59
ANEXO A-Mapa de unidade de análise fisiográfica da bacia hidrográfica do Ribeirão do Roque	60
ANEXO B- Mapa de declividade da bacia do Ribeirão do Roque.	61
ANEXO C- Mapa de uso e ocupação do solo da bacia do Ribeirão do Roque	62

1) INTRODUÇÃO E IMPORTÂNCIA DO TEMA

No Brasil, principalmente nos últimos anos, tem sido crescente o registro de impactos sociais, econômicos e ambientais gerados pelos processos geológicos de dinâmica superficial. Áreas urbanas e empreendimentos em geral, especialmente dutovias, rodovias, ferrovias e linhas de transmissão também tem sido bastante afetados. Segundo dados do Instituto Geológico (2011) no Brasil, os principais fenômenos relacionados a desastres naturais são derivados da dinâmica externa da Terra, tais como, inundações e enchentes, escorregamentos de solos e/ou rochas e tempestades. Estes fenômenos ocorrem normalmente em decorrência de precipitações intensas e/ ou pelo rompimento de barragens, levando ao desenvolvimento de processos sequenciais complexos.

Conforme dados levantados pelo Banco de Dados Internacional de Desastres, sigla EM- DAT (2007 apud INPE, 2007), no Brasil ocorreram 150 registros de desastres no período 1900- 2006. Do total ocorrido, 84% foram computados a partir da década de 1970. Como consequência foram contabilizados 8.183 vítimas fatais e um prejuízo de aproximadamente 10 bilhões de dólares.

Diante disto, nas últimas três décadas no país, muitos autores desenvolveram trabalhos, buscando estabelecer metodologias para caracterização, definição e gerenciamento de áreas de riscos associadas aos movimentos de massa (escorregamentos, rolamentos e quedas de blocos, corridas), sendo que muitos se dedicaram, de forma mais específica, às áreas urbanas (CERRI, MACEDO & OGURA, 1989; OGURA & AUGUSTO FILHO, 1991; CERRI, 1993; ZUQUETTE et al., 1995; VIEIRA, FERNANDES & AUGUSTO FILHO, 2010; dentre outros).

Além disto, em consequência dos investimentos crescentes em obras de infraestrutura e a evolução das tecnologias de geoprocessamento, mais recentemente, surgiu uma demanda para o desenvolvimento de metodologias aplicadas à definição de áreas de riscos à movimentos de massa, principalmente, em obras lineares (FREITAS, 1990; AUGUSTO FILHO & CERRI, 2002; AUGUSTO FILHO et al., 2010). Dentre estas metodologias, destaca-se o uso da análise multicriterial ponderada que tem se mostrado eficiente em casos em que se faz necessário determinar a importância relativa de cada variável ou condicionante que contribuem para a ocorrência de um determinado processo (BONHAMCARTER, 1994).

No entanto vale destacar que entre os processos de movimento de massa, os escorregamentos concentram a maior parte dos trabalhos e das metodologias aplicadas em definir áreas de riscos, pois, são processos que apresentam uma ocorrência mais frequente,

periódica e abrangência localizada, quando comparados às corridas de massa, que são processos com menor frequência de ocorrência, porém são capazes de mobilizar grandes volumes de materiais, atingir maiores raios de alcance e consequentemente causar elevada destruição (GRAMANI et al. 2005).

Nesse contexto, destaca-se a importância de se conhecer melhor os mecanismos e condições de formação de corridas de massa, objetivando prever a formação de tal processo na tentativa de evitar que as ocorrências tornem-se mais devastadoras. Sendo assim, o presente projeto visa determinar áreas suscetíveis a corridas de massa, por meio da análise multicriterial. A área de estudo escolhida é a Bacia do Ribeirão do Roque (SP), com enfoque na porção situada a montante do duto OSBRA (Oleoduto São Paulo- Brasília).

Tal dutovia apresenta extensão de 5,5 km na referida área de estudo, mas em toda sua extensão que totaliza aproximadamente 980 km, o OSBRA abastece os terminais de armazenamento e distribuição de Ribeirão Preto (SP), Uberaba (MG), Uberlândia (MG), Senador Canedo (GO) e Brasília (DF). Ainda, a dutovia se desenvolve por três Estados e Distrito Federal, tendo sido inaugurada em 1996 com o objetivo de atender ao crescimento da região central do país e possibilitar a redução dos custos com o transporte de distribuição de combustíveis, aspectos estratégicos para o desenvolvimento econômico do Brasil (REIS et al., 2014a).

Além disso, os mapas temáticos de compartimentação fisiográfica e de uso e ocupação do solo da área de estudo, que serão integrados por meio da análise multicriterial, foram elaborados pela equipe técnica do projeto intitulado “Metodologia para avaliação de áreas sujeitas à ocorrência de ondas de cheia e corridas de massa/detritos: Estudo piloto no duto OSBRA no Estado de São Paulo” (Projeto P-02042), que tem como coordenador o Prof. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis, orientador dessa tese.

Ainda, a presente tese está associada à linha de pesquisa em ênfase em Ciências Ambientais do Programa de Formação de Recursos Humanos em Geologia do Petróleo e Ciências Ambientais Aplicadas ao Setor de Petróleo & Gás e de Biocombustíveis (PRH-05) da UNESP, campus Rio Claro, Programa da ANP/PETROBRAS.

2) OBJETIVO

A pesquisa teve como objetivo principal analisar a suscetibilidade a corridas de massa da Bacia do Ribeirão do Roque, com enfoque nas áreas situadas a montante do duto OSBRA (Oleoduto São Paulo- Brasília). Uma vez que, corridas de massa/detritos podem afetar sistemas de dutos, principalmente, condicionando erosão hídrica dos terrenos em travessias de drenagens, incluindo solapamento de margens de córregos e, desta forma, ameaçar a integridade dos empreendimentos em operação.

Para tal, elaborou-se um mapa de suscetibilidade a corridas de massa na escala 1:50.000 da Bacia do Ribeirão do Roque, considerando as unidades fisiográficas e de uso de ocupação do solo na área de estudo.

3) FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-CONCEITUAL

Esta etapa da pesquisa teve por objetivo apresentar os resultados do levantamento bibliográfico sobre os três principais temas: corridas de massa, análise multicriterial e suscetibilidade a corridas de massa. Com relação ao processo de corridas de massa, buscou-se apresentar a sua ocorrência, consequências causadas pela deflagração e sua importância na seção 3.1.1. Além disso, a seção 3.1.2 traz os principais conceitos e características das corridas e por fim a seção 3.1.3 traz os principais condicionantes que influenciam na geração do processo.

3.1) Caracterização geral do processo de corridas de massa

3.1.1) Ocorrências, consequências e importância das corridas de massa

As corridas de massa são um fenômeno natural e de ocorrência mundial, consequentemente interferindo diretamente no desenvolvimento social e econômico em muitas áreas. Segundo Takahashi (1994) existem registros da ocorrência frequente deste fenômeno em cerca de cinquenta países.

Cada vez mais, as pessoas tendem a ocupar áreas de risco, que se localizam ao longo de cursos d'água, nas porções terminais dos morros, ou até mesmo ao longo de toda a encosta. Esta ocupação desordenada leva a um agravamento da dinâmica natural dos processos nestas áreas gerando situações incontroláveis. Diante disso, países como Japão, China, EUA, Canadá, Itália, Alemanha, Áustria, Austrália, Nova Zelândia, Indonésia, Tanzânia, Escandinávia, Costa Rica, Índia, países Andinos, entre outros sofrem com a ocorrência praticamente anual de severas corridas de massa, resultando em perdas sociais e econômicas da ordem de milhões de dólares, num curto intervalo de tempo (GRAMANI 2001).

Mundialmente, registram-se diversas movimentações de massa com diferentes características (volumes, velocidades, vazões, distribuição granulométrica, outras) deflagradas por fatores externos e internos distintos. Como exemplo de um evento de grande magnitude pode-se citar uma corrida de detritos, lama e material vegetal que ocorreu em dezembro de 1999 nas serras do litoral da Venezuela. Desencadeada por uma chuva intensa, esse corrida deixou milhares de mortes e desabrigados. Ao todo, estima-se que 30.000 pessoas morreram, além de que o evento também resultou em enorme impacto econômico e ambiental para toda a região e o país, afetando atividades industriais e destruindo o Porto de La Guaira (REIS et al., 2012).

No Brasil, dentre os principais movimentos de massa desenvolvidos nas encostas, como as quedas, tombamentos, rastejos e abatimentos, os escorregamentos e as corridas de detritos são os processos que geram maiores danos sociais, econômicos e ambientais, com escala de alcance variável (MACEDO & AKIOSSI, 1996; ALHEIROS e AUGUSTO FILHO, 1997; MARTINEZ, 1999). O apresenta os casos de movimentos de massa de maior amplitude em território nacional e seus respectivos danos, entre os anos de 1928 e 2000. Destes 28 casos apresentados, 16 apresentaram desenvolvimento de corridas de lama ou detritos com geração de muita destruição. Os pontos em destaque (*) são aqueles com registros de corridas de lama ou detritos.

LOCAL	DATA	PERDAS SOCIOECONÔMICAS
Santos-SP(Mt. Serrat)	1928	60 mortes, destruição parcial da Santa Casa de Santos
Vale do Paraíba, RJ/MG*	Dez/1948	250 mortes, destruição de centenas de casas
Santos-SP(Mt. Serrat)	1956	43 mortes, destruição de 100 casas
Rio de Janeiro, RJ	Jan/1966	100 mortes
Serra das Araras, RJ *	Jan/1967	1200 mortes, destruição de dezenas de casas, rodovias avariadas, destruição de uma usina hidrelétrica
Caraguatatuba, SP*	Mar/1967	120 mortes, destruição de 400 casas
Salvador, BA	Abr/1971	104 mortes, milhares de desabrigados
Campos do Jordão, SP*	Ago/1972	Mais de 10 mortes e destruição de 60 moradias
Tubarão, SC *	1974	199 mortos, inundações da cidade, camada de areia e lama
Maranguape, CE*	Abr/1974	12 mortes, destruição de dezenas de casas
Lavrinhas, SP*	Dez/1986	11 mortes, destruição de casas e pontes
Cubatão, SP *	Jan/1988	10 mortes
Petrópolis, RJ *	Fev/1988	171 mortes, 1100 moradias interditadas e 5000 desabrigados
Rio de Janeiro, RJ	Fev/1988	Mais de 30 mortes, destruição de dezenas de moradias
Salvador, BA	Jun/1989	Cerca de 100 mortes, destruição de dezenas de moradias
São Paulo, SP	Out/1989	14 mortes
Recife, PE	Jul/1990	Cerca de 10 mortes
Blumenau, SC	Out/1990	Cerca de 10 mortes, destruição de moradias, pontes e vias
São Paulo, SP	Out/1990	Cerca de 10 mortes
Belo Horizonte, MG	Jan-Fev/1992	Mais de 10 mortes
Contagem MG (Vila Barraginha)*	Mar/1992	36 mortes, destruição de dezenas de moradias, centenas de desabrigados
Salvador, BA	Mar/1992	11 mortes
Timpe do Sul, SC*	Dez/1995	28 mortos, enorme perda da área agrícola e residências
Ubatuba, SP*	Dez/1996	Destruição de muitos pontos da Rodovia Taubaté- Ubatuba
Via Anchieta, km 42*	Dez/1999	Destruição de parte da pista, vários escorregamentos
Campos do Jordão, SP*	Jan/2000	Destruição de casas, rodovias e ponte
Lavrinhas, SP*	Jan/2000	Destruição de muitas casas
Fazenda Mato Quietto, SP*	Jan/2000	Grande erosão do leito do rio, alterações topográficas

Quadro 1. Alguns acidentes importantes de movimentos de massa e corrida de detritos/ lama no Brasil. Fonte: Modificada de Augusto Filho (1992).

Os casos se concentram nas regiões da Serra do Mar (ao longo da costa sudeste brasileira), Serra da Mantiqueira (próxima a Serra do Mar) e Serra Geral (na parte sul do país). Há ainda registros de casos de movimentos de massa na região de Cubatão. Portanto, a concentração de grandes núcleos urbanos, importantes setores industriais e rodovias na região costeira do Brasil aos pés destas serras, pode ser considerado como um fator agravante de risco, visto que estas áreas são mais suscetíveis aos processos de escorregamento e corridas de massa, caracterizando-se como áreas de formação, desenvolvimento e deposição natural dos materiais transportados (GRAMANI 2001).

Entre os eventos mais recentes descritos na literatura e diretamente relacionados à Serra do Mar tem-se a corrida de massa que ocorreu na bacia dos córregos Marcolino e Cágado, nas proximidades da Estação de Tratamento de Água – ETA Pilões, em 2013 (GRAMANI, 2013). E ainda a corrida de detritos (debris flow) no córrego Guarda Mão, bacia localizada no município de Itaoca, Vale do Ribeira (SP), ocasionada por chuvas intensas e concentradas que atingiram a região sul do Estado de São Paulo em janeiro de 2014 (GRAMANI et al., 2014). Estes estudos constataram que nestas regiões aspectos relacionados à geologia e ao relevo são extremamente favoráveis à geração e desenvolvimento desses tipos de movimentos de massa, com destaque para amplitude das bacias, declividade dos canais de drenagem, inclinação das encostas no entorno das linhas de drenagem e materiais presentes no leito e nos taludes marginais.

Diante disto, inúmeros estudos visam conhecer melhor os mecanismos e condições de formação de corridas de massa, bem como as prováveis áreas de abrangência de tal fenômeno, objetivando prever a formação de tais processos na tentativa de evitar que as ocorrências tornem-se mais devastadoras.

3.1.2) Conceitos e principais características das corridas de massa

Movimentos de massa são processos de dinâmica superficial responsáveis por modelar a superfície da Terra. Acordo com características específicas tais como dinâmica, geometria e material transportado, os movimentos de massa podem ser classificados em rastejos (creep), escorregamentos (slides), quedas (falls) e corridas (flows) (AUGUSTO FILHO, 1992). O apresenta os principais grupos de movimentos gravitacionais de massa típicos de encostas brasileiras e suas características. Além disso, A classificação de movimentos de massa em encostas com base no conteúdo de água e no tipo de material mobilizado é apresentada na .

Processos	Dinâmica	Material Envolvido	Geometria
Rastejos (<i>Creep</i>)	Vários planos de deslocamento (internos)	Solo, depósitos de talus, rocha alterada/fraturada	Geometria indefinida
	Velocidades muito baixas a baixas (cm/ano), decrescentes com a profundidade.		
	Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes.		
Escorregamentos (<i>Slides</i>)	Poucos planos de deslocamento (externos)	Materiais variáveis	Planares – solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza.
	Velocidades médias (m/h) a altas (m/s)		Circulares – solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas
	Pequenos a grandes volumes de material		Em cunha – solos e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas (<i>Falls</i>)	Sem planos de deslocamento	Material rochoso	Lascas
	Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado		
	Velocidades muito altas (vários m/s)		Placas
	Pequenos a médios volumes		
	Rolamento de matacão		Blocos
Corridas (<i>Flows</i>)	Muitas superfícies de deslocamento	Solo	-----
	Movimento semelhante ao de um líquido viscoso	Rocha	
	Desenvolvimento ao longo das drenagens		
	Velocidades médias a altas	Detritos	
	Grandes volumes de material		
	Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas	Água	

Quadro 2. Principais grupos de movimentos gravitacionais de massa típicos de encostas brasileiras.

Fonte: Adaptado de Augusto Filho (1992).

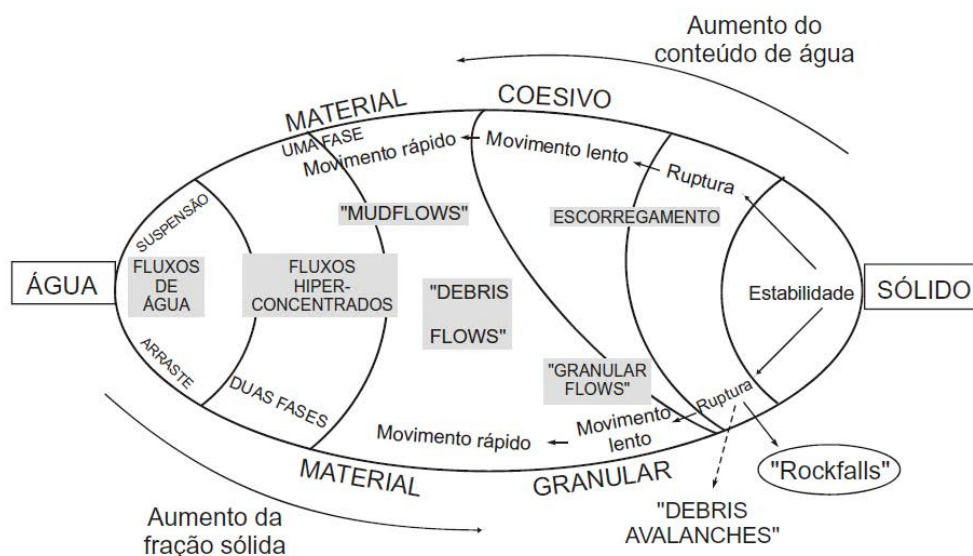


Figura 1. Classificação de movimentos de massa em encostas com base no conteúdo de água no tipo de material mobilizado. Fonte: Coussot e Meunier (1996).

Enfoque deste projeto de pesquisa, segundo Augusto Filho (1993), corridas de massa podem ser genericamente entendidas como o conjunto de movimentos gravitacionais de massa de grandes dimensões que se desenvolvem na forma de escoamento rápido ao longo dos talvegues, mobilizando materiais de diferentes tamanhos e conteúdos de água. E que por serem movimentos altamente complexos e ligados a eventos pluviométricos excepcionais são mais raros que os demais movimentos de massa, porém suas consequências possuem magnitudes muito superiores, devido a seu grande poder destrutivo e extenso raio de alcance, mesmo em áreas com baixa declividade (IPT, 2014). Além disso, fatores tais como sismos, mobilização de depósitos antigos por águas de degelo e ruptura de barragens naturais ou artificiais também podem desencadear a formação de corridas (REIS et al. 2012).

Ainda, levando em consideração fatores tais como textura e conteúdo de água do material transportado e a velocidade de deslocamento do processo, as corridas de massa podem ser classificadas em corridas de lama e terra (*mudflow* e *earthflow*) com textura fina predominante (argila, silte), médio a elevado conteúdo de água e velocidades baixas a médias e corrida de detritos (*debris flow*), com textura média a grosseira (areia, cascalho) e presença frequente de blocos rochosos, conteúdo elevado de água e velocidades médias à altas (INFANTI JUNIOR & FORNASARI FILHO, 1998).

