



Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"
Programa Interunidades

unesp 

Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

LEILA MARIA RAMOS

**Estudo das regiões susceptíveis à movimentos de massa no
entorno da Rodovia SP-171, trecho de Guaratinguetá - Cunha**

Bauru
2020

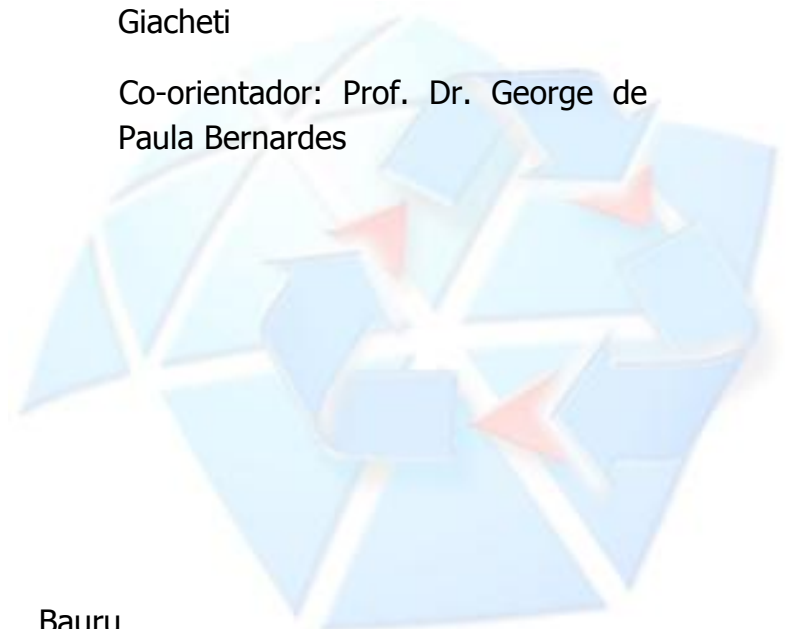
LEILA MARIA RAMOS

**Estudo das regiões susceptíveis à movimentos de massa no
entorno da Rodovia SP-171, trecho de Guaratinguetá - Cunha**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Área de Concentração Geotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Heraldo Luiz Giacheti

Co-orientador: Prof. Dr. George de Paula Bernardes



Bauru
2020

R175e

Ramos, Leila Maria

Estudo das regiões susceptíveis à movimentos de massa no entorno da Rodovia SP-171, trecho de Guaratinguetá - Cunha / Leila Maria

Ramos. -- Bauru, 2020

121 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Engenharia, Bauru

Orientador: Heraldo Luiz Giacheti

Coorientador: George de Paula Bernardes

1. Cartografia Geotécnica. 2. Movimentação de Massa. 3.
Suscetibilidade. 4. Taludes. I. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE LEILA MARIA RAMOS, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 02 dias do mês de dezembro do ano de 2020, às 14:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de LEILA MARIA RAMOS, intitulada **ESTUDO DAS REGIÕES SUSCEPTÍVEIS À MOVIMENTOS DE MASSA NO ENTORNO DA RODOVIA SP-171, TRECHO GUARATINGUETÁ - CUNHA**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. GEORGE DE PAULA BERNARDES (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Guaratingueta, Prof. Dr. ROGER AUGUSTO RODRIGUES (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. PEDRO IVO MIONI CAMARINHA (Participação Virtual) do(a) Departamento Operação e Modelagem / Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN). Após a exposição pela mestrande e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: APROVADA. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. GEORGE DE PAULA BERNARDES

Ao meu marido Paulo pelo companheirismo, paciência e incentivo.

À Minha filha Celeste pelo novo sentido à minha vida.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida, pela saúde e por me fortalecer nos momentos de fraqueza.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Heraldo Luiz Giacheti e Prof. Dr. George de Paula Bernardes que muito contribuíram para meu crescimento acadêmico. Ao Prof^o Dr. George pelo tempo dispensado à pesquisa, pelas muitas contribuições nas análises e por ser um exemplo de profissional, foi uma honra tê-lo como parceiro nessa pesquisa. Ao Prof. Dr. Heraldo pelo acolhimento e pela confiança dispensada a essa pesquisa.