Em seu estudo sobre a origem e importância da granulometria das corridas de massa, Gramani e Znamensky (2002) ressaltam o caráter dinâmico e mutante das corridas em função de transformações do sistema disperso (solo + água) que constitui o fenômeno. Esse estudo afirma que as variações na composição das corridas no decorrer da deflagração do processo

são devido a alterações de fatores internos e externos ao sistema, tais como variação de vazão ao longo do tempo de ocorrência da corrida e ao longo da extensão do curso de água, ou ainda mudanças qualitativas e quantitativas da fase sólida do sistema, devido a trocas e permutas com material da calha (leito e margens) ao longo do trajeto, com a deposição precoce de materiais mais pesados ou a incorporação de sólidos do leito e das margens dos afluentes e tributários. Sendo assim, devido a alterações e transformações que acontecem durante o desenvolvimento da corrida (no tempo e espaço) as características iniciais da corrida tais como concentração, composição e tipo de corrida podem diferir das características do estágio final.

Vale destacar que para o presente projeto, a importância de se conhecer a composição granulométrica das corridas está relacionada ao fato de que as partículas sólidas ao serem transportadas pela água, são submetidas a um atrito entre si e com o leito e as paredes da calha do canal. O resultado é uma ação erosiva do fluxo da corrida de massa que pode acarretar na incisão fluvial do canal, expondo um duto subterrâneo, por exemplo. Segundo Fraifeld e Freitas (2013) em janeiro de 2011, uma corrida de massa que ocorreu na bacia hidrográfica do Rio Vieira, na cidade de Teresópolis (RJ) entalhou a linha do talvegue em aproximadamente seis metros de profundidade.

Muitos estudos estimam a composição, o volume e o raio de alcance do material que pode ser mobilizado durante o processo de corridas de massa. Em seu estudo, Gramani et al. (2005) verificou que cerca de 10 a 25% do material mobilizado pelas corridas corresponde à material de fração grossa (diâmetro maior do que 500 mm), responsável pelos maiores impactos às estruturas, tais como dutos. Ou seja, do material sólido total, composto por lama e detritos de diversos tamanhos, a porção grossa responsável por maiores danos ao duto, corresponde de 10 a 25% do volume total de sólidos gerado em um evento de corrida de massa.

Além da classificação devido ao tipo de material transportado e a velocidade de deslocamento do processo, as corridas de massa também podem ser classificadas em função dos mecanismos de geração em corridas de origem primária e origem secundária. As corridas de origem primária têm início nas encostas e vertentes pela transformação de deslizamentos em uma massa viscosa, através dos fenômenos de “dilatância” ou “liquefação espontânea”. Já as corridas de origem secundária são formadas nas drenagens principais, a partir de remobilização de detritos acumulados no leito e/ou barramentos naturais, acrescido do material oriundo de escorregamentos nas encostas e torrentes de água geradas na bacia hidrográfica (AUGUSTO FILHO, 1993). A ilustra a formação das corridas secundárias.

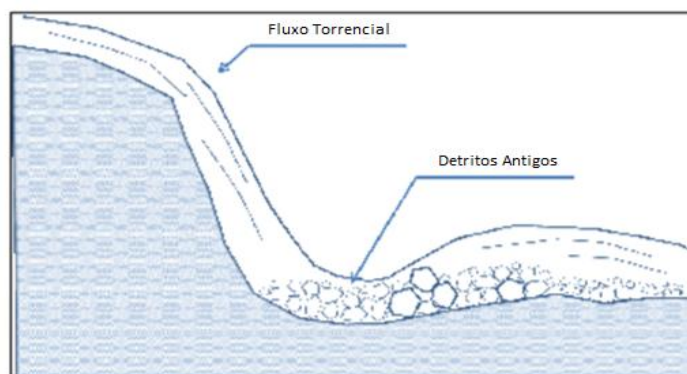


Figura 2. Mobilização de detritos nas drenagens. Fonte: Altrichter e Gramani (2014).

Sendo assim, os mecanismos desencadeadores deste grupo seriam os barramentos naturais e a acumulação de sedimentos nos canais. Segundo Gramani (2001) a princípio, podem ser identificadas quatro formas de geração de uma corrida de detritos em ambientes serranos:

- As partículas mobilizadas por meio de escorregamentos nas encostas atingem os canais de drenagem (primárias e secundárias, principalmente), na forma de um fluido viscoso; este material mais fino estando na calha fluvial se mistura com a água do escoamento superficial, ocorrendo na maior parte dos casos a mobilização do material da drenagem (porção grosseira);
- Os materiais mobilizados por escorregamentos nas encostas formam um barramento temporário nos canais de drenagem, obstruindo o fluxo de água. Consequentemente ocorre um represamento, seguido da formação de um lago a montante; sendo assim por aumento da pressão exercida pela água e devido aos materiais serem instáveis, o barramento é rompido, muitas vezes violentamente, gerando as corridas de massa;
- Chuvas muito intensas podem gerar vazões elevadas, consequentemente elevando a lâmina d'água que escoam pelos canais de drenagem até um nível crítico em que se inicia a mobilização do material do leito (aluviões), depósitos antigos (colúvios) e solos residuais das margens;
- Formação de lagos por atividade glacial (represamento por morenas glaciais), ocorrendo a ruptura do reservatório por aumento da intensidade pluviométrica, instabilidade dos materiais do barramento ou por quedas de grandes blocos no lago.

Finalmente, Gramani e Kanji (2001) realizaram um estudo detalhado na bibliografia nacional e internacional, a respeito das principais características das corridas de detritos. O resultado deste estudo é apresentado no **Quadro 3**.

Característica	Valores
Velocidade	Valores da ordem de 5-20m/s, e sendo comuns os entre 8-10 m/s.
Vazão	Varia de caso para caso, podendo atingir valores da ordem de 10 a 20 vezes do que as vazões de água.
Volume mobilizado	Podem atingir milhares a milhões de m ³ , sendo comum valores superiores a 100.000 m ³
Distância percorrida	Atingem grandes distâncias mesmo em baixas declividades
Concentração volumétrica dos sólidos	Valores podem variar de 25% a 85%, sendo comum 50 %.
Densidade e viscosidade	Extremamente variáveis. Valores da ordem de 20 KN/m ³ são comuns e viscosidade da ordem de 15 a 60.000 poises.
Flutuância (' <i>buoyancy</i> ')	Grandes blocos suspensos numa massa que se move em altas velocidades.
Erodibilidade	Grande capacidade de incorporar materiais durante sua trajetória tanto do fundo do leito como das margens dos canais.
Força de impacto	Pode alcançar até 1000 KN/m ²
Pulsos sucessivos	Podem ocorrer em ondas (com intervalos de recorrência de poucos minutos a algumas horas).

Quadro 3. Principais características das corridas de detritos.

Fonte: Gramani e Kanji (2001)

3.1.3) Condicionantes a processos de corridas de massa

Na literatura nacional e internacional é ampla a gama de abordagens existentes para o estudo de corridas de massa. Visando a produção de cenários para deflagração de novos processos, podemos destacar duas abordagens principais. A primeira delas consiste na retroanálise de eventos de corridas, a partir do qual é possível a obtenção dos parâmetros e variáveis necessários para alimentar modelos teóricos e empíricos, sendo necessária a existência de eventos de corridas bem documentados. Exemplos deste tipo de abordagem são encontrados em: Hürlimann, Copons e Altimir (2006) e Chen, Yue e Li (2007).

Já a segunda linha de abordagem consiste na atribuição e ponderação de pesos de importância relativa, é um método de análise semiquantitativo, baseado muitas vezes em parâmetros e atributos quantitativos, porém combinados em ponderações utilizando de pesos de importância relativa dos mesmos na deflagração e dinâmica do processo de corrida de massa (Reis et al., 2012). Esta foi a abordagem utilizada neste projeto, pois na área de estudo escolhida não se dispõe de eventos de corridas bem documentados para realização do método de retroanálise. As abordagens baseadas em atribuição e ponderação de pesos de importância relativa vêm sendo empregadas em trabalhos como os de Augusto Filho (1993); Kanji e Gramani (2001) e Dahal et al.(2008).

Em ordem de identificar os fatores condicionantes da geração de corridas de massa, Gramani et al. (2005) utiliza-se de um modelo fenomenológico genérico de geração de corridas, baseado na experiência técnica e científica, internacional e nacional, que considera dois componentes fisiográficos principais: encostas e drenagem. Os principais registros destes processos no território nacional mostram que as corridas de massa começam nas encostas, a partir de um escorregamento de grande porte ou vários escorregamentos. Este material é mobilizado para as linhas de drenagem, onde se mistura a um dado volume de água, gerando uma massa viscosa, que por sua vez, agrega mais material de depósitos antigos existentes ao longo das linhas de drenagem. O resultado é uma massa de volume expressivo, contendo água e material sólido de granulometria variada, incluindo blocos de grandes dimensões, além de material orgânico diverso. Essa massa apresenta elevado raio de alcance (muitas vezes alguns quilômetros) e potencial de grande poder destrutivo (REIS et al., 2012). A **Figura 3** ilustra as principais etapas da deflagração e desenvolvimento de uma corrida de massa.



Figura 3. Principais etapas de deflagração e desenvolvimento de uma corrida de massa.

Fonte: Gramani et al. (2005)

Baseado no modelo de geracao de corridas apresentado, os principais fatores que influenciam na ocorrência de corridas de massa podem ser agrupados em fatores geomorfológicos, geológicos, climatológicos e fatores advindos da atividade antrópica (KANJI E GRAMANI, 2001). O **Quadro 4** apresenta uma síntese com os principais atributos correspondentes a cada fator e sua importância na geração e/ou desenvolvimento do processo de corridas de massa.

Ainda, Machado (2011) destaca entre os fatores condicionantes dos movimentos de massa a importância da vegetação na estabilidade de taludes a medida que impede a ação direta das gotas da chuva no solo; retém por molhamento parte da água da chuva que chegaria ao solo e promove a agregação das partícula do solo, aumentando a coesão e retendo os solos superficiais por meio de uma malha superficial e subsuperficial de raízes.

	Atributos	Descrição	Significado	Correlação com corridas de massa
Geomorfológicos	Declividade das encostas	Representa o ângulo de inclinação da relação percentual entre o desnível vertical (H), com o comprimento horizontal da encosta (L). É expressa em porcentagem (%) ou em graus (°)	Potenciais fornecedoras de sedimentos para alimentar as corridas de massa.	Quanto maior for a porcentagem da área da bacia >30°, mais crítica a bacia é em relação à geração de corridas.
	Amplitude das encostas	A amplitude altimétrica é obtida pela diferença entre as altitudes máxima e mínima.	Influenciam na quantidade de energia potencial das encostas	Encostas com maiores amplitudes possuem maior quantidade de energia potencial, portanto são capazes de mobilizar materiais com maiores velocidades e por maiores distâncias.
	A inclinação média dos canais principais	Corresponde a tangente do ângulo de inclinação da superfície do terreno ao longo do canal, medido a partir do segmento em linha reta de comprimento do canal que se estende entre os pontos mais baixo e mais alto da bacia.	Influencia a perda de energia durante o processo	Canais de maior inclinação mobilizam materiais por maiores distâncias.
	Forma da bacia (circularidade)	Relaciona a área da bacia com a área de um círculo de mesmo perímetro.	A forma e o tamanho da bacia influenciam no tempo de concentração de águas superficiais	Bacias mais circulares e menores apresentam menor tempo de concentração, sendo mais críticas para a geração de corridas de massa
	Perfil de vales	De acordo com sua forma os vales podem ser classificados em abertos ou fechados	Influencia na erosão e transportes de materiais pelos canais	Vales fechados possuem maior capacidade de erosão e transporte de materiais e portanto são mais críticos para a geração do processo de corrida
	Densidade de drenagem	Correlaciona o comprimento total dos canais com a área da bacia hidrográfica	A densidade dos canais fornece uma indicação da eficiência da bacia em drenar as águas superficiais	Bacias que possuem alta densidade de drenagem são mais propensas a geração de corridas de massa
Climatológicos	Chuva, sismos, atividades vulcânicas ou avalanches de neves	Processos naturais, sendo que no Brasil destacam-se as precipitações pluviométricas intensas e de longa duração.	Agentes deflagradores do processo de corridas de massa	No Brasil, a ocorrência de movimentos de massa coincide com o período das chuvas, intensas e prolongadas, visto que as águas escoadas e infiltradas contribuem para desestabilizar as encostas.
Geológicos	Tipo de solo	A partir da rocha de origem e do processo de formação do solo, os solos podem ser classificados em residuais ou transportados.	Disponibilidade de material inconsolidado na bacia	Depósitos aluviais e coluviais, ou capas de grande espessura de solos residuais podem ser removidos e contribuir para a formação do processo de corrida.
Antrópicos	Atividades antrópicas	Degradação da vegetação, cortes e escavações e drenagens artificiais.	São fatores agravantes de processos de erosão e desenvolvimento de escorregamentos, e ainda para a saturação dos solos.	Contribuem para a alimentação dos materiais para as corridas

Quadro 4. Síntese de fatores importantes na geração e raio de alcance das corridas de massa.

Fonte: baseado em Christofolletti, (1969); Augusto Filho (1993); Gramani (2001); Kanji e Gramani (2001); Gramani et al.(2005); Souza (2005); Brubacher, Oliveira e Guasselli (2011); Machado (2011); Campoe (2012); Gramani et al. (2014); IPT (2014); Motta (2014); Reis et. al. (2014a).

3.2) Análise multicriterial

Atualmente, é ampla a gama de opções com relação a métodos que podem ser utilizados para auxiliar os processos decisórios no planejamento e implementação de traçados ambientalmente favoráveis, como por exemplo, na escolha do melhor traçado de uma dutovia. Entre estes métodos destaca-se a análise multicriterial.

Enfoque deste projeto, a análise multicriterial pode ser definida como uma ferramenta que permite ao pesquisador a integração e o cruzamento de dados espaciais com o objetivo de modelar determinado fenômeno (VENANCIO et al., 2013). Consistindo, portanto em uma ferramenta matemática, onde é possível comparar diferentes alternativas (cenários), baseando-se em vários critérios, com o objetivo de orientar os tomadores de decisão para uma escolha mais ponderada (CORSEUIL E CAMPOS, 2007). A **Figura 4** ilustra como é realizada a operação matemática utilizada pela análise multicriterial.

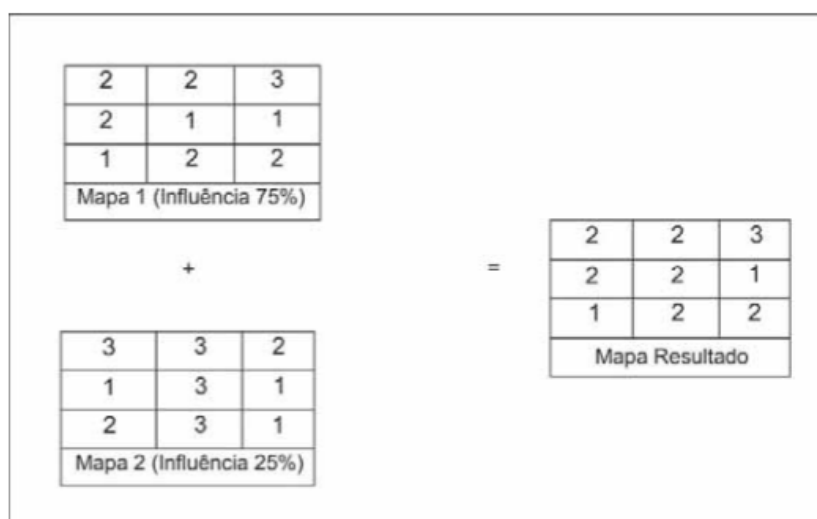


Figura 4. Operação matemática realizada pelo SIG na análise multicriterial
Fonte: Aliberti (2010).

Pode se notar pela figura, que os mapas com seus respectivos pesos atribuídos pelo pesquisador, são somados, resultando em um terceiro mapa (mapa resultado). Os mapas 1 e 2 da **Figura 4** tiveram seus pixels classificados em uma escala de valores de 1 a 3 e receberam seus pesos de influência na análise dados pelo pesquisador. Na operação matemática realizada pelo software, os valores dos pixels são multiplicados pela porcentagem de influência, e os resultados são somados para criação do mapa resultado. Considerado, por exemplo, as células do canto superior esquerdo, os valores para os pixels de saída são calculados da seguinte maneira: $(2 \times 0,75) = 1,5$ e $(3 \times 0,25) = 0,75$. Soma-se então, $1,5 + 0,75 = 2,25$. No entanto, os valores dos pixels devem ser inteiros, assim o valor final será arredondado para 2

(ALIBERTI, 2010). Cabe ressaltar que as imagens de entrada na análise multicritério precisam necessariamente estar em formato raster.

Ainda, Aliberti (2010) apurou em Araújo (2004) que os pesos atribuídos a cada mapa e a cada fator de influência dependem do julgamento da equipe que analisa o problema, sendo esta uma etapa fundamental, refletindo assim no resultado final do mapa síntese. Corseuil e Campos (2007) ressaltam ainda, que a integração entre os métodos de análise multicritério e os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) representam um avanço no método de sobreposição de mapas para determinação de uso e ocupação mais adequados do solo. Tal método pode ser entendido, portanto, como um processo que combina e transforma dados espaciais em uma resposta à tomada de decisão.

Uma vez que diversos elementos intervêm nos processos de corridas de massa, para a identificação de áreas suscetíveis, deve-se dispor de alternativas para combiná-los de forma coerente. Sendo assim justifica-se o uso da análise multicriterial no presente trabalho, como uma opção adequada para apoiar a tomada de decisão. Além disso, tendo em vista a distribuição espacial dos condicionantes dos processos de corridas de massa, faz-se necessária a estruturação da aplicação da análise multicriterial em um sistema de informações geográficas (SIG).

Atualmente, diversos estudos sobre planejamento ambiental, uso e ocupação do solo, riscos e suscetibilidades ambientais, entre outros vêm adotando o método de análise multicriterial para subsidiar suas hipóteses (MACHADO, 2011). Tem-se como exemplos trabalhos apresentados por Venancio et al. (2013) e Martini et. al (2006). Segundo descrito nestes trabalhos, este método consiste em primeiramente na escolha de atributos importantes na deflagração do processo estudado. Cada atributo ou fator possui uma característica ordenada segundo a propensão ao processo estudo. Por exemplo, para a determinação de áreas suscetíveis a erosão e movimentos de massa, Martini et. al (2006) utilizam como um dos fatores a drenagem interna do solo e as respectivas características indicadoras: solo bem drenado, imperfeitamente drenado e mal drenado. Em seguida, para a obtenção do grau de suscetibilidade de cada fator, atribui-se valores entre zero e um a cada uma das características indicadoras, representando, respectivamente, nenhum efeito até efeito máximo na manifestação de processos erosivos e/ou movimentos de massa.

3.3) Suscetibilidade a corridas de massa

No âmbito das geociências aplicadas, o significado da palavra suscetibilidade (*susceptibility*, em língua inglesa) pode ser exemplificado como a “possibilidade espacial de ocorrência de um determinado fenômeno numa dada área com base em fatores condicionantes do terreno, independentemente do seu período de recorrência’ (ZEZERE et al., 2004).

Sendo assim, uma área cujos terrenos apresentam características que tendem a favorecer, por exemplo, a ocorrência de corridas de massa, como o predomínio de declividade alta, pode ser considerada propensa a esse tipo de processo, independente de previsão acerca de quando poderá ocorrer um evento e tampouco do grau de certeza atribuível a essa possibilidade. A declividade se salienta, então, como um dos fatores predisponentes ao desenvolvimento do processo e, por essa razão, passível de inclusão entre os parâmetros necessários à análise de suscetibilidade. Evidencia-se, assim, o vínculo entre fatores predisponentes e propensão dos terrenos a processos, base para a compreensão e aplicação do conceito de suscetibilidade (MARTINI et. al 2006).

Contudo, vale destacar que muitas vezes têm-se empregado o termo risco para indicar o grau de suscetibilidade de uma certa área à ocorrência de fenômenos geológicos. A rigor, no entanto, para se obter o risco de ocorrência de dado fenômeno faz se necessário o conhecimento da sua distribuição de probabilidades, ou “possibilidade temporal”, nas palavras de Zezere et. al (2004).

Além disso, ao contrário dos processos erosivos, para avaliação da suscetibilidade a movimentos de massa, tais como corridas de massa não existe uma metodologia-modelo aplicável à variedade de situações possíveis. Existem, contudo orientações que podem ser seguidas: uma ordenação dada por Cerri e Amaral (1998), por exemplo, mostra que para cada processo geológico devem ser identificados os principais fatores condicionantes, as intervenções antrópicas desencadeadoras e as feições de campo indicativas.

Considerando os escorregamentos, por exemplo, as principais condições predisponentes são encostas com inclinação elevada, depósitos de tálus e coluviões, concentração do escoamento de águas superficiais e subsuperficiais e pluviometria média anual elevada, enquanto que as intervenções antrópicas desencadeadoras podem estar relacionadas à eliminação da cobertura vegetal, cortes desestabilizadores, lançamento de lixo e de água não controlados e à desestabilização de margens pela construção de reservatórios. Por sua vez, as feições indicativas podem ser trincas no terreno, degraus de abatimento e postes, árvores e muros inclinados ou tombados. Assim, para um dado local poderá ser obtida

uma ponderação dessas variáveis para elaboração de um esquema qualitativo ou quantitativo de classificação da suscetibilidade local a escorregamentos (MARTINI et al., 2006).

Gramani et al. (2005) na análise de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa define os setores de encosta com maior potencial para deflagração de estabilizações tendo como base o cruzamento de condicionantes naturais e antrópicos predisponentes. Em seu estudo os fatores utilizados foram declividade, curvatura da encosta, vegetação, características geológicas geotécnicas (grau de alteração da rocha, tipo e espessura do perfil do solo, depósitos sedimentares presentes na área de influencia do duto, depósitos marinhos, talus e solos coluvionares).

Em sua comparação entre diferentes critérios para elaboração de mapas de suscetibilidade aos escorregamentos em Cubatão (SP), Ferreira et. al (2008) considera a declividade como o condicionante mais importante aos processos de escorregamento, seguido pela forma da vertente e geologia. Os pesos atribuídos a cada um destes fatores foram 70, 20 e 10 % respectivamente.

Machado (2011) em seu estudo visando a elaboração de um mapa de suscetibilidade a movimentos de massa no município de Várzea Paulista-SP criou diversos cenários, no qual foram atribuídos diferentes pesos aos diversos fatores utilizados. Os fatores referentes ao mapa de declividade e uso e ocupação do solo e seus respectivos pesos são apresentados no **Quadro 5**. O método de atribuição de pesos adotado pelo autor é o mesmo descrito por Santos (2007), que se baseou em Ross (1994) que sistematiza uma hierarquia nominal de fragilidades representadas por valores ou pesos, sendo: muito fraca (peso:1), fraca (peso: 2), médio (peso: 3), forte (peso: 4) e muito forte (peso: 5).

Mapa	Fatores	Pesos
Declividade	<5%	1
	5% - 12%	2
	12% - 20%	3
	20% - 30%	4
	>30%	5
Uso e ocupação do solo	Solo exposto	5
	Asfalto	3
	Pasto	3
	Água	1
	Área construída	3
	Área florestada	1

Quadro 5. Pesos de influencia atribuídos aos fatores de cada mapa. Fonte: Machado (2011).

Ainda, os fatores considerados por Gramani (2001), na análise da vulnerabilidade do terreno a corrida de detritos, seus pesos relativos (P) e as respectivas classes definidas neste

trabalho (C) estão expostos no **Quadro 6**. A nota parcial para cada atributo (NP) foi dividida em intervalos regulares, admitindo o valor 10 para o caso mais crítico e nota 0 para o caso menos crítico.

Fatores	C	P	Atributos	NP
Chuva (R) (mm/h)	R1	3	>80	10
	R2		60-80	6,6
	R3		30-60	3,3
	R4		<30	0
Inclinação da Encosta (S) (°)	S1	2,5	>45	10
	S2		45 -30	6,6
	S3		15-30	3,3
	S4		<15	0
Inclinação do Canal (D) (°)	D1	0,5	>25	10
	D2		15-25	6,6
	D3		10-15	3,3
	D4		<10	0
Área da Bacia (A) (Km ²)	A1	1	<5	10
	A2		5-10	6,6
	A3		10-20	3,3
	A4		>20	0
Altura da Encosta (H) (m)	H1	1	>750	10
	H2		500-750	6,6
	H3		200-500	3,3
	H4		<200	0
Uso e Ocupação /Vegetação (V) (% de área ocupada ou desmatada)	V1	0,5	90-100	10
	V2		50-90	6,6
	V3		30-50	3,3
	V4		<30	0
Aspectos Geológicos (G)*	G1	1,5	G1	10
	G2		G2	6,6
	G3		G3	3,3
	G4		G4	0

G1= solos residuais, colúvios e alúvios espessos; depósitos glaciais e piroclásticos; muito material disponível para mobilização após eventos chuvosos (nas encostas e canais).

G2= condição intermediária entre G1 e G3.

G3= pacotes coluvionares de pequena expressão; aluviões pouco espessos; pequena espessura dos solos residuais.

G4= rochas sedimentares; solos com grande resistência ao cisalhamento e com baixo grau de erosão, forte cimentação entre grãos; ausência de pacotes coluvionares; muito pouco material disponível nos canais de drenagem.

Quadro 6. Fatores e pesos utilizados na análise da vulnerabilidade do terrenos a corrida de detritos Fonte: Gramani (2001)

4) MÉTODO E ETAPAS DA PESQUISA

O método adotado para a execução desta pesquisa científica foi estruturado com a finalidade de se atingir o objetivo principal que foi a análise da suscetibilidade a corridas de massa da Bacia do Ribeirão do Roque, com ênfase em áreas situadas a montante do duto OSBRA. Para tal, as etapas realizadas são apresentadas na **Figura 5** e detalhadas a seguir.

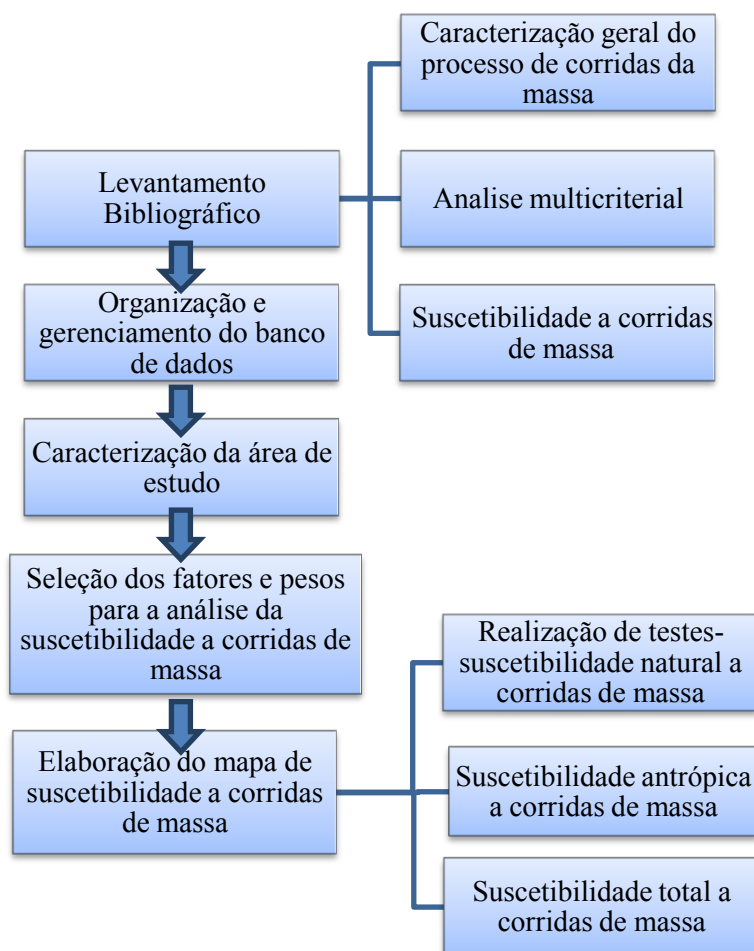


Figura 5. Fluxograma das etapas desenvolvidas durante a pesquisa científica

4.1) Levantamento bibliográfico

O levantamento bibliográfico consistiu na reunião de informações referentes aos três principais temas do projeto de pesquisa: corridas de massa, análise multicriterial e suscetibilidade a corridas de massa. Essas informações serviram de base para todas as demais etapas do trabalho de pesquisa e estão contidas nas seguintes sub-etapas:

- Caracterização geral do processo de corridas da massa;
- Análise multicriterial;

- Suscetibilidade a corridas de massa.

Este levantamento foi realizado na biblioteca da Universidade Estadual Paulista - Unesp, Campus de Rio Claro, por meio dos computadores que possuem acesso à rede de bibliotecas *on line*, permitindo assim a consulta ao acervo de diversas bibliotecas e também aos principais bancos de dados nacionais e internacionais disponíveis na internet, por meio do Portal de Periódicos da Capes.

Além disso, foi realizada uma pesquisa dirigida nas publicações de associações técnico-científicas ligadas à Geologia de Engenharia, com destaque para a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE). Também foram pesquisados congressos, simpósios e/ou conferências referentes aos temas. A identificação das bibliografias que tratam dos temas propostos foi realizada com base no título da publicação, nos bancos de dados bibliográficos, utilizando-se da busca por palavras-chave.

Palavras-chave que foram utilizadas na busca: corrida de massa (mass flow), corrida de detritos (debris flow), escorregamentos (slides ou landslides), suscetibilidade (susceptibility) e análise multicriterial (multi-criteria analysis). As palavras chaves referentes ao tema corrida de massa/detritos foram combinadas ainda com dutos, oleodutos e gasodutos para estabelecer um filtro de pesquisa. O tipo de pesquisa realizado foi pela Busca Booleana, com o intuito de abranger todas as áreas de interesse da pesquisa.

A Busca Booleana é um método eficiente e preciso que consiste em utilizar de forma adequada operadores lógicos (and, or, not e near). Um operador lógico permite combinar várias palavras-chave ou frases de maneiras específicas, de tal forma que a busca seja concentrada sobre o objetivo, não deixando escapar nada, e excluindo aqueles que não interessam (SABBATINI, 1995).

4.2) Organização e gerenciamento do banco de dados

Nesta etapa foi reunida toda a base cartográfica necessária à realização da análise multicriterial. Incluindo o mapa de compartimentação fisiográfica e o mapa de uso e ocupação do solo da área de estudo. Ambos os mapas referem-se a área que abrange a bacia hidrográfica do Ribeirão do Roque, que estão na escala 1:50.000 e foram preparados pela equipe técnica do projeto intitulado “Metodologia para avaliação de áreas sujeitas à ocorrência de ondas de cheia e corridas de massa/detritos: Estudo piloto no duto OSBRA no Estado de São Paulo” (Projeto P-02042), que tem como coordenador o Prof. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis, orientador deste projeto.

A compartimentação fisiográfica consiste em dividir uma determinada região em áreas que apresentem, internamente, características fisiográficas homogêneas e que sejam distintas das áreas adjacentes (VEDOVELLO & MATTOS, 1998). Os critérios adotados para a delimitação das unidades de análise fisiográfica na área de estudo foram traçados a partir de critérios extraídos de Zaine (2011). Ainda, apesar de a compartimentação consistir em uma importante ferramenta de planejamento territorial da bacia, esta não foi elaborada com foco especificamente no processo de corridas de massa. Sendo assim, um dos desafios da presente pesquisa consistiu em adaptar da melhor maneira possível um material já existente, visando a identificação da suscetibilidade do terreno ao processo estudado.

Ainda, o mapeamento do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão do Roque foi realizado a partir da classificação visual das imagens RESOURCESAT. Foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5 e órbita 330 (REIS et al., 2014b). As classes de uso estabelecidas no estudo consideraram as características e suas suscetibilidades à ocorrência do processo de corridas de massa e foram as seguintes: campo sujo; mata; água (drenagens e reservatórios); cultura perene; cultura sazonal; pastagem; área urbana e construções rurais; e solo exposto (incluindo terraplenagem e minerações).

Maior detalhamento a respeito dos procedimentos e critérios para a elaboração dos mapas temáticos de compartimentação fisiográfica e de uso e ocupação do solo podem ser encontrados em Reis et. al (2014b).

4.3) Caracterização da área de estudo

A partir de informações contidas nos mapas de compartimentação fisiográfica e de uso e ocupação do solo da Bacia do Ribeirão do Roque reunidos na etapa anterior e por meio de levantamento bibliográfico realizou-se a caracterização da área de estudo. Tal etapa buscou descrever aspectos tais como localização, clima, geomorfologia, geologia, declividade, uso e ocupação do solo bem como aspectos referentes a travessia do duto OSBRA na Bacia do Ribeirão do Roque.

4.4) Seleção dos fatores e pesos para a análise da suscetibilidade a corridas de massa

A partir de informações reunidas na revisão bibliográfica a respeito dos principais condicionantes dos processos de corridas de massa, realizou-se a escolha dos fatores físicos/naturais e antrópicos relevantes para a determinação de áreas mais suscetíveis ao processo de corridas de massa na bacia do Ribeirão do Roque. Enquanto os fatores físicos

referem-se a propriedades e características geológicas-geotécnicas (tipo e espessura das rochas, solo e materiais inconsolidados; amplitude local; declividade predominante do terreno; forma dos vales; formas de encostas e densidade de drenagem) presentes no mapa de compartimentação fisiográfica da área de estudo, os fatores antrópicos estão expressos através das classes de uso e ocupação do solo, já citadas anteriormente.

Além disso, a determinação dos pesos de cada fator e classes foi estabelecida de acordo com sua ordem de importância na geração do processo de corridas, após análise e comparação dos inúmeros casos descritos na literatura. Os parâmetros selecionados foram utilizados na classificação da suscetibilidade dos mapas de compartimentação fisiográfica e uso e ocupação do solo e, posteriormente, na classificação da suscetibilidade total ao processo de corridas de massa, descrito mais detalhadamente na próxima etapa. Os parâmetros, suas classes e seus respectivos pesos de influência são apresentados no .

Considera-se que a soma dos fatores do meio físico e antrópico contribuem igualmente para a geração do processo de corridas, sendo assim os fatores físicos somados possuem peso 0,5 bem como o mapa temático de uso e ocupação do solo de peso 0,5. A seguir tem-se uma breve explicação da importância de cada um dos fatores escolhidos:

4.4.1) Tipo e espessura das rochas, solo e materiais inconsolidados

Dentre os parâmetros físicos, considera-se que o tipo e espessura das rochas, solo e materiais inconsolidados constitui-se em um dos principais agentes determinantes da suscetibilidade dos terrenos ao processo, portanto no presente projeto tal fator possui peso 0,15. Este fator natural relaciona-se a disponibilidade de materiais para alimentar o processo de corridas. Sendo assim, foram considerados pouco suscetíveis às corridas de massa, terrenos que apresentam solos argilosos caracterizados pela alta coesão e afloramentos rochosos.

As áreas que apresentam solos areno-argilosos, assim como os solos de textura arenosa, areno-siltosa e ainda os terraços fluviais foram definidos como suscetibilidade média. Já os depósitos de materiais inconsolidados (tálus) e colúvios, bem como os solos aluvionares foram definidos como áreas de alta suscetibilidade à corridas de massa, devido à baixa coesão dos materiais constituintes.

Crítérios	Fatores	Pesos	Classes	Nota Parcial
Meio Físico	Tipo e espessura das rochas, solo e materiais inconsolidados	0,15	- Solo argiloso bastante coeso -Afloramento rochoso	1
			-Solo areno-argiloso -Solo arenoso e areno-siltoso - Terraços fluviais	2
			- Depósitos com mat. inconsolidados (tálus) e colúvio - Solos aluvionares	3
	Densidade textural	0,05	Baixa	1
			Média	2
			Alta	3
	Amplitude do relevo	0,05	Baixa (0 a 100m)	1
			Média (100 a 300 m)	2
			Alta (> 300 m)	3
	Declividade do relevo	0,15	Baixa (< 10°)	1
			Média (10 a 30°)	2
			Alta (>30°)	3
	Forma do vale	0,05	Vales abertos em planícies aluviais e baixos topográficos	1
			Vales abertos	2
			Vales fechados e encaixados	3
	Forma de encosta/vertente	0,05	Convexas (dispersoras) e superfícies planas	1
			Retilíneas	2
			Côncavas (concentradoras)	3
Meio Antrópico	Uso e ocupação do solo	0,5	Mata (fragmentos florestais) e Cultura perene (plantio de eucalipto, laranja, café, etc)	1
			Pastagens, cultura sazonal (plantio de cana de açúcar, milho, soja,etc) e área urbana consolidada com crescimento urbano ordenado e campo sujo	2
			Solo exposto e terraplanagem, áreas de minerações e lixões, área urbana periférica com crescimento desordenado e reservatórios.	3

Quadro 7. Critérios, fatores e classes utilizados na avaliação e classificação do terreno quanto à susceptibilidade ao processo de corridas de massa.