Ao Professor Thiago Bazzan por dispensar atenção e carinho pela pesquisa e contribuir na elaboração da parte cartográfica dessa dissertação, sua contribuição para essa pesquisa é imensurável assim como minha gratidão pelo seu companheirismo. À Professora Dr^a Minela e ao Prof^o Firmino pelo auxílio na obtenção dos dados pluviométricos.

À Prof^a Dr^a. Mariana Benessiuti pelo auxílio nas análises da pesquisa e por ser tão generosa no compartilhamento de seu conhecimento. Também por potencializar minha afinidade com a Geotecnia e ser um exemplo de pessoa e profissional. Aos meus professores das disciplinas de pós-graduação. Aos funcionários da UNESP de Guaratinguetá, em especial ao técnico de laboratório Flávio pelo suporte e incentivo. Ao Milton Marques pela amizade verdadeira e sincera. À Gabriela pela amizade e receptividade.

Aos amigos que fiz na pós graduação que embora fisicamente distantes estavam sempre presente no desenvolvimento das atividades do curso. Em especial ao Jabher, ao Roberto, ao Adriano, e às amigas, Isabela, Fernanda e Rízia.

Á minha sogra Conceição, minhas irmãs Sheila e Ana Lívia, minha cunhada Maúcha, meu cunhado Carlinhos, minha sobrinha Isabela, que me ajudaram com carinho e atenção nos cuidados com minha filha Celeste para que assim fosse possível dar continuidade na minha vida acadêmica e profissional.

RESUMO

RAMOS, L. M. Estudo das regiões susceptíveis à movimentos de massa no entorno da Rodovia SP-171, trecho de Guaratinguetá – Cunha. 2020. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, 2020.

A Rodovia SP-171 que liga os municípios de Guaratinguetá/SP e Cunha/SP está inserida numa região naturalmente favorável à movimentação de massa devido às características do meio físico como relevo, geologia, declividade, tipo de solo e precipitação. Dessa forma, o objetivo desse estudo foi contribuir para o entendimento dos condicionantes do meio físico desencadeadores de movimentos de massa nos taludes e aterros ao longo da SP-171, trecho Guaratinguetá/SP a Cunha/SP, por meio da cartografia, de dados pluviométricos e de campo. Foram levantados 132 taludes de corte, classificados de acordo com sua estabilidade aparente em campo. Os taludes com processos ativos de movimentação de massa foram inseridos na carta de suscetibilidade à movimentação de massa do Instituto de Pesquisas Tecnológicas- IPT para verificar a correspondência entre as referidas cartas com as condições dos taludes em campo. Por meio de técnicas cartográficas de sobreposição de mapas temáticos obteve-se cinco cenários de suscetibilidade à movimentação de massa para chuvas de 20, 50, 100, 250 e 500 milímetros. Por meio dos trabalhos de campo observou-se que 92 desses taludes apresentavam algum tipo de movimentação de massa como erosões, cicatrizes de escorregamentos e blocos de rocha instáveis estando estes inserido em regiões de baixa suscetibilidade pelas cartas do IPT. Pelo levantamento de dados pluviométricos têm-se que a região apresenta registros com movimentação de massa para acumulados de chuva inferiores a 20 mm/d. Os cenários obtidos no presente estudo evidenciaram a fragilidade do trecho da Rodovia SP-171 analisado em regiões de muito baixa, baixa, média e alta suscetibilidade à movimentação de massa para diferentes faixas de pluviosidade.

PALAVRAS-CHAVE: Cartografia geotécnica, Movimentação de massa, Suscetibilidade, Taludes.

ABSTRACT

RAMOS, L. M. Study of the regions susceptible to mass movements around the road SP-171 from Guaratinguetá to Cunha. 2020. Thesis (Master Degree) – School of Engineering, Bauru, São Paulo State University (UNESP), 2020.