4.4.2) Declividade do relevo

Juntamente com o tipo e espessura das rochas, solo e materiais inconsolidados, a declividade do relevo constitui-se em um dos fatores naturais de maior importância para a geração das corridas, sendo considerado neste estudo com peso relativo de 0,15.

Considerando que a declividade influencia na geração de escorregamentos e uma vez que o processo de corridas inicia-se a partir de um ou mais escorregamentos, quanto maior a declividade do terreno, mais favorável a área será na geração do processo de corridas.

4.4.3) Densidade textural

A densidade textural, como um dos parâmetros utilizados na compartimentação fisiográfica do terreno, engloba tanto a densidade de drenagem quanto a densidade de relevo. No entanto, apenas a densidade de drenagem apresenta importância para o presente projeto, por indicar a eficiência da bacia em drenar as águas superficiais. Portanto, quando maior a densidade de drenagem mais crítica será a área para a geração das corridas, devido ao processo de escoamento superficial mais intenso. Atribui-se a este fator peso 0,05 para a geração de corridas.

4.4.4) Amplitude do relevo

Este fator indica a energia potencial existente no relevo, portanto influencia na velocidade do processo, favorecendo a ocorrência de escorregamentos e geração de corridas. Em complemento, a amplitude do relevo tem relação direta com o fator declividade que já está sendo considerado, portanto no presente projeto atribuiu-se a amplitude, peso relativo menor, ou seja de 0,05.

Vale destacar, ainda, que na compartimentação fisiográfica elaborada por Reis et. al (2014a) os fatores declividade, densidade textural e amplitude apresentaram as seguintes classes: baixa, média ou alta. No entanto, algumas unidades foram classificadas de acordo com estes fatores como baixa a média, ou média a alta. Nestes casos, optou-se no presente projeto pela escolha da classe que apresentava maior criticidade na geração do processo. Por exemplo, uma unidade que apresentou declividade classificada como baixa a média por Reis et. al (2014a), na presente tese foi definida como declividade média.

4.4.5) Forma do vale

A forma do vale influencia no processo de erosão fluvial e transportes de materiais pelos canais. Portanto, vales abertos com extensas planícies aluviais, situados em baixadas, são classificados como áreas de deposição de detritos (redução da velocidade de transporte) e possuem baixa susceptibilidade à ocorrência de corridas, especialmente as corridas primárias.

Já vales localizados no sopé de encostas ou formando planícies alveolares definem susceptibilidade moderada a tais processos de corridas, sendo diretamente afetadas em eventos hidrológicos excepcionais de grande intensidade. Finalmente, vales fechados possuem elevada susceptibilidade e sendo caracterizados pelo confinamento lateral da drenagem o que resulta no aumento da velocidade do material mobilizado nas corridas (Reis et al, 2014a). Na presente tese atribui-se peso relativo 0,05 para este fator.

4.4.6) Forma da encosta/ vertente

A ocorrência dos processos de corridas de massa está associada aos diferentes perfis e comprimento da encosta, fator indicativo do comportamento geotécnico dos terrenos (ZAINÉ, 2011) e ainda a área de contribuição a montante, responsável pelo fornecimento de material transportado.

De acordo com Throe (1965) as encostas podem ser classificadas de acordo com a concavidade longitudinal e convergência das curvas de nível. Segundo esta classificação, as encostas definidas como “coletoras de água” ou “concentradoras” caracterizam-se pela convergência das curvas de nível, acentuando-se naquelas com perfil longitudinal côncavo, que favorecem a lavagem pela água das chuvas. Antagonicamente, as encostas “distribuidoras de água” ou “dispersoras” são aquelas que apresentaram curvas de nível divergentes e perfil longitudinal convexo. A **Figura 6** exemplifica os critérios adotados, segundo a proposta por Throe (1965).

Nota-se que os perfis longitudinais côncavos e convexos podem estar associados tanto a encostas distribuidoras quanto concentradoras de água. Contudo, assim como apontado por Throe (1965) e após uma verificação na área de estudo, observou-se que a maior parte das vertentes côncavas está associada a áreas concentradoras de escoamento, enquanto vertentes convexas as áreas dispersoras. Ressalta-se, ainda, a existência de diferentes perfis de encosta em uma mesma unidade fisiográfica, assim para a classificação quanto a suscetibilidade a corridas considerou-se o perfil predominante em cada unidade

Uma vez que a morfologia das vertentes influencia no processo de escoamento superficial, áreas dispersoras de água foram definidas como baixa suscetibilidade a corridas. Já locais de domínio de escoamento concentrado, com formação de canais preferenciais e incisão do talvegue foram definidos como mais suscetíveis. Nesses locais o terreno pode absorver muita água em grandes eventos pluviométricos, resultando em perda da sua capacidade de sustentação devido à saturação do solo, sendo assim áreas críticas na geração

de processos de corrida de massa de origens primária e secundária de grande intensidade. Finalmente, encostas retilíneas as quais apresentam o equilíbrio entre as tendências dispersivas (convexas) e concentradoras (côncavas) foram definidas como suscetibilidade média. Além disso, atribui-se a este parâmetro peso 0,05 em relação aos demais parâmetros escolhidos.

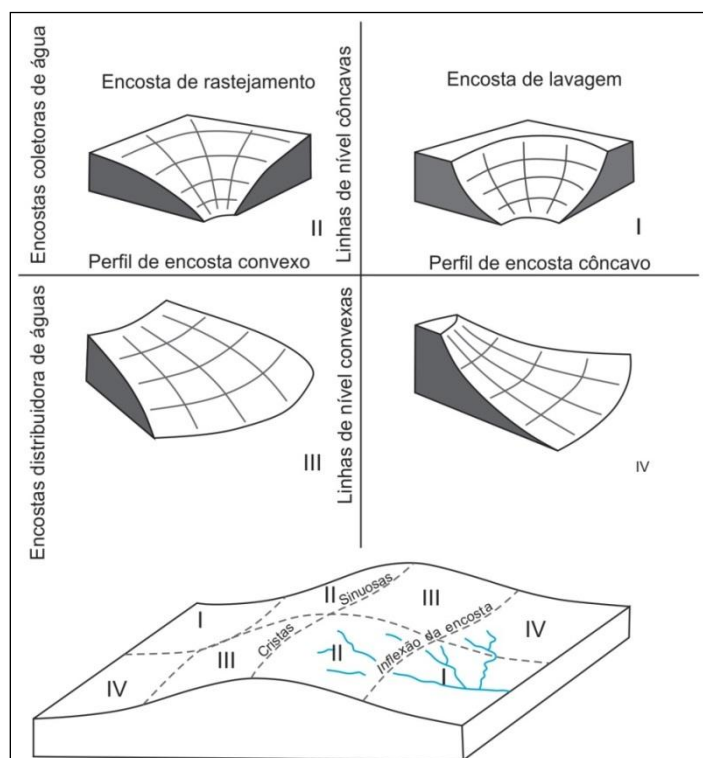


Figura 6. Classificação dos elementos de encosta de uma paisagem de acordo com as formas e os processos operantes. Fonte: Troeh (1965)

4.4.7) Classes de uso e ocupação do solo

De grande importância para a geração das corridas de massa, atribui-se aos fatores antrópicos peso 0,5 em relação aos demais fatores considerados. A definição das classes de uso foram estabelecidas baseada em Reis et al. (2014b) que considerou as características do terreno e sua suscetibilidade aos processos de ondas de cheia e corridas de massa.

Os terrenos com baixa suscetibilidade são aqueles onde os fragmentos vegetais e as Áreas de Preservação Permanente (APPs) se mantêm conservados, as técnicas de manejo e conservação do solo são seguidas, e onde a ocupação urbana encontra-se no estágio inicial, ocorrendo de maneira ordenada. Estas áreas incluem as classes de mata (fragmentos florestais) e cultura perene (plantio de eucalipto, laranja, café, etc).

As áreas classificadas como suscetibilidade média são aquelas nas quais a ocupação urbana ocorreu de maneira ordenada e priorizando a manutenção das áreas verdes (APP, parques, fragmentos florestais, etc.), favorecendo assim, a infiltração da água da chuva no meio urbano. Além disso, áreas com pastagens e cultura sazonal (plantio de cana de açúcar, milho, soja, etc) ou campo sujo também foram classificadas como média suscetibilidade.

As condições classificadas como de alta suscetibilidade foram relacionadas às áreas urbanas com intervenções artificiais, nas quais não foram atendidos os requisitos legais e técnicos de parcelamento do solo, pela implantação do sistema viário, e, principalmente, pela falta de infraestrutura adequada. Destaca-se o processo de urbanização desordenado em áreas de risco, caracterizadas pelo desmatamento em encostas íngremes com alteração da dinâmica das águas superficiais e em terrenos geotecnicaamente instáveis. Sendo assim tal classificação englobou as seguintes classes: solo exposto, incluindo áreas com terraplanagem, áreas de minerações e lixões e áreas urbanas periféricas com crescimento desordenado, e ainda reservatórios.

4.5) Elaboração do mapa de suscetibilidade a corridas de massa

4.5.1) Realização de testes- suscetibilidade natural a corridas de massa

Após a escolha dos atributos físicos (contidos na compartimentação fisiográfica) e antrópicos (classes de uso e ocupação do solo) e suas respectivas classes e pesos de influência para a geração do processo de corridas, num primeiro momento, analisou-se os grupos de atributos de origem física e antrópica separadamente para que depois estes fossem combinados por meio na análise multicriterial e gerassem o mapa de suscetibilidade total a corridas de massa.

Primeiramente, foram realizados testes, no quais apenas os parâmetros físicos foram integrados de diferentes maneiras, afim de que os resultados pudessem ser comparados e de forma a representarem de maneira mais próxima da realidade os diferentes graus de suscetibilidade das áreas contidas na bacia do Ribeirão do Roque. Sendo assim, integraram-se apenas os fatores físicos: tipo e espessura das rochas, solo e materiais inconsolidados, densidade textural, amplitude do relevo, declividade, forma do vale e forma de encosta/vertente. Tais fatores foram integrados de três diferentes maneiras.

A primeira integração consistiu na análise multicriterial pela Combinação Linear Ponderada (CLP), ou seja, para a obtenção da nota final (suscetibilidade natural) a nota parcial de cada classe foi multiplicada pelo peso de seu respectivo fator e somaram-se todos

os fatores. Para tal análise, utilizou-se a ferramenta *Weighted Overlay* na plataforma Arc GIS, presente em *Spatial Analyst Tools > Overlay*.

O segundo teste realizado consistiu na simples multiplicação das notas parciais de cada classe, desconsiderando o peso dos fatores. Para a realização deste teste utilizou-se a ferramenta *Raster Calculator* também presente no Arc GIS, e que pode ser encontrada em *Spatial Analyst Tools > Map Algebra*.

No terceiro teste, as notas parciais de cada classe foram elevadas ao peso do fator correspondente e multiplicaram-se todos os valores para a obtenção da suscetibilidade natural. Novamente utilizou-se a ferramenta *Raster Calculator*.

Sendo assim gerou-se três diferentes mapas de suscetibilidade natural ao processo de corridas de massa, todos na escala 1:50.000. Para cada mapa, os valores obtidos foram separados em três diferentes intervalos, representando três graus de suscetibilidade (baixa, média ou alta), a partir do método conhecido como quebras naturais, do inglês *natural breaks*, disponível como ferramenta no Arc GIS.

Este método de agrupamento consiste basicamente em formar grupos de valores que são homogêneos internamente, assegurando ao mesmo tempo a heterogeneidade entre classes (GIRARD, 2008). Sendo assim, a separação dos dados em classes foi feita com base em grupos naturais presentes na própria distribuição de dados, pela identificação de pontos de quebra (vales) no histograma de distribuição de valores. Estatisticamente, o método consiste primeiramente no cálculo da soma dos Desvios Absolutos sobre a Mediana da Classe (DAMC), que corresponde a um erro, portanto, visando estabelecer as quebras naturais da série de dados, deve-se buscar tornar o DAMC o menor possível, para que a divisão das classes seja a mais acurada possível.

4.5.2) *Suscetibilidade antrópica a corridas de massa*

Uma vez definidas as classes de uso e ocupação e seus respectivos pesos () gerou-se também um mapa com a suscetibilidade a corridas de massa pelo uso e ocupação do solo na escala 1:50.000. Para geração do mapa de suscetibilidade antrópica foi necessário apenas a reclassificação das classes de uso e ocupação do solo para valores 1, 2 ou 3 (baixa, média, alta) através da ferramenta *Reclassify*, presente na plataforma Arc GIS localizada em *Spatial Analyst Tools*.

4.5.3) *Suscetibilidade total a corridas de massa*

Finalmente, usando como dados de entrada os mapas de suscetibilidade natural e de suscetibilidade antrópica da área de estudo, foi gerado o mapa de suscetibilidade total a corridas de massa na escala 1:50.000. Tais mapas foram integrados por meio da análise multicriterial, através da ferramenta *Weighted Overlay* na plataforma Arc GIS. Atribuiu-se 50% de peso de influência para cada mapa e ainda a definição do intervalo das classes correspondentes aos graus de suscetibilidade (baixa, média, alta) foi realizada por meio do método de quebras naturais.

5) RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, os resultados do presente projeto de pesquisa são apresentados, analisados e comparados com os resultados apresentados por Reis et al. (2014b). Tais resultados consistem na caracterização da área de estudo, três diferentes mapas de suscetibilidade natural a corridas de massa (resultantes de três testes com os parâmetros físicos do terreno), um mapa de suscetibilidade antrópica (a partir das classes de uso e ocupação do solo) e dois diferentes mapas de suscetibilidade total, denominados Cruzamento 1 e 2 respectivamente.

5.1) Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do Ribeirão do Roque faz parte da Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos 09- Mogi -Guaçu (UGRHI 09- Mogi-Guaçu). Esta sub-bacia do Mogi-Guaçu possui uma área total de aproximadamente 497,54 km² de extensão que compreende os municípios de Analândia, Leme, Santa Cruz da Conceição, Araras, Rio Claro, Corumbataí e Pirassununga no Estado de São Paulo. Além disso, o oleoduto OSBRA atravessa o Roque na sua porção nordeste, com uma extensão de 5,5 Km. A localização da área de estudo está exemplificada na **Figura 7**.

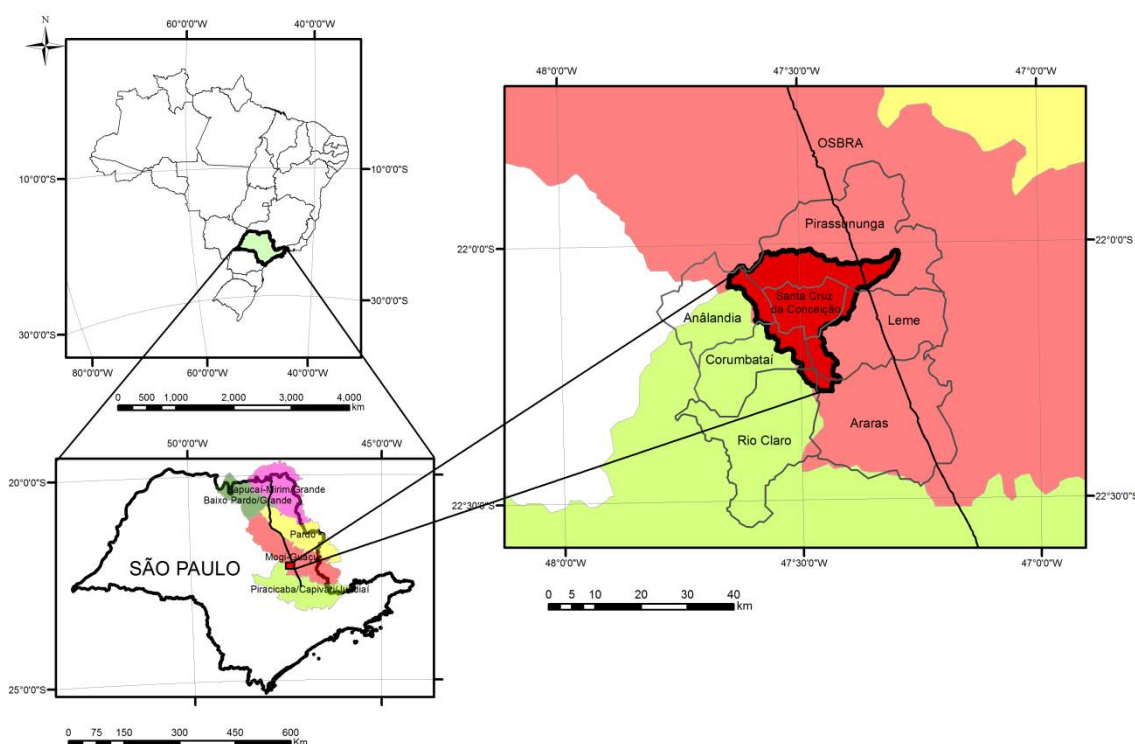


Figura 7. Localização da Bacia do Ribeirão do Roque

A bacia do Ribeirão do Roque engloba dois diferentes tipos climáticos: o Cwa e o Cwb. Enquanto o Cwa caracteriza um clima mesotérmico de inverno seco, com temperaturas variáveis entre 18°C e 22°C, com índice pluviométrico entre 1.100 mm e 1.700 mm, e ocorrência da estação seca entre abril e setembro. Sendo que nos meses chuvosos, as temperaturas variam de 22°C a 24°C. O Cwb caracteriza um clima mesotérmico com inverno seco, onde a temperatura média não ultrapassando 22 °C, e o índice pluviométrico se distribui entre 1.300 mm 1.700 mm. E a estação seca compreende os meses de maio a setembro (CREUPI, 2000).

Com relação a geomorfologia da área de estudo, a maior parte da bacia do Ribeirão do Roque localiza-se sobre a Depressão Periférica Paulista e apenas uma pequena parcela situa-se sobre as Cuestas Basálticas (IPT, 1981a). Ademais, na área de estudo nota-se a presença de sequências sedimentares paleozóicas e mesozóicas que compreendem as unidades geológicas pertencentes a Bacia Sedimentar do Paraná. Tais unidades são: a Formação Tatuí (Grupo Tubarão), as Formações Irati e Corumbataí (Grupo Passa Dois), as Formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral (Grupo São Bento). Observa-se ainda a presença de coberturas sedimentares Cenozoicas (Formação Itaqueri).

Em relação aos solos, observa-se na bacia do Ribeirão do Roque a presença de solos residuais compostos por arenitos, siltitos e argilitos das formações geológicas citadas anteriormente, com diferentes espessuras e características. E ainda observa-se a presença de diques de diabásio, sílex e conglomerados e ainda solos transportados tais como aluviões, terraços fluviais, coluviões e depósitos de tálus (blocos de basalto e arenitos).

Além disso, a partir da compartimentação fisiográfica da área de estudo na escala 1:50.000 realizada por Reis et. al (2014a) com base em critérios extraídos de Zaine (2011), foram distinguidas dez unidades fisiográficas. Tais unidades e suas características são apresentadas no

Quadro

9.

E

ainda

o

traz o mapa com as unidades fisiográficas elaborada pelos referidos autores.

Ressalta-se, ainda, que a travessia do duto OSBRA na bacia da-se em região de planície aluvionar do Ribeirão do Roque (Unidade I) com presença de um pequeno meandro abandonado, que está sobre uma soleira de diabásio (Unidade VI). Especificamente nas áreas nas quais o duto atravessa a bacia, correspondentes a unidade VI, existe certa estabilidade geotécnica, sendo que a presença de rachão de rocha contribui para o controle do processo erosivo nas margens e a travessia é feita em cavalete diretamente na rocha (diabásio), o que propicia uma proteção adicional a processos de dinâmica superficial (REIS et al., 2014a). Apesar da falta de informações a respeito da travessia do duto nas áreas correspondentes as unidades I e III, é provável que nestas áreas a travessia esteja sobre solos sedimentares.

Observando o mapa de declividade da bacia do Ribeirão do Roque elaborado por Reis et. al (2014a) e que está contido no , é possível perceber de maneira geral que a maior parte da bacia apresenta declividade baixa ($< 10^\circ$) ou média (10° a 30°) e que as regiões de maiores declividades na bacia ($>45^\circ$) encontram-se associadas a Unidade Va, correspondente a Formação Serra Geral, representada geomorfologicamente pelo *front* cuestiforme. No entanto, declividades maiores que 30° que são críticas para a geração de corridas de massa, encontram-se relacionadas com as cabeceiras de drenagem localizadas na parte central e centro-oeste da área de estudo. Tais áreas correspondem a unidade fisiográfica VI, a qual também ocorre a Formação Serra Geral e por regiões que fazem parte das unidades VIII e IX. Estas duas últimas unidades, apesar de possuírem algumas regiões com alta declividade, foram definidas como declividade média, levando em consideração toda a sua extensão.

A partir do mapa de uso e ocupação do solo elaborado por Reis et al. (2014b) apresentado no **ANEXO C** e da distribuição das classes apresentado no **Quadro 8** é possível perceber em toda a extensão da área de estudo a presença de culturas sazonais (plantio de cana de açúcar, milho, soja, etc) as quais ocupam mais de 60 % da área total da bacia. A segunda maior classe de uso e ocupação são os fragmentos florestais que representam um pouco mais de 17 % da área total e que se concentram principalmente em regiões mais declivosas e ao longo dos cursos de água. Logo em seguida, tem-se as classes de uso e ocupação que compreendem a pastagem e a cultura perene ocupando quase 8 % da área total cada. E ainda, ocupando uma pequena porção de quase 4 % da área da bacia tem-se a classe campo sujo e por fim, ocupando menos do que 1 % da área total da bacia cada classe, tem-se os reservatórios e as drenagens; área urbana e construções rurais; solo exposto (terraplanagem e minerações). Vale destacar, que a bacia do Ribeirão do Roque é cortada de nordeste a

centro-leste pela rodovia Anhanguera (SP 330), de norte a nordeste pela rodovia SP 225S e ainda pela SP 193S na região sudeste e pela estrada municipal Adolpho Schwenger ao sul.

Classes de Uso	Ribeirão do Roque	
	Área (km ²)	Área (%)
Campo Sujo	17,19	3,46
Mata	84,89	17,06
Água (drenagens e reservatórios)	3,16	0,64
Cultura Perene	39,28	7,89
Cultura Sazonal	307,59	61,82
Pastagem	39,49	7,94
Área Urbana e Construções Rurais	4,30	0,86
Solo Exposto (terraplanagem e minerações)	1,64	0,33
Total	497,54	100

Quadro 8. Distribuição das classes de uso e ocupação do solo na bacia do Ribeirão do Roque.
Fonte: Reis et al., (2014b).

Unidade de análise	Subsuperfície (Geologia)	Denominação (Litologia/materiais e Relevo)	Unidades de Compartimentação Fisiográfica														
			Fotoanálise							Fotointerpretação (Propriedades e atributos geotécnicos interpretados)						Observações de campo	
			Drenagem e Relevo	Formas de Relevo				Estrutura	Feições Particulares	Permeabilidade	Espessura do Manto de Alteração	Resistência à erosão natural (dureza)	Potencialidade a movimentos gravitacionais	Composição e Estrutura	Afloramentos e Blocos Rochosos	Processos geológicos	Vegetação e Uso do solo
				Densidade Textural	Amplitude Local	Declividade	Formas de Vale e Topo	Formas de encostas									
I	Planície Aluvial	Areias, cascalhos e argilas em planícies fluviais	Baixa	Baixa	Baixa (plana)	Vales Abertos e superfícies planas	Superfícies planas	Não orientada		Alta	Média	Baixa	Baixa	Homogênea	Ausentes	Erosão fluvial e assoreamento	Mata ciliar
II	Terraços Fluviais	Materiais predominantemente arenosos em terraço fluvial	Baixa	Baixa	Baixa	Vales Abertos e superfícies planas	Superfícies planas	Não orientada	-	Alta	Alta	Baixa	Baixa	Homogênea	Ausentes	Erosão	Pasto e Cana
III	Coberturas cenozóicas	Colúvios e coberturas com solos lateríticos em relevos colinosos	Baixa	Baixa	Baixa	Vales Abertos e superfícies planas	Convexas	Não orientada	-	Alta	Alta a Média	Baixa	Baixa	Homogênea	Ausentes	Erosão	Pasto e Cana
IV	Arenitos da Fm. Itaqueri	Arenitos em topos de Cuestas	Baixa	Baixa a média	Baixa	Vales abertos e topos arredondados	Côncavas	Não orientada	Voçorocas	Média	Média	Baixa	Baixa a média	Homogênea	Ausentes	Erosão	Agricultura
Va	Arenitos da Fm. Botucatu e Basaltos da Fm. Serra Geral	Arenitos e Basaltos em relevos de escarpas	Média a alta	Alta	Alta	Vales fechados	Retilíneas	Não orientada	Escorregamento blocos	Baixa a média	Baixa	Alta a Média	Alta	Homogênea	Presentes	Rastejo, Escorregamento e queda de blocos	Vegetação Nativa
Vb	Depósito de Talus	Material inconsolidado proveniente de intemperismo e ação da gravidade no sopé de Cuestas	Média	Média	Baixa	Vales abertos e topos arredondados	Convexas	Não orientado	Ravinas	Média	Média a Baixa	Baixa	Alta a Média	Homogênea	Raros	Erosão	Pasto e Cana
VI	Diabásio – diques e soleiras correlatas a Fm. Serra Geral	Diabásio em relevo de morrotes alinhados e encostas íngremes Talus e colúvios associados	Média	Alta	Alta	Vales Abertos e topos angulosos a arredondados	Côncavas e retilíneas	Orientada (diques)	Cristas orientadas Escorregamento	Média	Baixa a alta	Alta	Alta a Média	Homogênea a Heterogênea	Presentes	Rastejo e Escorregamento e queda de blocos	Pasto
VII	Arenitos das Fm. Pirambóia e Botucatu	Arenitos e solos arenosos em relevo de encostas suaves	Baixa	Baixa	Baixa	Vales abertos e topos arredondados	Convexas	Não orientada	Ravinas e Voçorocas	Alta	Alta	Baixa	Baixa	Homogênea	Ausentes (raros)	Erosão	Pasto e Cana
VIII	Arenitos da Fm. Pirambóia	Arenitos e solos arenosos em relevo de meia encosta	Média	Média	Baixa a Média	Vales Fechados e topos arredondados	Côncavas e retilíneas	Não orientada	Ravinas	Alta a média	Média a Baixa	Média a Baixa	Baixa	Heterogênea	Ausentes	Erosão	Pasto e Cana
IX	Siltitos e argilitos da Fm. Corumbataí	Siltitos e argilitos em relevo de meia encosta	Média a alta	Baixa	Baixa a Média	Vales abertos e topos arredondados	Convexas e Côncavas	Não orientada	-	Baixa	Baixa	Média	Baixa	Heterogênea	Ausentes	Empastilhamento	Pasto e Cana
X	Folhelhos, calcários e sílex da Fm. Irati e siltitos e arenitos da Fm Tatui	Folhelhos, calcários e sílex da Fm Irati e siltitos e arenitos da Fm Tatui em relevo de meia encosta	Média a alta	Baixa	Baixa a Média	Vales abertos e topos arredondados	Convexas e Côncavas	Não orientada	-	Baixa	Baixa a média	Média	Baixa	Heterogênea	Ausentes	Empastilhamento	Pasto e Cana

Quadro 9. Unidades de compartimentação fisiográfica da bacia hidrográfica do Ribeirão do Roque.
Fonte: Reis et.al., (2014a)

5.2) Classes de suscetibilidade pela compartimentação fisiográfica

Como resultado da integração dos parâmetros físicos: tipo e espessura das rochas solo e materiais inconsolidados; densidade textural; amplitude do relevo; declividade; forma do vale e forma de encosta/vertente, foram gerados três diferentes mapas de suscetibilidade natural a corridas de massa na escala 1: 50.000 na bacia do Ribeirão do Roque. Assim como descrito no item 4.5.1, tais mapas expressam os resultados da combinação dos parâmetros físicos de três maneiras diferentes e são apresentados a seguir.

5.2.1) *Teste 1: suscetibilidade natural a corridas de massa*

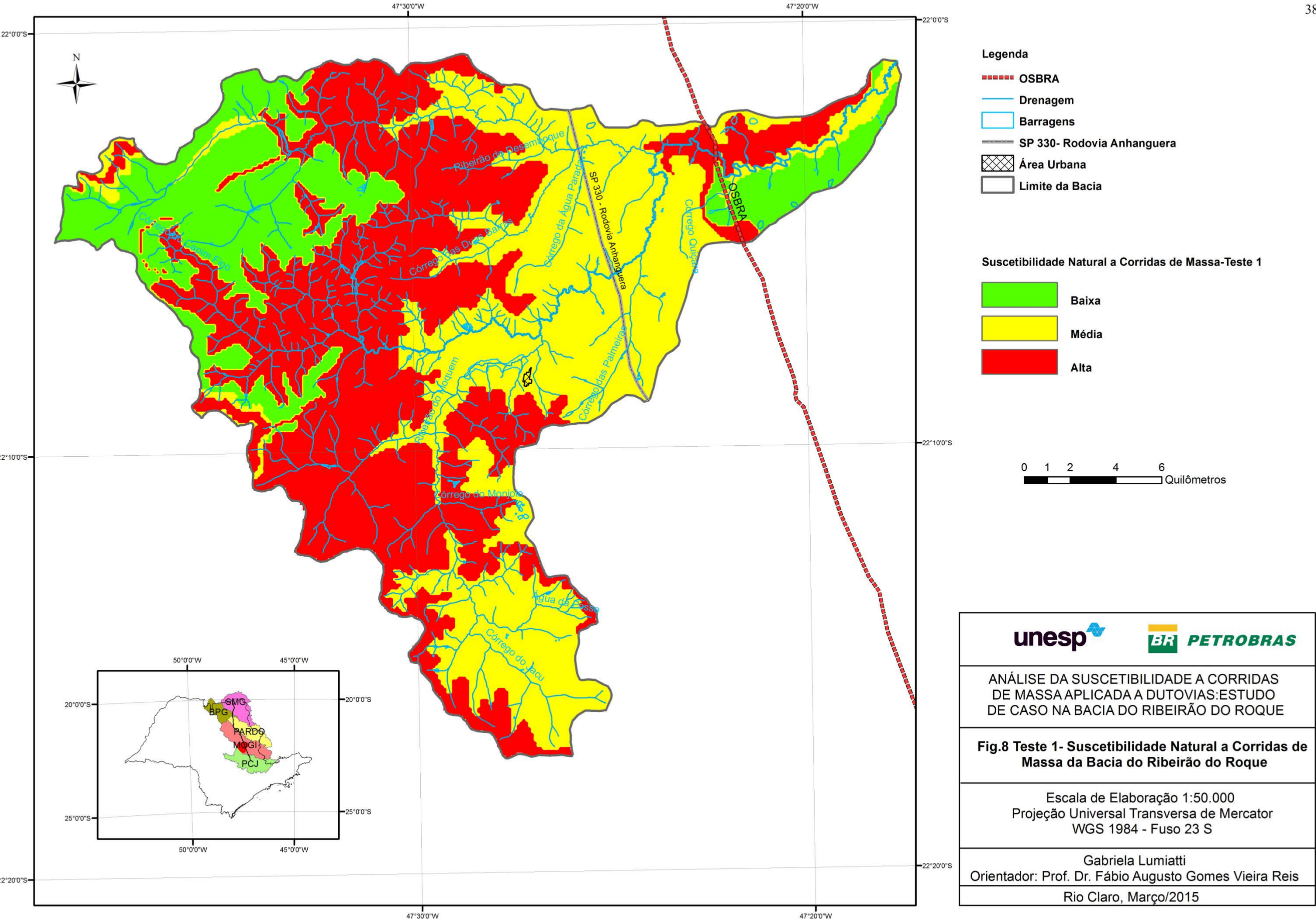
O primeiro teste resultou em um mapa de suscetibilidade natural a corridas de massa mostrado na **Figura 8**. A partir da observação deste mapa, pode-se notar que uma parte significativa da bacia apresentou alta suscetibilidade ao processo de corridas. Tais áreas se concentram na parte central, centro-oeste e na porção nordeste da área de estudo e correspondem as unidades fisiograficas Va, VI e VIII. Além disso, porções também bastante expressivas da bacia localizadas na parte centro-leste e sul apresentaram média suscetibilidade. Estas áreas de suscetibilidade mediana ao processo correspondem as unidades I, III, IV, Vb, IX, X.

Com menor expressividade tem-se as áreas de baixa suscetibilidade concentradas em dois trechos isolados na parte norte e nordeste, correspondentes as unidades fisiograficas VII e II, respectivamente. A comparação deste mapa com os resultados apresentados por Reis et al. (2014b) evidenciam um caráter mais conservador para a análise de suscetibilidade natural ao processo, obtido neste projeto de pesquisa, a partir do primeiro teste. Isto porque as unidades I, III, Vb, IX, X consideradas como baixa e a unidade VIII considerada como média suscetibilidade por Reis et al. (2014b) foram classificadas como média e alta, respectivamente, na presente pesquisa.

Esta diferença nos resultados pode ser explicada devido a algumas diferenças entre o método adotado por Reis et al. (2014b) e o método adotado na presente pesquisa. Primeiramente, tem-se o uso de diferentes atributos do meio físico para a geração do mapa de suscetibilidade natural, uma vez que neste projeto apenas os critérios geológico geotécnicos foram considerados, sem levar em conta processos geológicos tais como indícios de movimentos de encosta e de processos de dinâmica fluvial utilizados em Reis et al. (2014b). Em segundo lugar, têm-se diferenças no modo de combinação dos atributos físicos, uma vez que os referidos autores atribuíram o mesmo peso para todos os atributos do meio físico. E em

terceiro lugar, deve-se considerar que diferenças nos resultados podem ter sido originadas ainda pelo uso de diferentes intervalos de classes correspondentes aos graus de suscetibilidade natural.

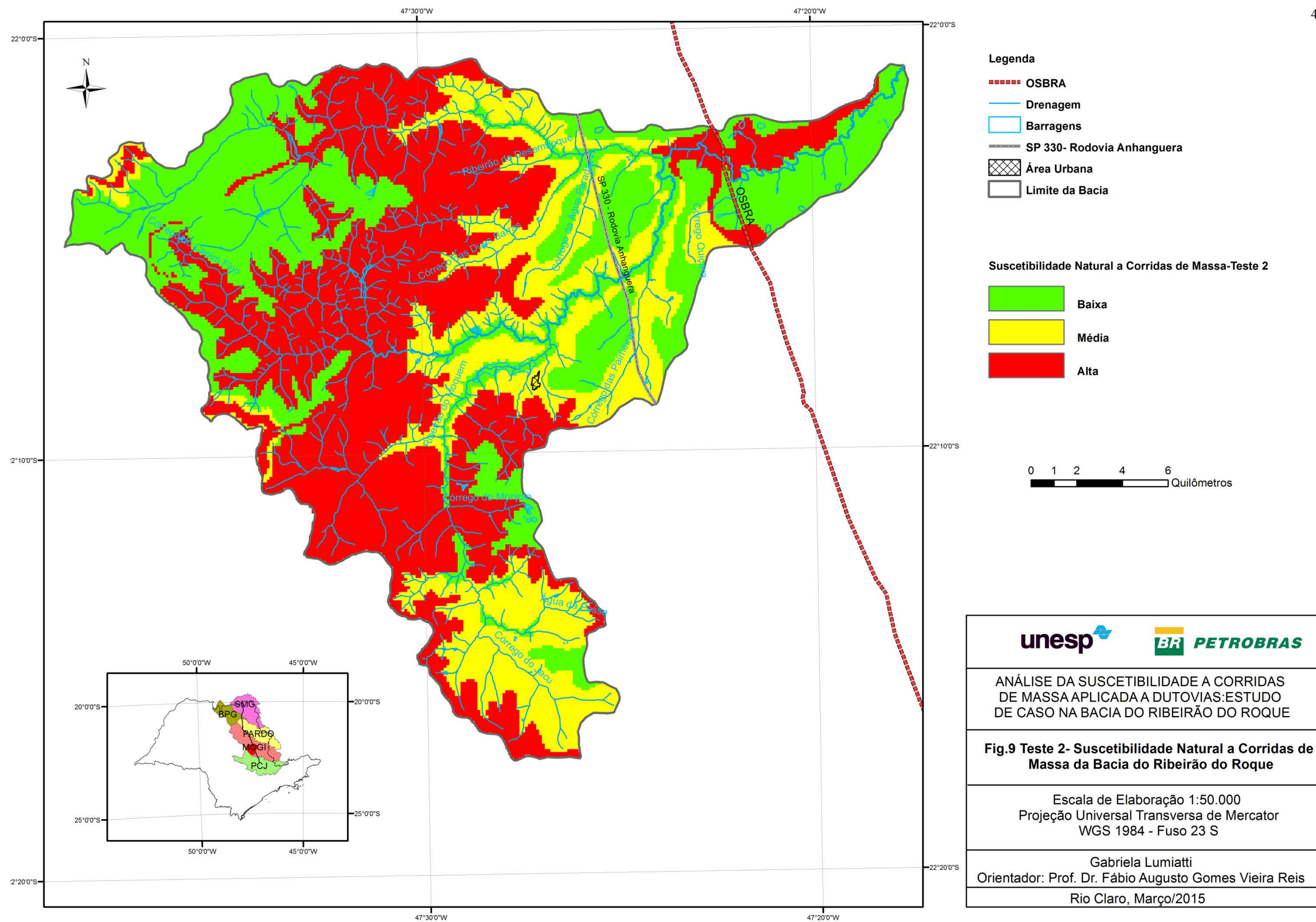
Pode-se observar ao longo da travessia do duto OSBRA na bacia do Ribeirão do Roque, a existência de duas áreas mais críticas correspondentes a unidade VI, nas quais as principais características geológico-geotécnicas do terreno, tais como presença de depósitos de talus e colúvios e declividade e amplitude altas, contribuem para que estas áreas sejam mais favoráveis a geração do processo de corridas de massa, que podem causar danos ao duto.