The road SP-171 that connects the municipality of Guaratinguetá/SP to Cunha/SP is inserted in a region naturally favorable to mass movement due to the characteristics of the physical environment such as relief, geology, slope, soil type, and high rainfall. Thus, the objective of this study was to contribute to the understanding of the physical conditions that trigger mass movements on the cut slopes and road embankments along SP-171, from Guaratinguetá / SP to Cunha / SP, through cartography, rainfall data and fieldwork. The condition of 132 cutting slopes were classified according to their apparent stability in the field. The slopes with active mass movement processes were inserted in the maps of susceptibility to mass movement of the Institute of Technological Research - IPT to verify the correspondence between the referred maps with the conditions of the slopes in the field. By using cartographic techniques of overlaying maps, there were obtained five scenarios of susceptibility to mass movement for rains of 20, 50, 100, 250 and 500 mm. Through fieldwork, it was observed that 92 slopes presented some type of mass movement such as erosions, scars from landslides and unstable blocks of rock inserted in areas of low susceptibility by the IPT maps. The survey of rainfall data shows that the region presents records with mass movement for rain accumulations below 20 mm / d. The obtained scenarios in the present study showed the fragility of the stretch of road SP-171 analyzed in regions of very low, low, medium and high susceptibility to mass movement for different ranges of rainfall.

KEY-WORDS: Geotechnical cartography, Mass movement, Susceptibility, Slopes.

Índice de Figuras

Figura 1- Diferentes tipos geoquímicos de intemperismo e sua correlação com as zonas climáticas.....	6
Figura 2- Composição mineralógica das frações granulométricas de solo.	7
Figura 3- Esquema da evolução do processo erosivo em um talude.....	11
Figura 4- Ruptura de talude de corte.	12
Figura 5- Ruptura de talude de aterro na SP-171 - Cunha/SP-2019.....	14
Figura 6- Exemplos de estabilização de blocos.....	15
Figura 7- Relação do ângulo do talude com o tipo de trajetória de queda.	16
Figura 8- Perfil de poropressão.	18
Figura 9- Correlação chuva e ruptura de taludes ocorridos na Serra do Mar - Cubatão – SP.....	19
Figura 10- Efeito da infiltração da chuva na estabilidade.	20
Figura 11- Variação do fator de segurança com o tempo.....	22
Figura 12- Processos geomorfológicos dominantes em uma vertente.	23
Figura 13 - Localização da Rodovia SP-171	27
Figura 14- Mapa de Geomorfologia com destaque para a localização da Rodovia SP-171	32
Figura 15- Climograma região de Cunha / SP.....	33
Figura 16- Mapa de Uso do Solo com destaque em vermelho para a localização da Rodovia SP-171.....	34
Figura 17- Carta Geotécnica de Cunha/SP. ESCALA: 1:100 000.	35
Figura 18- Carta de Suscetibilidade à Movimentação de Massa– Município de Guaratinguetá/SP.....	36
Figura 19- Carta de Suscetibilidade a movimentação de massa – Município de Cunha/SP.	37
Figura 20- Estrutura geral da Base de Dados	39
Figura 21 - Deslizamento de terra ocorrido na Rodovia Paulo Virgílio- Cunha/SP 2017	40
Figura 22- Volume de chuva para o mês de novembro nos últimos sete anos.....	41
Figura 23 - A) Mapa esboço geológico. B) Detalhamento do local do deslizamento. ESCALA: 1:100000	43
Figura 24- A) Mapa geomorfológico. B) Detalhamento do local do deslizamento. ESCALA: 1:100000	43
Figura 25- A) Mapa de uso e ocupação do solo. B) Detalhamento do local do deslizamento. ESCALA: 1:100000	44
Figura 26 - Talude anteriormente ao deslizamento de terra.	44
Figura 27 - Indicação da presença de montículos de cupim e formigueiros.	45
Figura 28- Exemplos de talude de classificação 1. (20/10/2019).....	51
Figura 29- Exemplo de talude de classificação 2. (20/10/2019)	52
Figura 30- Exemplo de talude de classificação 3. (20/10/2019)	52

Figura 31- A) Precipitação Guaratinguetá/SP. B) Precipitação Cunha/SP	54
Figura 32- Talude com processo ativo de erosão.	57
Figura 33- Mapa de áreas homólogas à infiltração.....	58
Figura 34- Sistema de drenagem comprometido devido a erosão.....	59
Figura 35- A) Bloco de rocha. B) Rocha solta instável.....	59
Figura 36- Deslizamento de terra na SP-171	60
Figura 37- Escorregamentos de terra do tipo planar.....	61
Figura 38- Classificação dos taludes Rodovia SP-171- Município de Guaratinguetá/SP	62
Figura 39- Classificação dos taludes SP-171- Município de Cunha/SP.....	63
Figura 40- Talude de aterro rompido- SP-171.....	64
Figura 41- Escorregamentos em taludes de aterro na SP-171	65
Figura 42- Taludes de aterro- Trecho do município de Guaratinguetá/SP.....	66
Figura 43- Talude de aterro- Trecho município de Cunha/SP.....	67
Figura 44- A) Retaludamento. B) Gabião. C) Muro de espera.....	68
Figura 45- Talude retaludado.	69
Figura 46- Unidades Litológicas – SP-171 Município de Guaratinguetá/SP.....	70
Figura 47- Unidades Litológicas – SP-171 Município de Cunha/SP.	71
Figura 48- Relevo SP-171 – Município de Guaratinguetá/SP.....	72
Figura 49- Relevo SP-171 –Trecho do município de Cunha/SP.....	73
Figura 50- Declividade SP-171 – Município de Guaratinguetá/SP.....	74
Figura 51- Declividade SP-171 – Município de Cunha/SP.....	75
Figura 52- Pedologia da SP-171- Município de Guaratinguetá/SP.....	76
Figura 53- Pedologia SP-171- Município de Cunha/SP.....	77
Figura 54- Precipitação acumulada - Período Chuvoso SP-171.....	78
Figura 55 - Carta de Suscetibilidade à Movimentação de Massa – Município de Guaratinguetá/SP.	79
Figura 56- Registros do DER e IPMet.....	80
Figura 57 - Carta de Suscetibilidade à Movimentação de Massa IPT SP-171 – Município de Cunha/SP.....	81
Figura 58- Percentuais para cada classe de suscetibilidade.....	82
Figura 59- Relação entre as condições dos taludes observados em campo com as Cartas do IPT (2015a e 2015b).	83
Figura 60- Legenda presente nas Cartas de Suscetibilidade do IPT (2015a e 2015b) ...	84
Figura 61- Cenário de suscetibilidade para 20 milímetros de chuva- Trecho SP-171- Município de Guaratinguetá/SP	86
Figura 62- Cenário de suscetibilidade para 20 milímetros de chuva- Trecho SP-171- Município de Cunha/SP.....	87
Figura 63- Cenário de suscetibilidade para 50 milímetros de chuva- Trecho SP-171- Município de Guaratinguetá/SP.	88
Figura 64- Cenário de suscetibilidade para 50 milímetros de chuva- Trecho SP-171- Município de Cunha/SP.....	89
Figura 65- Cenário de suscetibilidade para 100 milímetros de chuva- Trecho SP-171- Município de Guaratinguetá/SP.	90

Figura 66- Cenário de suscetibilidade para 100 milímetros de chuva- Trecho SP-171- Município de Cunha/SP.....	91
Figura 67- Cenário de suscetibilidade para 250 milímetros de chuva- Trecho SP-171- Município de Guaratinguetá/SP.	92
Figura 68- Cenário de suscetibilidade para 250 milímetros de chuva- Trecho SP-171- Município de Cunha/SP.....	93
Figura 69- Cenário de suscetibilidade para 500 milímetros de chuva- Trecho SP-171- Município de Guaratinguetá/SP.	94
Figura 70- Cenário de suscetibilidade para 500 milímetros de chuva- Trecho SP- 171- Município de Cunha/SP.....	95