5.2.2) Teste 2: suscetibilidade natural a corridas de massa

O segundo teste realizado, no qual optou-se por uma simples multiplicação dos valores obtidos em cada classe, desconsiderando o peso de cada fator, resultou no mapa de suscetibilidade natural apresentado na **Figura 9**. É possível notar que apesar da existência de extensas áreas que apresentaram elevado grau de suscetibilidade ao processo (unidades Va, VI e VIII), bem como obtido no teste anterior, as áreas correspondentes as unidades I e III deixaram de ser classificadas como suscetibilidade média e passaram a ser classificadas como baixa suscetibilidade a corridas de massa. Devido, principalmente, a quebra das classes pelo método de quebras naturais (*Natural Breaks*).

Com relação às áreas sob a travessia do duto OSBRA e as áreas próximas a montante, nota-se que o duto continua atravessando áreas mais críticas correspondentes a unidade VI, além da proximidade com a unidade X, correspondente a cabeceira de drenagem do córrego Quiçara que apresenta suscetibilidade média ao processo de corridas de massa.



5.2.3) Teste 3: suscetibilidade natural a corridas de massa

O terceiro e último teste realizado apenas com os parâmetros físicos foi aquele no qual o resultado obtido, apresentado na **Figura 10**, mais se assemelhou com o mapa de suscetibilidade natural apresentado por Reis et al. (2014b). Neste mapa, a maior parcela da bacia apresentou baixa suscetibilidade ao processo de corridas, correspondente as unidades fisiográficas I, II, III, IV, Vb, VII, IX e X. Já as áreas de suscetibilidade média foram aquelas localizadas na parte central e centro-oeste da bacia, correspondentes as unidades Va e VIII. Ainda, manchas de áreas classificadas como alta suscetibilidade englobam a unidade VI.

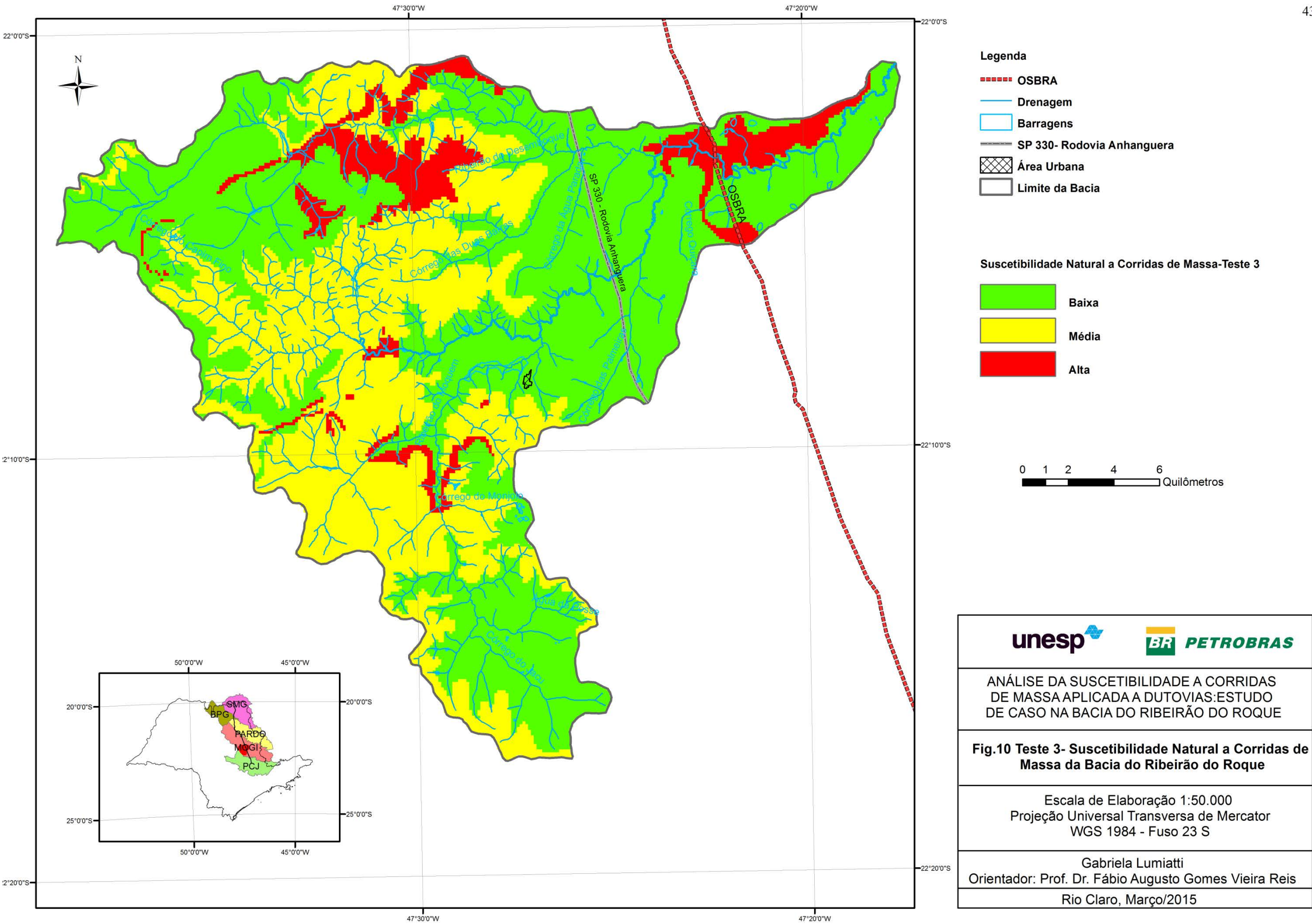
No entanto, uma vez que a unidade Va apresentou grande parte das suas características fisiográficas favorável a geração das corridas tais como densidade textural, amplitude e declividade altas, a classificação desta unidade como suscetibilidade alta ao invés de média seria mais adequada. Ademais, vale destacar que a unidade Vb, diferentemente dos resultados obtidos na presente pesquisa, foi definida com alta suscetibilidade a corridas por Reis et al. (2014b). Como possível explicação para esta divergência encontrada nos resultados tem-se o fato de que esta unidade situa-se no sopé das Cuestas (Unidade Va) e apresenta presença de depósitos de tálus, sendo assim apesar da Unidade Vb possuir algumas características fisiográficas pouco favoráveis a geração dos processos de corridas, esta poderia ainda sim potencializar uma corrida iniciada na Unidade Va.

Levando em consideração as áreas de travessia do duto e áreas próximas a montante, nota-se que assim como nos testes anteriores os terrenos mais suscetíveis para a deflagração do processo de corridas correspondem aqueles pertencentes a unidade VI. Apesar disso, as outras áreas próximas apresentam baixa suscetibilidade.

Finalmente, após a análise dos 3 mapas de suscetibilidade natural, optou-se por escolher os mapas resultantes dos testes 1 e 3 para que estes pudessem ser integrados com o mapa de suscetibilidade antrópico, afim de serem obtidos dois diferentes mapas de suscetibilidade total a corridas de massa. A escolha dos mapas 1 e 3 deu-se devido principalmente a consideração dos pesos dos atributos para a geração deste mapas. Isto porque, no segundo teste foram atribuídos aos parâmetros físicos pesos igualitários, porém, deve-se levar em conta que cada atributo apresenta uma contribuição específica para a geração do processo.

Faz se necessário ainda levar em consideração que o caráter homogêneo da unidade fisiográfica pode mascarar algumas características mais específicas de áreas presentes dentro de uma mesma unidade, influenciando assim no grau de suscetibilidade dos terrenos ao

processo de corridas de massa. Tem-se como exemplo, uma área localizada no centro-oeste da bacia, pertencente a unidade VIII, que apesar de apresentar alta densidade de drenagem e declividade, está inserida em uma unidade fisiográfica classificada como média declividade e densidade. Tal unidade é bastante representativa, visto que apresenta grande distribuição espacial na área de estudo. Assim sendo, a criação de duas subunidades de compartimentação a partir da unidade fisiográfica VIII poderia fornecer resultados mais satisfatórios para o presente projeto.

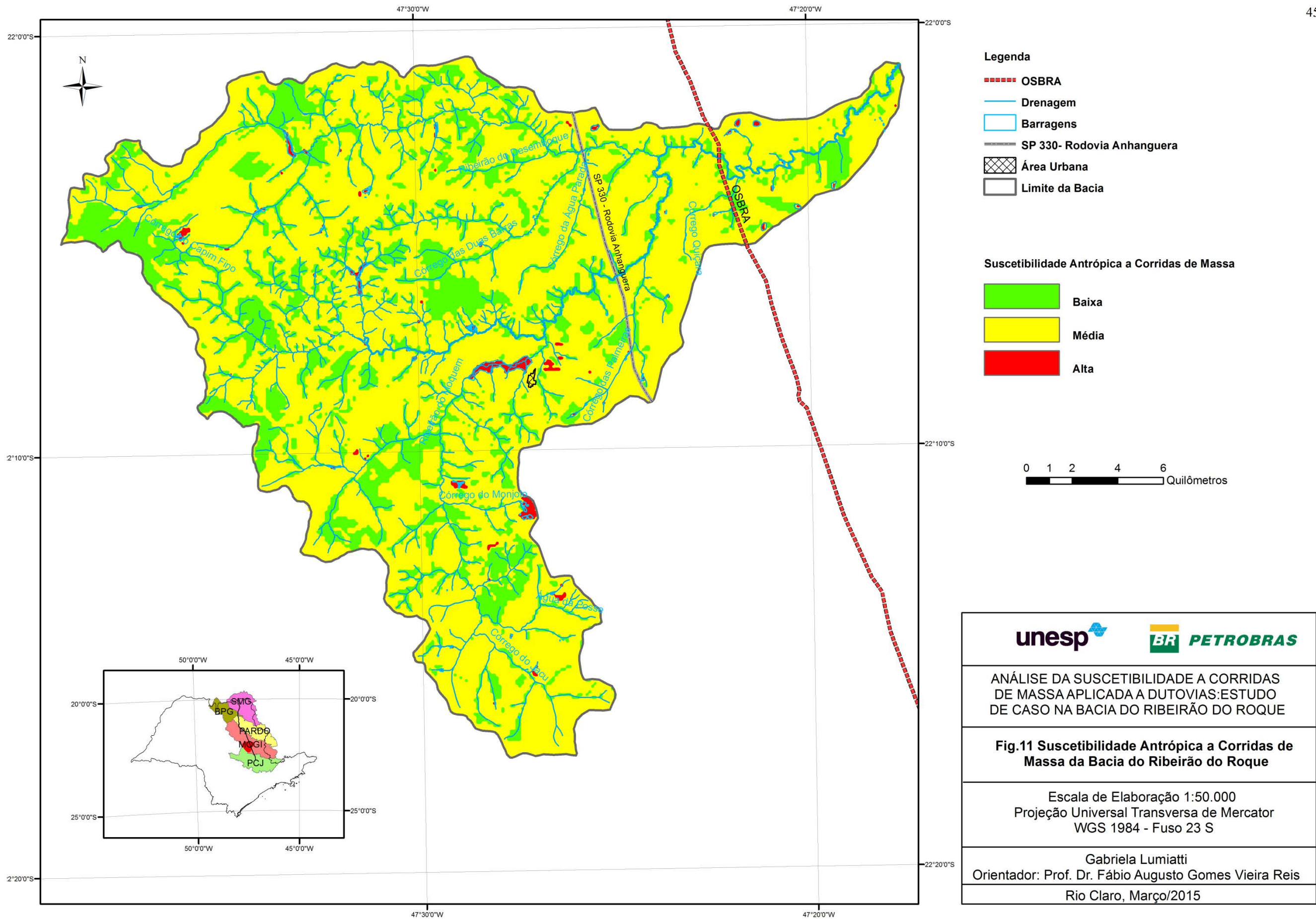


5.3) Classes de suscetibilidade pelo uso e ocupação do solo

As classes de uso e ocupação estabelecidas no estudo consideraram as características e suas suscetibilidades à ocorrência do processo de corridas de massa e foram as seguintes: campo sujo; mata; água (drenagens e reservatórios); cultura perene; cultura sazonal; pastagem; área urbana e construções rurais; e solo exposto (incluindo terraplanagem e minerações). O mapa com as classes de uso é exemplificado na **Figura 11**.

É possível observar que grande parcela da área de estudo apresentou suscetibilidade antrópica média ao processo de corrida, isto porque as classes: ocupação urbana ordenada, pastagens, cultura sazonal (plantio de cana de açúcar, milho, soja, etc) e campo sujo cobrem em torno de 74 % da bacia do Ribeirão do Roque. Além disso, tem-se ao longo de toda a bacia, manchas de baixa suscetibilidade, cobrindo em torno de 25% da área total, tais manchas correspondem às áreas de mata e cultura perene. E ainda, o 1 % restante da área da bacia corresponde às regiões com alta suscetibilidade ao processo de corridas. Essas áreas críticas estão distribuídas ao longo da bacia como fragmentos isolados e correspondem às classes de solo exposto (terraplanagem, áreas de minerações e lixões e área urbana periférica com crescimento desordenado) e água (drenagens e reservatórios).

Observa-se que grande parte da travessia do duto OSBRA é realizada sob área de média suscetibilidade com a existência de pontos de baixa suscetibilidade, considerando as classes de uso e ocupação. Sendo que existe apenas um pequeno reservatório relativamente próximo localizado no córrego Quiçara, que se vier a romper pode ocasionar uma corrida de massa com possibilidade de causar danos ao duto.



5.4) Mapa final de suscetibilidade a corridas de massa

5.4.1) *Cruzamento 1: mapa de suscetibilidade total a corridas de massa*

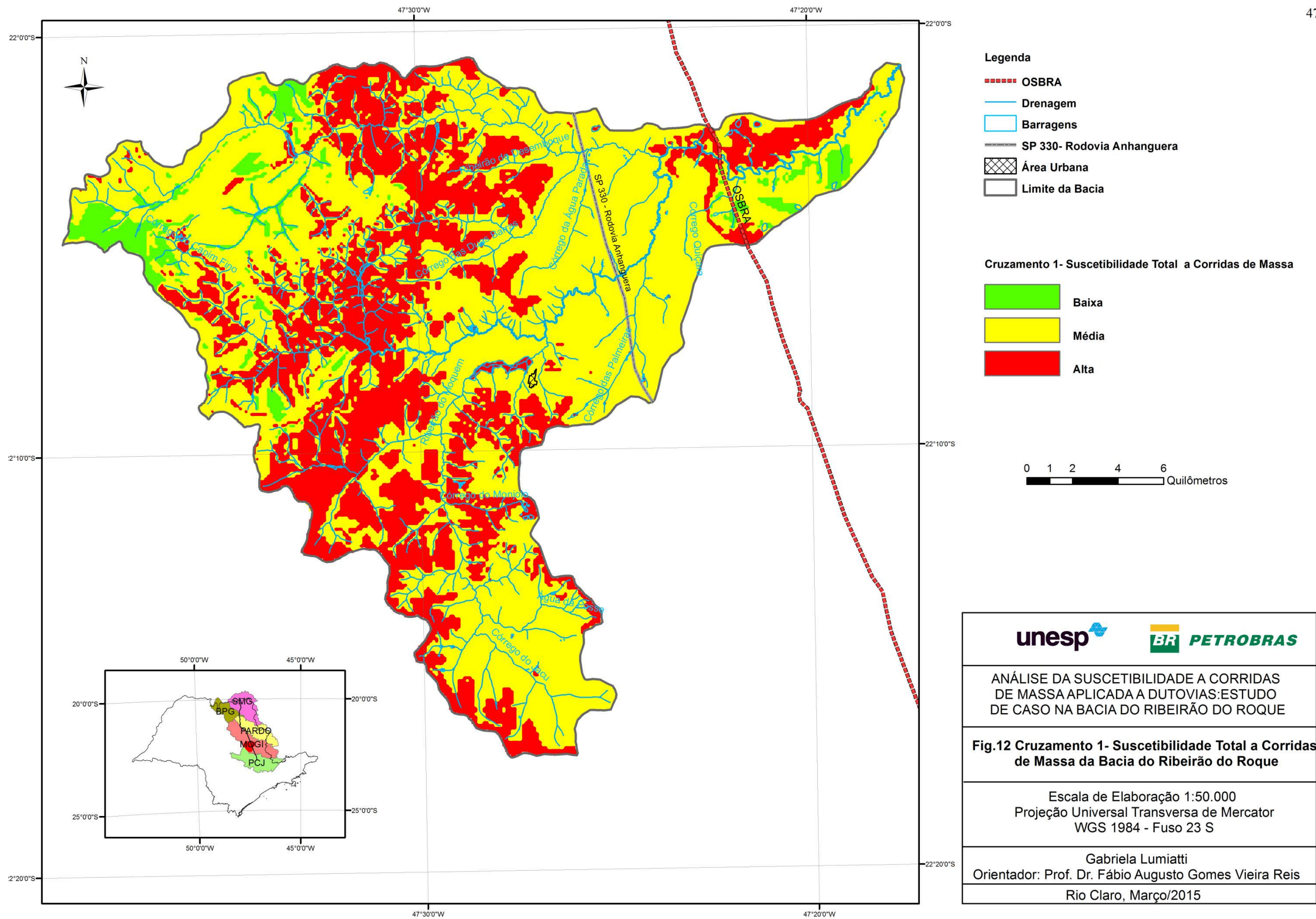
O primeiro mapa de suscetibilidade total a corridas de massa na escala 1:50.000 foi aquele resultante da integração do mapa de suscetibilidade natural (teste 1) e do mapa de uso e ocupação do solo por meio da análise multicriterial. Uma vez que no presente projeto de pesquisa considerou-se que os parâmetros físicos e antrópicos apresentam igual importância para a geração das corridas de massa, atribui-se 50% de peso para cada mapa. Assim, analisando o mapa de suscetibilidade total resultante, presente na **Figura 12**, pode-se observar que a maior parte da bacia do Ribeirão do Roque apresentou suscetibilidade média ao processo de corrida, sendo que se pode observar ainda manchas de áreas críticas (alta suscetibilidade) ao longo de toda parte central e centro-oeste da bacia e ainda no nordeste e sudoeste da área de estudo. Tem-se a presença de fragmentos de baixa suscetibilidade nas regiões norte e nordeste da bacia.