Índice de Tabelas

Tabela 1- Principais processos de intemperismo.....	5
Tabela 2- Classificação de solos utilizados pela Embrapa.	7
Tabela 3- Síntese da correlação Geo-pedológica.	8
Tabela 4- Principais indicadores oriundos de informações geo-pedológicas de solos....	9
Tabela 5- Fatores condicionantes de processos erosivos.....	10
Tabela 6- Suscetibilidade à Erosão de acordo com o Tipo de Solo.	12
Tabela 7- Classificação dos fatores deflagradores dos movimentos de massa.....	13
Tabela 8- Potencial de água no solo.	17
Tabela 9 - Critérios pluviométricos operacionais utilizados pelo Sistema de Alerta.	21
Tabela 10- Relação chuva x escorregamentos - Referências.	21
Tabela 11- Relação entre atributos e a carta geotécnica de potencial movimentos de massa gravitacionais.	24
Tabela 12- Principais metodologias para zoneamento geotécnico.....	25
Tabela 13- Exemplo de ponderação de variáveis.	26
Tabela 14- Volume Diário de Tráfego da SP-171	28
Tabela 15- Registros de obras realizadas na SP-171	29
Tabela 16- Associação entre geologia, geomorfologia e tipos de solos e suas relações.	31
Tabela 17- Classes de suscetibilidade - IPT	38
Tabela 18- Dados fornecidos pela Defesa Civil do Município de Cunha/SP ao IPMet.	40
Tabela 19- Dados pluviométricos da região no mês do deslizamento (Novembro de 2017).....	41
Tabela 20- Descrição do banco de dados.	46
Tabela 21- Pesos dos mapas temáticos.....	47
Tabela 22- Pesos para os padrões de relevo	48
Tabela 23- Pesos para pluviosidade.....	48
Tabela 24- Pesos para as variáveis em Geologia.....	49
Tabela 25- Pesos para as faixas de declividade.....	49
Tabela 26- Pesos para as variáveis de solo.....	49
Tabela 27- Volume de chuva para os eventos de escorregamentos registrados pelo DER/SP.....	55
Tabela 28- Registros de interdição da Rodovia SP-171 - IPMet.....	56
Tabela 29- Relação dos taludes observados em campo com a Carta de suscetibilidade IPT	82
Tabela 30- Área de suscetibilidade a movimentação de massa.....	96

Sumário

Resumo	i
Abstract	ii
Índice de Figuras	iii
Índice de Tabelas	vi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Justificativa	2
1.3 Estrutura da Dissertação	3
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
2.1 Relação entre intemperismo x formação/comportamento geotécnico dos solos	5
2.2 Composição e granulometria dos solos tropicais	6
2.3 Problemas geológico-geotécnicos em rodovias	9
2.3.1 Erosão	10
2.3.2 Escorregamentos	12
2.3.3 Escorregamentos em aterros	13
2.3.4 Queda ou rolamento de blocos	14
2.4 Retenção de água no solo	16
2.4.1 Sucção de água no solo	17
2.5 Relação chuva x escorregamento	18
2.6 Suscetibilidade à movimentação de massa	22
2.7 Cartografia Geotécnica	23
2.7.1 Álgebra de mapas	25
3 ASPECTOS DO MEIO FÍSICO	27
3.1 Localização da Rodovia SP-171	27
3.1.1 Geologia	30
3.1.2 Geomorfologia	31
3.1.3 Clima	32
3.1.4 Uso e ocupação do solo	33
3.2 Carta geotécnica	34
3.3 Cartas de suscetibilidade à movimentação de massa do IPT (Guaratinguetá/SP e Cunha/SP)	35
3.4 Local do deslizamento de terra ocorrido em 29/11/2017	39

3.4.1 Geologia local.....	42
3.4.2 Geomorfologia local.....	43
3.4.3 Uso e ocupação do solo.....	44
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	46
4.1 Levantamento de dados.....	46
4.2. Organização dos Dados Cartográficos no SIG.....	47
4.3 Procedimento metodológico.....	50
4.4 Pluviosidade.....	51
4.5 Classificação dos taludes.....	51
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	54
5.1 Pluviometria.....	54
5.2 Trabalhos de campo.....	56
5.2.1 Erosão.....	57
5.2.2 Queda e rolamento de blocos.....	59
5.2.3 Escorregamentos.....	60
5.3 Condição dos taludes.....	62
5.3.1 Condição dos taludes na margem inferior à Rodovia SP-171.....	64
5.4 Obras de estabilização ao longo da Rodovia SP-171.....	68
5.5 Suscetibilidade à movimentação de massa na SP-171.....	69
5.5.1 Geologia.....	70
5.5.2 Relevô.....	72
5.5.3 Declividade.....	74
5.5.4 Solos.....	76
5.5.5 Pluviometria.....	78
5.6 Informações das cartas do IPT (2015a e 2015b) e trabalho de campo.....	79
5.7 Cenários de Suscetibilidade à Movimentação de Massa SP-171.....	84
5.7.1 Chuvas de 20 milímetros.....	85
5.7.2 Chuvas de 50 milímetros.....	88
5.7.3 Chuvas de 100 milímetros.....	90
5.7.4 Chuvas de 250 milímetros.....	92
5.7.5 Chuvas de 500 milímetros.....	94
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES.....	98
REFERÊNCIAS.....	100

1 INTRODUÇÃO

Acidentes geológicos envolvendo ruptura de taludes rodoviários são frequentes em todo território nacional especialmente em eventos pluviométricos mais intensos. A Serra do Mar que estende-se desde o centro-norte do Estado do Rio de Janeiro até o litoral centro-sul do Estado de Santa Catarina possui grande suscetibilidade a eventos geológicos como deslizamentos de massa e erosões. Como exemplos têm-se os eventos ocorridos em Santa Catarina - Nov/2008, Angra dos Reis - Jan/2010, Nova Friburgo - Jan/2011, Litoral do Paraná - Mar/2011, BR376 - Mar/2011 (VICTORINO; SESTREM; KORMANN, 2017). Eventos como os citados causam insegurança aos usuários das rodovias em virtude de perdas materiais e humanas como a vítima fatal da ruptura na Rodovia dos Imigrantes ocorrida em 2013 (ALTRICHTER et al., 2014).

As cicatrizes de deslizamentos ocorridas na Serra do Mar foram objeto de estudo de Nery e Vieira (2014) que destacaram a alta suscetibilidade a diferentes tipos de perda de massa, especialmente deslizamentos rasos e de fluxo de detritos, alertando ao fato de que a Serra do Mar possui grande atividade antrópica gerando assim numerosas áreas de risco. A fragilidade ambiental da Serra do Mar, como deslizamentos e avalanches, foram evidenciadas por Ross, Junqueira e Santos (2014) que, por meio de uma análise morfoclimática, apontaram geoindicadores que permitiram antever em quais condições ambientais é possível desencadear processos de deslizamentos em ambientes tropicais úmidos, como é o caso da Serra do Mar.

A Rodovia SP-171 que liga o município de Guaratingueta/SP ao município de Paraty/RJ, situada no contraforte da Serra do Mar, é cenário de constantes deslizamentos de terra, ocasionados nos meses de maior índice pluviométrico, sendo estes de outubro a março (DER, 2017). A fragilidade dessa rodovia frente à movimentos de massa é atribuída aos condicionantes do meio físico, como declividade, solos, relevo, geologia e aos elevados índices pluviométricos. Essa condição de fragilidade da SP-171 a processos geológico-geotécnicos foi objeto de preocupação por Pereira (1998), Arrais (2000), que identificaram vários pontos com processos ativos de erosão e cicatrizes de deslizamentos ao longo da rodovia. A região foi objeto de estudos pelo Instituto Geológico (2010), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM (2017), e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2018) que destacaram as características do meio físico como condicionantes dos processos de movimentação de massa. Contudo maior atenção deve

ser concedida à essa problemática por meio de estudos locais mais detalhados dos condicionantes geradores de instabilidade ao longo da SP-171 assim como por meio do mapeamento das áreas com suscetibilidade à movimentação de massa.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho foi elaborar cenários de suscetibilidade à movimentação de massa frente a chuvas de 20, 50, 100, 250 e 500 milímetros para o trecho da Rodovia Paulo Virgínio SP-171 que liga o município de Guaratinguetá/SP à Cunha/SP.