Levando em conta os dois mapas que foram combinados para geração deste primeiro mapa de suscetibilidade total, pode-se notar que as áreas críticas presentes na parte central e centro-oeste do mapa de suscetibilidade natural (teste 1) foram atenuadas pelas manchas de áreas apresentando baixa suscetibilidade presentes no mapa de suscetibilidade antrópica. Contudo, na parte norte da bacia, nota-se a diminuição das áreas de baixa suscetibilidade, isto porque nesta região apesar dos parâmetros físicos contribuírem para uma suscetibilidade baixa, desta vez os antrópicos contribuíram para tornar a situação mais crítica.

Com relação ao duto OSBRA, nota-se que este atravessa o Ribeirão do Roque em região que apresenta alta suscetibilidade, com a presença ainda de áreas críticas localizadas a montante do duto. Além disso, nesta porção montante, o vale do rio é mais encaixado, sem a presença de planície aluvionar, capaz de amortecer as corridas e existe um pequeno meandro.

Logo, caso uma ou mais corridas se iniciem em alguma destas regiões mais suscetíveis localizadas a montante do duto, as chances de que o processo se desenvolva pelo Ribeirão do Roque e provoque a escavação do seu leito são bem grandes. Todavia, a travessia do duto nestas áreas mais suscetíveis é feita em cavalete diretamente na rocha (diabásio), o que propicia uma proteção adicional contra possíveis danos ao duto.

Vale destacar ainda que o duto também atravessa terrenos de alta suscetibilidade mais ao sul em áreas próximas ao Córrego Quiçara. No entanto, estes terrenos apesar de mais suscetíveis para a geração das corridas não estão associados a drenagens com características favoráveis para a deflagração do processo, diferentemente do caso anterior.

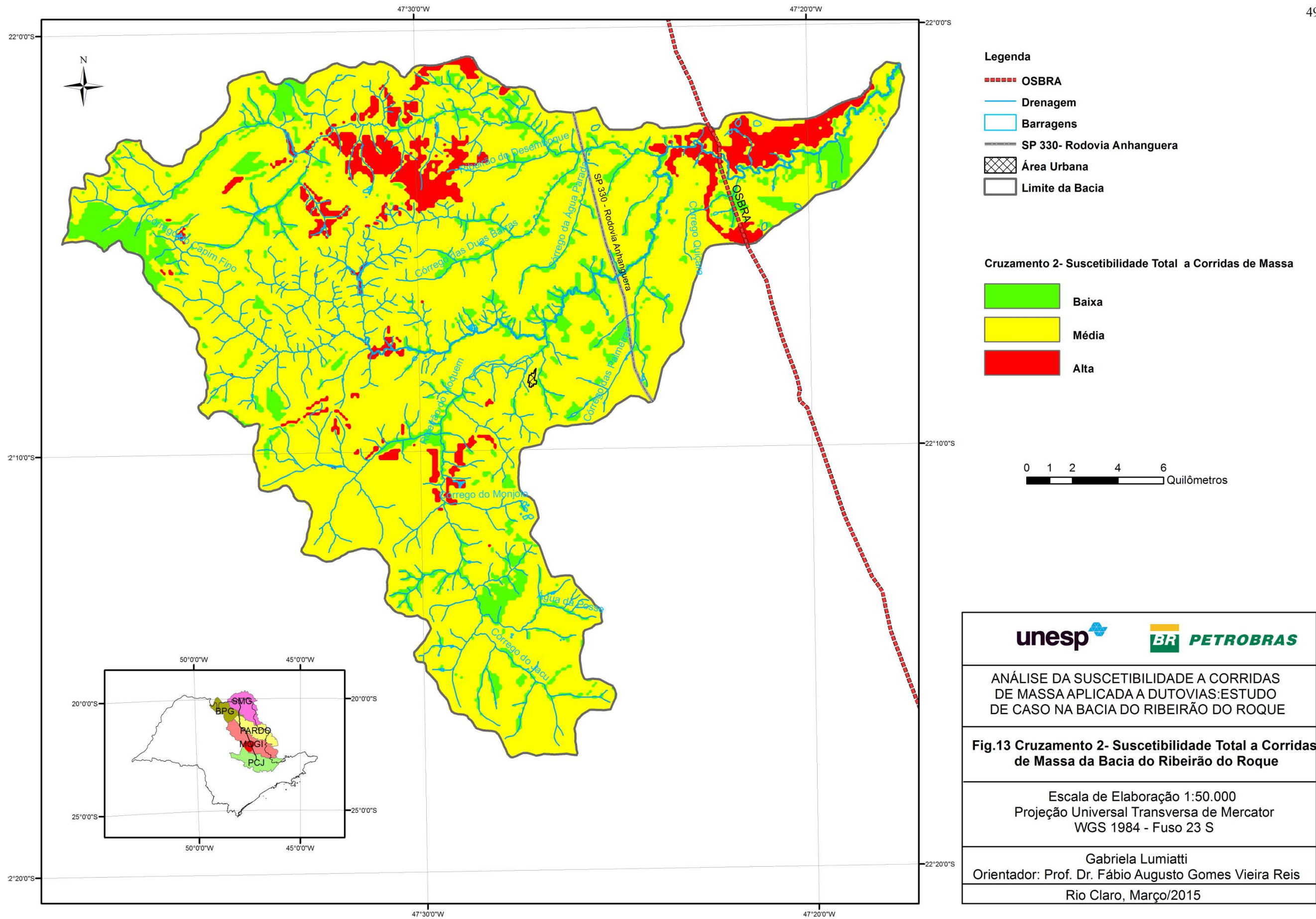


5.4.2) *Cruzamento 2: mapa de suscetibilidade total a corridas de massa*

O segundo mapa de suscetibilidade total gerado, resultou da integração entre os mapas de suscetibilidade natural (teste 3) e de suscetibilidade antrópica da bacia do Ribeirão do Roque. Este mapa é apresentado na **Figura 13**. Comparando este mapa como o Cruzamento 1, observou-se que em ambos os mapas há a predominância de áreas com média suscetibilidade ao processo de corridas ao longo de toda a extensão da bacia. No entanto, neste segundo mapa de suscetibilidade total, as áreas com alta suscetibilidade diminuíram substancialmente, restando apenas porções na parte norte, nordeste e pequenas manchas na parte central da bacia. Nota-se ainda, o aumento de áreas classificadas como baixa suscetibilidade, presentes na forma de manchas de diferentes dimensões distribuídas principalmente ao longo das planícies aluviais.

Considerando a travessia do duto OSBRA, este se dá em situação idêntica ao descrito para o Cruzamento 1. Além disso, uma comparação com o mapa de suscetibilidade total a corridas de massa elaborado por Reis et al., (2014b) permite perceber que os mapas gerados são praticamente idênticos, apesar da utilização de critérios diferentes na elaboração dos mesmos, tais como, consideração de diferentes atributos físicos, uma vez que em Reis et al. (2014) levou-se em conta um conjunto maior de parâmetros físicos, com pesos de influencia todos iguais. E ainda, no presente projeto os mapas de suscetibilidade total apresentaram apenas três graus de suscetibilidade (alta, média, baixa) diferentemente do trabalho apresentado por estes autores, que utilizaram 4 classes de suscetibilidade.

Sendo assim, diferenças entre o Cruzamento 2 e o mapa apresentado pelos referidos autores incluem a extensão das manchas de alta suscetibilidade, visto que enquanto no trabalho de Reis et al. (2014b) as manchas de alta suscetibilidade são contínuas, no presente trabalho as manchas apresentam-se como fragmentos bastante próximos uns aos outros. Outra diferença é a classificação das regiões correspondentes as unidades fisiográficas Va e Vb, uma vez que no presente projeto tais áreas apresentaram média suscetibilidade final as corridas, ao invés de alta suscetibilidade obtida pelo trabalho apresentado pelos referidos autores. Vale acrescentar ainda que a classificação das unidades Va e Vb como alta suscetibilidade seria mais adequada, assim como descrito no item 5.2.3.



7) CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo principal do presente trabalho de conclusão de curso foi atingido, uma vez que foi possível realizar a análise da suscetibilidade a corridas de massa da Bacia do Ribeirão do Roque, com enfoque nas áreas situadas a montante do duto OSBRA.

Resumidamente, o método adotado consistiu primeiramente no entendimento das principais características do processo de corridas, sua dinâmica e seus principais condicionantes. Uma vez entendido o processo mais a fundo, escolheram-se os atributos físicos e antrópicos, bem como suas respectivas classes e pesos de influência para a geração dos mapas de suscetibilidade a corridas. Selecionaram-se os parâmetros físicos tipo e espessura das rochas, solo e materiais inconsolidados; declividade do relevo, densidade textural; amplitude do relevo; forma do vale; e forma da encosta. Tais parâmetros estão presentes no mapa de compartimentação fisiográfica da área de estudo elaborado por Reis et. al (2014a). Já as classes de uso utilizadas na presente pesquisa foram as mesmas presentes no mapa de uso e ocupação elaborado por Reis et. al (2014b). Tais classes são: mata; cultura perene; pastagens; cultura sazonal; área urbana e construções rurais; solo exposto e água.

Em seguida, com a finalidade de que os resultados pudessem ser melhor visualizados e comparados, foram realizados 3 testes, nos quais combinou-se os parâmetros físicos de diferentes maneiras. Dentre os 3 mapas de suscetibilidade natural obtidos, optou-se pela escolha dos mapas resultantes dos testes 1 e 3. Tal escolha se deu, principalmente, baseada na consideração de diferentes pesos de influência dos atributos físicos na geração do processo de corridas. Uma vez que, no teste 2 foram atribuídos pesos igualitários aos parâmetros físicos, porém, deve-se levar em conta que cada atributo apresenta uma contribuição específica para a geração das corridas.

Finalmente, a última etapa do método adotado no presente projeto, consistiu na integração dos mapas de suscetibilidade natural 1 e 3, com o mapa de suscetibilidade antrópica, por meio da análise multicriterial em ambiente SIG, resultando em 2 diferentes mapas de suscetibilidade total a corridas de massa, denominados Cruzamento 1 e 2, respectivamente. Uma vez que no presente projeto de pesquisa considerou-se que os parâmetros físicos e antrópicos são de igual importância para a geração das corridas, atribuiu-se 50% de peso de influência para cada mapa.

Sendo assim, focando nos resultados obtidos a partir dos mapas de suscetibilidade total as corridas, foi possível observar que em ambos os mapas houve a predominância de áreas com média suscetibilidade ao processo de corridas ao longo de toda a extensão da bacia.

No entanto, o Cruzamento 2 diferiu do Cruzamento 1 em relação ao tamanho das áreas com alta suscetibilidade, visto que estas diminuíram substancialmente e ainda foi possível observar um aumento de áreas classificadas como baixa suscetibilidade, presentes na forma de manchas de diferentes dimensões distribuídas ao longo das planícies aluviais principalmente.

Contudo, considerando a travessia do duto OSBRA na bacia do Ribeirão do Roque, esta se deu em situação idêntica em ambos os mapas de suscetibilidade total. De maior interesse para o presente projeto, devido ao seu caráter mais crítico, destaca-se a travessia do Ribeirão do Roque pelo duto, em região de alta suscetibilidade, e ainda a proximidade com áreas também mais suscetíveis a deflagração do processo de corridas localizadas a montante.

Em tais áreas, o Ribeirão Roque apresenta um vale mais fechado e encontra-se na forma de meandro, sem a existência de planície aluvionar, capaz de amortecer as corridas. Estas características possibilitariam um processo intenso de escavação, caso uma corrida viesse a se desenvolver. Todavia, a travessia do duto nestas áreas mais críticas é feita em cavalete diretamente na rocha (diabásio), o que propicia uma proteção adicional contra possíveis danos ao mesmo.

A partir dos resultados obtidos, alguns pontos importantes precisam ainda ser destacados. Primeiramente, uma vez que diversos elementos intervêm nos processos de corridas de massa, a análise multicriterial mostrou-se ser uma ferramenta bastante eficaz na análise de suscetibilidade de terrenos, permitindo a combinação dos parâmetros de diferentes maneiras. Além de que, devido a distribuição espacial dos condicionantes dos processos de corridas de massa, fez-se necessária a estruturação da aplicação da análise multicriterial em um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Tendo em vista as principais vantagens, em primeiro lugar, o mapa de compartimentação fisiográfica utilizado, mesmo sendo uma importante ferramenta de planejamento territorial da bacia, não foi elaborado com foco especificamente no processo de corridas de massa. Desta forma, um dos desafios da presente pesquisa consistiu em adaptar da melhor maneira possível um material já existente, visando a identificação da suscetibilidade do terreno ao processo estudado dentro de um prazo de tempo limitado. Ainda, a maioria dos estudos encontrados com relação a suscetibilidade dos terrenos a corridas, utiliza a(s) bacia(s) ou a(s) sub-bacia(s) como unidade de análise e não as unidades fisiográficas.

Isto porque, as unidades fisiográficas, devido ao seu caráter homogêneo, podem mascarar algumas características mais específicas de áreas presentes dentro de uma mesma unidade, influenciando assim na suscetibilidade dos terrenos ao processo de corridas de massa. Tem-se como exemplo, uma área específica localizada no centro-oeste da área de

estudo, pertencente a unidade VIII, que apesar de apresentar alta densidade de drenagem e declividade, está inserida em uma unidade fisiográfica classificada como densidade e declividade médias. Além da declividade e da densidade de drenagem usadas como exemplos, os demais parâmetros físicos também foram homogeneizados dentro de uma mesma unidade de compartimentação, uma vez que em cada unidade, o atributo físico foi classificado de acordo com a sua classe predominante.

Sendo assim, a criação de duas subunidades de compartimentação a partir da unidade fisiográfica VIII poderia fornecer resultados mais precisos e satisfatórios para o presente projeto. Ainda, com relação a limitações do método adotado, tem-se a não consideração de parâmetros morfométricos, tais como área e forma da bacia, uma vez que a bacia/ sub-bacia como citado anteriormente, seria uma melhor unidade de análise para a determinação da suscetibilidade do terreno a corridas de massas.

Concluindo, dada a complexidade e importância das corridas de massa, devido ao seu caráter destrutivo, e uma vez que ainda não existe um método consolidado para a determinação da suscetibilidade dos terrenos a tal processo, faz-se necessário a realização de estudos futuros, focando ainda novas abordagens e utilizando outros métodos de análise de suscetibilidade, tais como uso de simulações, por exemplo.

REFERÊNCIAS

- ALHEIROS, M.M.; AUGUSTO FILHO, O. Landslides and coastal erosion hazards in Brazil. **International Geology Review**. v.39, p.756-763, 1997.
- ALIBERTI, P. M. **Geotecnologias na análise ambiental da expansão urbana de Americana/SP**. 2010. 128f. Trabalho de Conclusão de Curso (Geografia)-Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, 2010.
- ALTRICHTER, G. & GRAMANI, M. F. Deslizamentos e corrida de lama no Km 52 da rodovia dos Imigrantes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 17., 2014, Goiânia. **Anais...** 2014, 8 p.
- AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1, 1992, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PUCRJ, 1992, v.2, p.721-733.
- AUGUSTO FILHO, O. O estudo das corridas de massa em regiões serranas tropicais: um exemplo de aplicação no município de Ubatuba, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 7., 1993, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas:ABGE, 1993, p.63-71.
- AUGUSTO FILHO, O. CERRI, L. E. S. Cartas de risco de escorregamentos quantificadas em ambiente de SIG: um ensaio em Caraguatatuba (SP) visando à implementação de planos de seguro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 10., 2002, Ouro Preto – MG. **Anais....** Edição em CD-ROM. São Paulo: ABGE, 2002.
- AUGUSTO FILHO, O. HIRAI, J. N. OLIVEIRA, A. S. LIOTTI, E.S. GIS applied to geotechnical and environmental risk management in a Brazilian oil pipeline. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment (Print)**, v. 69, p. 631-641, 2010.
- BACCARO, C. A. D. **Estudo dos processos geomorfológicos de escoamento pluvial em área de Cerrado – Uberlândia – MG**. 1990. 164f. (Tese de Doutorado)- Universidade de São Paulo. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Departamento de Geografia, São Paulo, 1990.
- BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS**. Ottawa: Pergamon, 1994.
- BRUBACHER, J. P. OLIVEIRA, G. G & GUASSELLI, L. A. Suscetibilidade de enchentes a partir da análise das variáveis morfométricas na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Rio Grande do Sul: UFRGS, 2011.
- CAMPOE, L. **Relatório 2**. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Engenharia Civil. Laboratório de Geoprocessamento. 2010. Disponível em:

<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABXOUAA/analise-morfometrica>>. Acesso em: 3 jan 2015.

CERRI, L. E. S.; MACEDO, E.S.; OGURA, A.T. Mass movement risk zoning: priority areas to the reforestation of Serra do Mar slopes at the Cubatão area, São Paulo State, Brazil. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON GEOENGINEERING, 1989, Torino. **Proceedings of International Congress on Geoengineering**. Torino: Suolosotto, 1989. v. 1. p. 17-24.

CERRI, L.E.S. 1993. **Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para a prevenção de acidentes**. 1993. 197f. (Tese de Doutorado)- Universidade Estadual Paulista - Unesp. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 1993.

CERRI, L. E. da S.; AMARAL, C. P. do. Riscos geológicos. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 301-310.

CHEN, N.S.H.; YUE, Z.Q.; LI, Z.L. A rational method for estimating maximum discharge of a landslide-induced debris flow: A case study from Southwestern China. **Geomorphology**. v. 84, p. 44–58, 2007.

CHRISTOFOLETTI, A. A análise de bacias hidrográficas. **Geomorfologia**. São Paulo: Ed Edgard Blucher, 1969. p. 81-97.

COUSSOT, P.; MEUNIER, C. Recognition, classification and mechanical descriptions of debris flows. **Earth-Science Review-Elsevier**, v.40, 1996. p.209-227.

CORSEUIL, C.W.; CAMPOS, S. Análise de adequação do uso das Terras por meio de técnicas de Geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos -SP, 2007. p. 2471-2478.

CREUPI - CENTRO REGIONAL UNIVERSITÁRIO DE ESPÍRITO SANTO DO PINHAL. **Diagnóstico da Bacia do Rio Mogi-Guaçu (Relatório “Zero”)**. CREUPI, 2000.

DAHAL, R.K. et al. Predictive modelling of rainfall-induced landslide hazard in the Lesser Himalaya of Nepal based on weights-of-evidence. **Geomorphology**. v.102, p. 496–510, 2008.

FERREIRA, M. V. et. al. Comparação entre diferentes critérios para elaboração de mapas de suscetibilidade aos escorregamentos. Exemplo do município de Cubatão, Serra do Mar paulista. **Revista Brasileira de Cartografia**. n.60/04, (ISSN 1808-0936).dezembro 2008.

FRAIFELD, F.; FREITAS, M. M. Considerações geomorfológicas a respeito da corrida de massa do rio Vieira. **Revista do Departamento de Geografia da PUC- Rio**. Teresopolis- RJ, ano 5, n. 10, p. 1-16, 2013.

FREITAS, C.G.L. Situações de risco na região da Serra do Mar no Estado de São Paulo: obras lineares. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 1., 1990, São Paulo (SP). **Atas do I Simpósio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano**. São Paulo (SP): ABGE, 1990. p. 316-324.

GIRARDI, E. P. **Proposição de uma cartografia geográfica crítica e sua aplicação no desenvolvimento do atlas da questão agrária brasileira**. 2008. (Tese de Doutorado em Geografia)- Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2008.

GRAMANI, M.F. **Caracterização geológico geotécnica das corridas de detritos (“debris flows”) no Brasil e comparação com alguns casos internacionais**. 2001. 372 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001.

GRAMANI, M.F. & KANJI, M.A. Inventário e Análise das Corridas de Detritos no Brasil. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS (COBRAE) 3., 2001, Rio De Janeiro. **Anais...** Rio De Janeiro, 2001, p.53-60.

GRAMANI, M.F.; ZNAMENSKY, D. A importância da composição granulométrica das avalanches e das corridas de detritos e de lama. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 10., 2002, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto. 2002.

GRAMANI, M.F.; OLIVITO, J. P.R.; AUGUSTO FILHO, O; MAGALHAES, F.S. Análise da potencialidade de geração de corridas de massa nos trechos serranos do duto OSBAT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 11., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABGE, 2005. v.1. p.1350 – 1365.

GRAMANI, M.F. A corrida de detritos (debris flow) no Ribeirão Cágado, Serra do Mar, município de Cubatão, SP. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS (COBRAE), 6., 2013, Angra dos Reis . **Anais...** Angra dos Reis, 2013. p.1265-1272.

GRAMANI, M.F.; MIRANDOLA, F.A.; CORSI, A.C.; GOMES, C.L.R. A corrida de massa no Córrego Guarda Mão, Município de Itaoca, SP: feições sedimentares e impacto gerado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 47., 2014. Salvador. **Resumo**. São Paulo: SBG, 2014. 1 p.

HÜRLIMANN, M.; COPONS, R.; ALTIMIR, J. Detailed debris flow hazard assessment in Andorra: a multidisciplinary approach. **Geomorphology**. v.78 p. 359–372, 2006.

INFANTI JUNIOR, N. & FORNASARI FILHO, N. Processos de Dinâmica Superficial. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p 136-139.

INSTITUTO GEOLÓGICO – IG. 2011. **Desastre Naturais: Conhecer para Prevenir**. São Paulo, 2011. 196p. Disponível em: <
<http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/livros/DesastresNaturais.pdf>>. Acesso em 27 dez. 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS- INPE. 2007. Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Basicos. Santa Maria, 20p. Disponível em <
<http://www.inpe.br/crs/geodesastres/conteudo/publicacoes/conceitosbasicos.pdf>> Acesso em 20 de dez. 2014.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo escala 1:1.000.000.** São Paulo, 1981a.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa geológico do estado de São Paulo – escala 1:500.000.** São Paulo.1981b.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações : 1:25.000** (livro eletrônico): nota técnica explicativa. Brasília, DF : CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014.

KANJI, M.A.; GRAMANI, M.F. Metodologia para Determinação da Vulnerabilidade a Corridas de Detritos em Pequenas Bacias Hidráulicas. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS (COBRAE), 3., 2001, Rio De Janeiro **Anais...** Rio De Janeiro, 2001. p.75-82.

MACEDO, E.S.; AKIOSSI, A. Escorregamentos ocorridos no Brasil entre 1988 e 1996: Levantamento a partir de notícias de jornal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996, **Simpósios - Geologia Urbana e Riscos Geológicos.** Salvador - Bahia, set., v4, 1996. p.149-152.

MACHADO, A.S.V. **Geotecnologias na avaliação da suscetibilidade a movimentos de massa no município de Várzea Paulista (SP).** 2011. 120 f. Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado- Geografia)- Universidade Estadual Paulista (Unesp), Rio Claro, 2011.

MARTINEZ, O.C. **Importância dos aspectos geológico-geotécnicos em obras implantadas na Serra do Mar – uma metodologia de manutenção preventiva.** 1999. 197f. Dissertação (Mestrado) –EPUSP. São Paulo, 1999.

MARTINI, L. C. P.; SCHEIBE, L.F.; COMIN, J.J.; OLIVEIRA, M.A.T. Avaliação da suscetibilidade a processos erosivos e movimentos de massa: decisão multicriterial suportada em sistemas de informações geográficas. **Revista do Instituto de Geociências – USP,** São Paulo, v. 6, n. 1, p. 41-52, julho 2006.

MOTTA, H.P.G. **Avaliação de corridas de detritos para a previsão de eventos futuros.** 2014. 254f. Tese de doutorado em Engenharia Civil- UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2014.

OGURA, A. T.; AUGUSTO FILHO, O. The Morin Debris-Flow Disaster at Petropolis, City, Rio de Janeiro State, Brazil. **Landslides News,** Japão, n. 5, p. 22-25, 1991.

REIS, F. A. G. V.; CERRI, L. E. S.; AUGUSTO FILHO, O.; ZAINÉ, J. E.; MACHADO, F. B.; GIORDANO, L. C. **Metodologia para avaliação de áreas sujeitas à ocorrência de ondas de cheia e corridas de massa/detritos: Estudo piloto no duto OSBRA no Estado de São Paulo.** Processo Fundunesp: 1954.2011-CCP – Termo de Cooperação PETROBRAS 0050.0071345.119 Relatório 1. 2012.

REIS, F. A. G. V.; CERRI, L. E. S.; AUGUSTO FILHO, O.; ZAINÉ, J. E.; MACHADO, F. B.; GIORDANO, L. C. **Metodologia para avaliação de áreas sujeitas à ocorrência de ondas de cheia e corridas de massa/detritos: Estudo piloto no duto OSBRA no Estado de São Paulo.** Processo Fundunesp: 1954.2011-CCP – Termo de Cooperação PETROBRAS 0050.0071345.119 Relatório 4. 2014a.

REIS, F. A. G. V.; CERRI, L. E. S.; AUGUSTO FILHO, O.; ZAINÉ, J. E.; MACHADO, F. B.; GIORDANO, L. C. **Metodologia para avaliação de áreas sujeitas à ocorrência de ondas de cheia e corridas de massa/detritos: Estudo piloto no duto OSBRA no Estado de São Paulo**. Processo Fundunesp: 1954.2011-CCP – Termo de Cooperação PETROBRAS 0050.0071345.119 Relatório 5. Agosto 2014b.

SABBATINI, R. M. E. **Aplicações na internet em medicina e saúde: os recursos básicos**. 1995. Texto escrito para a revista Informédica. Disponível em : <
http://www.informaticamedica.org.br/cursos/fiocruz/recursos_avancados_pesquisa.html>. Acesso em: 10 dez. 2014.

SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALLI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T. da; SILVA, J. M. F. da. Mapeamento da vulnerabilidade geoambiental do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v.37, n. 4, p.812-820, dezembro de 2007.

SOUZA, C. R. de G. Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, n. 1, p.45-61, 2005.

TAKAHASHI, T. **Japan-China Joint Research on the Prevention from Debris Flow Hazards**. Intern. Scientific Research Program, nº 03044085. March/1994-Kyoto University, p.100-1130. 1994.

TROEH, F. R. Landform equations fitted to contour maps. **Soil Science Society American Journal**, v. 263, p.616-627. New York, 1965.

VEDOVELLO, R. & MATTOS, J.T. A Utilização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) como base para a definição de unidades geotécnicas. Uma abordagem a partir de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, ABGE. (CDROM), 6p. 1998.

VENANCIO, A. S.; PANCHER, A.M.; CUNHA, C. M. L.; MACHADO, F.B.; JUNIOR, A.V.S. Avaliação da suscetibilidade a movimentos de massa no município de Várzea Paulista (SP) utilizando os sistemas de informação geográfica. **Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 32, n.1, p. 81-92, 2013.

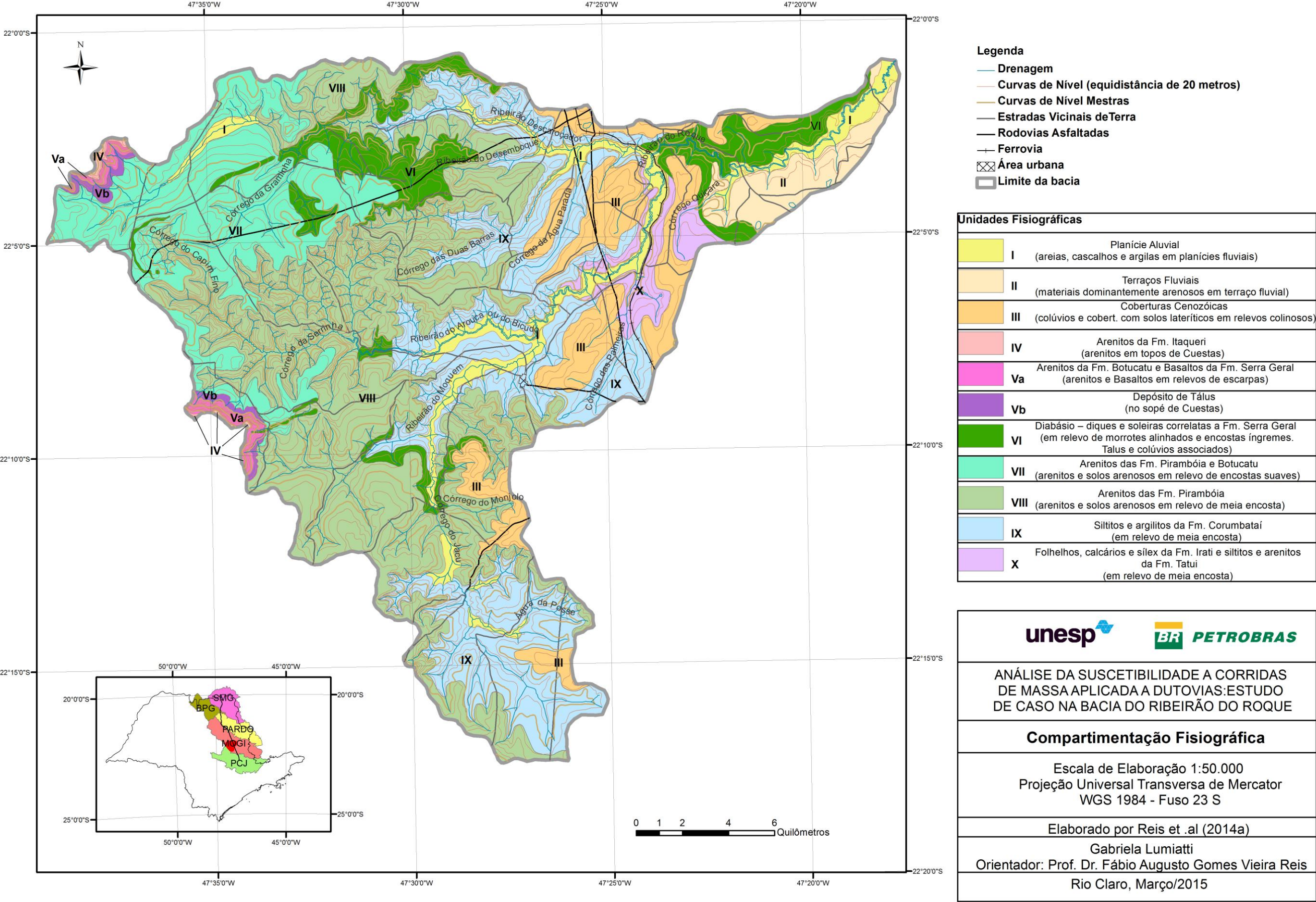
VIEIRA, B.C. ; FERNANDES, N. F ; AUGUSTO FILHO, O. . Shallow landslide prediction in the Serra do Mar, São Paulo, Brazil. **Natural Hazards and Earth System Sciences (Print)**, v. 10, p. 1829-1837, 2010.

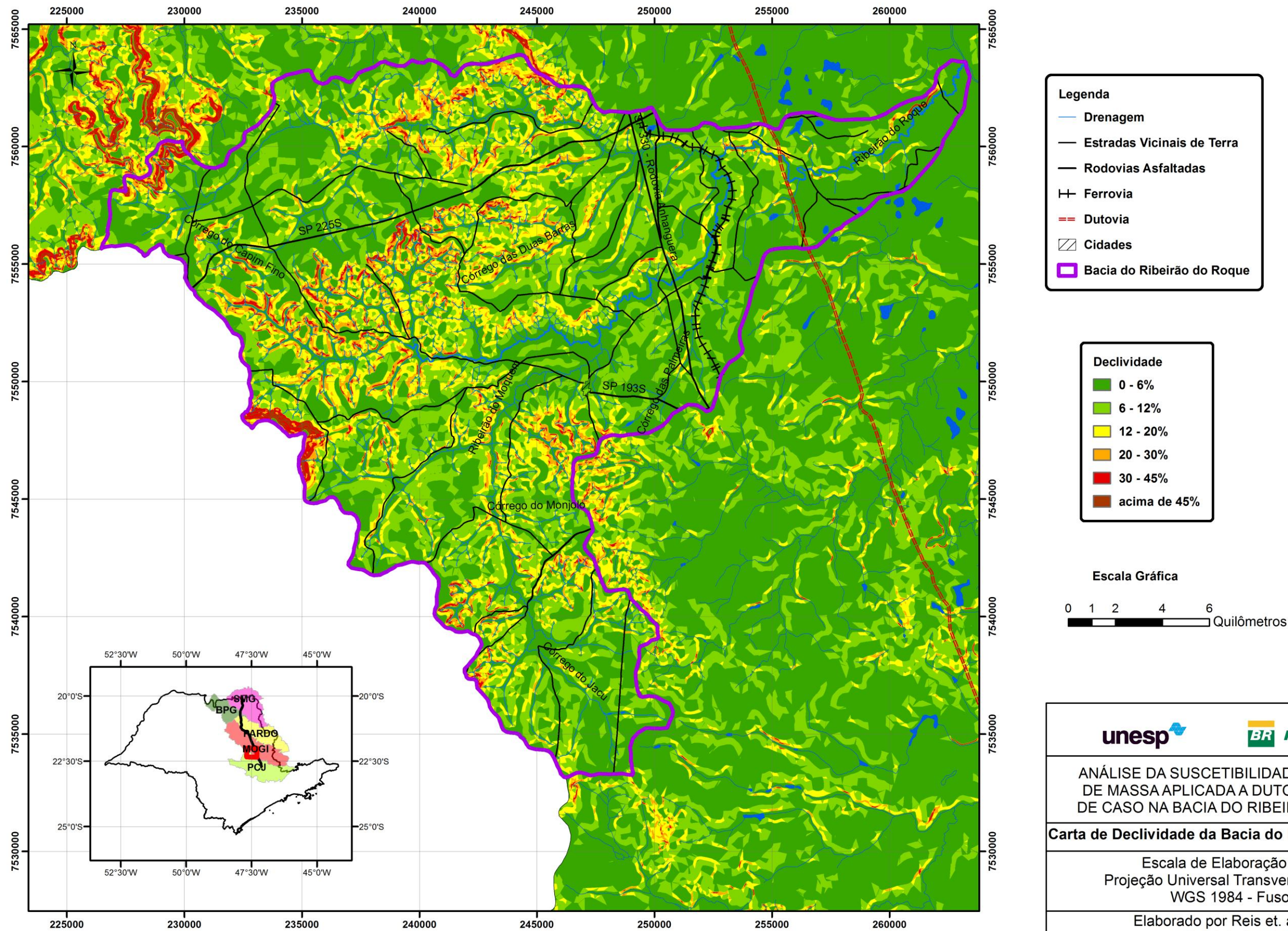
ZAINÉ, J. E. **Método de fotogeologia aplicado a estudos geológico geotécnicos: ensaio em Poços de Caldas, MG**. 2011. 97 f. Tese (Livre – docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.

ZÊZERE, J. L. et al. Spatial and temporal data management for the probabilistic landslide hazard assessment considering landslide typology. In: LACERDA, W. A.; EHRLICH, M.; FONTOURA, S. A. B.; SAYÃO, A. S. F. (Ed). **Landslides: evaluation & stabilization**. Londres: Taylor & Francis Group, 2004. p. 117-123.

ZUQUETTE, L. V. PEJÓN, O.; GANDOLFI, N.; PARAGUASSU, A. B. Considerações básicas sobre a elaboração de cartas de zoneamentos de probabilidade ou possibilidade de ocorrer eventos e perigosos e de riscos associados. **Geociências (São Paulo)**, São Paulo/SP, v. 14, n. 2, p. 9-39, 1995.

ANEXOS







ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A CORRIDAS DE MASSA APLICADA A DUTOVIAS: ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIBEIRÃO DO ROQUE

Carta de Declividade da Bacia do Ribeirão do Roque

Escala de Elaboração 1:50.000
Projeção Universal Transversa de Mercator
WGS 1984 - Fuso 23 S

Elaborado por Reis et. al (2014a)

Gabriela Lumiatti

Orientador: Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

Rio Claro, Março/2015