Este estudo tem também os seguintes objetivos específicos:

- Relacionar as Cartas de Suscetibilidade à Movimentação de Massa do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2015a e 2015b) com os dados de campo;
- Apresentar os principais tipos de movimentação de massa ocorridos no trecho da Rodovia SP-171 analisado, assim como as principais obras recorrentes de estabilização de encostas;
- Realizar o levantamento dos mapas que contemplem as características do meio físico da região como base de planos de informação para a elaboração dos cenários de suscetibilidade à movimentos de massa.
- Criar uma escala de ponderação para cada elemento do meio físico;
- Realizar o levantamento dos taludes ao longo da Rodovia e classificá-los de acordo com os tipos de movimentos de massa observados em campo;
- Buscar registros em órgãos municipais e regionais de eventos de movimentação de massa que afetaram a rodovia, assim como registros pluviométricos para cada evento de interdição da SP-171.

1.2 Justificativa

A Rodovia SP-171 é de suma importância para o desenvolvimento comercial e turístico do município de Cunha/SP pela sua conexão ao município de Guaratinguetá/SP e a Paraty/RJ. Todavia, essa rodovia tem um traçado em um meio físico naturalmente propenso à movimentação de massa, como o deslizamento de terra de grande porte que afetou a rodovia em 29 de Novembro de 2017 o qual pôs em risco a segurança dos

usuários que trafegam diariamente por essa rodovia. Dessa forma, a motivação para realização dessa dissertação partiu-se desse deslizamento pontual de terra, pois ele destacou a problemática existente ao longo de todo o trecho da Rodovia SP-171 em questão.

Outro pressuposto que motivou a investigação dos movimentos de massa na SP-171 surgiu da observação das Cartas de Suscetibilidade à Movimentos de Massa elaboradas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2015a e 2015b) por estas não contemplarem a real situação da Rodovia frente à movimentação de massa como escorregamentos, erosões e quedas de blocos.

Dada a relevância da fragilidade do meio físico o qual a Rodovia SP-171 está inserida, o Instituto Geológico (IG) emitiu um parecer técnico em 2010 em face as chuvas ocorridas na região no fim do ano de 2009 que afetaram parte do município de Cunha/SP. Neste relatório, foram identificados locais de risco com evidências de movimentação de terra, como: trincas em terrenos e moradias; inclinação de árvores, postes e muros; degraus de abatimento; cicatrizes de escorregamentos; e feições erosivas, sendo a concentração de água de chuva em superfície a principal indutora desses movimentos.

Em 2017 a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM também realizou estudos face à fragilidade geológica-geotécnica da região onde está inserida a Rodovia SP-171. As áreas de risco identificadas pelo IG (2010) foram reavaliadas do ponto de vista geológico e geotécnico pelo IPT (2018) o qual emitiu diretrizes para minimizar os riscos das áreas em encostas e de áreas sujeitas à inundação.

A elaboração de cartas geotécnicas surgiu há mais de um século na Europa como ferramenta de planejamento urbano, buscando integrar dados e informações básicas sobre as características geotécnicas de um determinado local (BITAR, 2015). O mapeamento de áreas com suscetibilidade à movimentação de massa é um dos requisitos básicos para prevenção de desastres naturais e é requisito obrigatório para os municípios do estado de São Paulo. Dessa forma, por meio de cartas geotécnicas pode-se proceder com uma melhor ordenação territorial e assim evitar desastres relacionados às movimentações de massa em rodovias.

1.3 Estrutura da Dissertação

O início da pesquisa deu-se com a apresentação da problemática existente no trecho da SP-171, entre os municípios de Guaratinguetá/SP e Cunha/SP referente à movimentação de massa, como escorregamentos, erosões e queda de blocos. Definiu-se então os objetivos do presente estudo, bem como a justificativa e contribuição desse trabalho para a região.

No segundo capítulo apresenta-se o levantamento bibliográfico sobre os principais conceitos relacionados à formação dos solos, suas características geotécnicas e seu comportamento mediante a presença de água, isto com intuito de ter-se um suporte teórico para entendimento dos processos de movimentação de massa em taludes rodoviários. Também buscou-se entender a importância da cartografia geotécnica na ordenação territorial, para isso abordou-se as metodologias empregadas para mapeamento geotécnico assim como os atributos necessários para elaboração de cartas de suscetibilidade.

No terceiro capítulo fez-se uma descrição pontual das características do local onde ocorreu a ruptura do talude rodoviário, para em seguida ter-se uma visão geral dos 44 quilômetros da Rodovia, destacando-se a localização e as características do meio físico como geologia, precipitação, relevo, e solos, assim como a espacialização desses elementos.

No quarto capítulo foi descrito o método utilizado na construção de cinco cenários de suscetibilidade à movimentação de massa da Rodovia SP-171 para períodos chuvosos. Também apresentou-se os procedimentos de campo.

O quinto capítulo foi elaborado a fim de apresentar e discutir os resultados obtidos nos cenários de suscetibilidade à movimentação de massa para chuvas de 20, 50, 100, 250 e 500 milímetros. A base dessa análise foi avaliar os resultados de campo e os eventos de interdição da SP-171 registrados pelo DER-SP no trecho em questão.

Por fim, no capítulo seis tem-se as considerações finais sobre os resultados obtidos, assim como sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Relação entre intemperismo x formação/comportamento geotécnico dos solos

A formação do solo está ligada ao conjunto de processos que desintegram e decompõem a rocha. Esses processos geológicos dependem das condições climáticas do local e das características da rocha mãe. Dessa forma, a análise do tipo de solo feita de forma generalizada sem considerar as variações climáticas que ocorrem em diferentes pontos do planeta gera um entendimento pouco aprofundado sobre a formação do solo.

Segundo Conciani, Burgos e Bezerra (2015), os processos de intemperismo podem ser agrupados em processos químicos e físicos, considerando a ação dos agentes biológicos como sendo um processo físico. Na tabela 1 os autores descrevem os principais processos atuantes na formação dos solos.

Tabela 1- Principais processos de intemperismo.

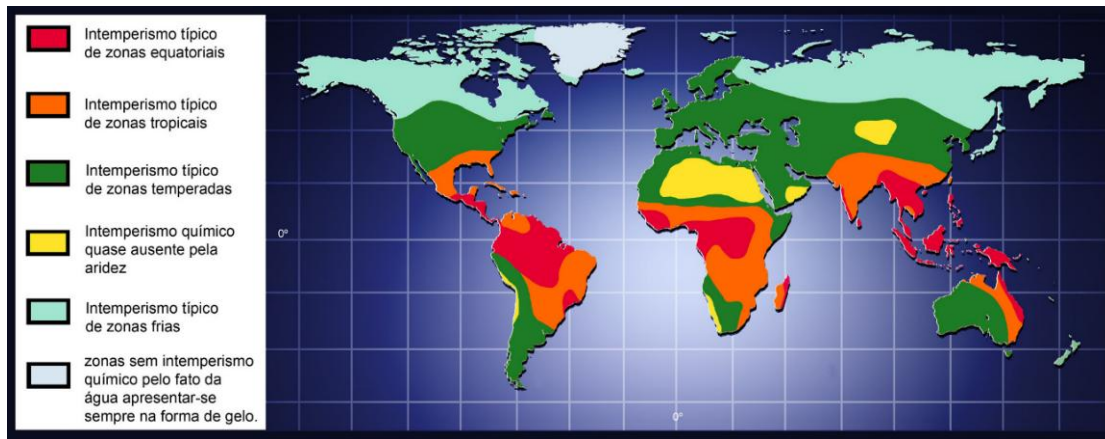
Químicos	Físicos
Hidrólise	Desagregação
Hidratação	Expansão por alívio de tensão
Oxidação	Crescimento de cristais estranhos à rocha
Carbonatação	Expansão térmica
Quelação	Ação de organismos
Troca de bases	

Fonte: Conciani, Burgos e Bezerra (2015).

Os processos atuantes na desagregação das rochas e formação dos solos são mais intensos devido à influência do clima, principalmente da umidade relativa, da temperatura e da pluviosidade, sendo nas regiões tropicais onde o intemperismo atua com mais abundância devido à variação da temperatura e aos altos índices pluviométricos, (CONCIANI; BURGOS; BEZERRA, 2015). Característica essa típica dos solos da região onde está inserida a Rodovia SP-171 cujos índices pluviométricos chegam à média de 250 mm em um único mês no período chuvoso (BANCO DE DADOS CLIMÁTICOS DO BRASIL, 2003).

De acordo com Toledo, Oliveira e Melfi (2009) na distribuição dos grandes processos geoquímicos de intemperismo há evidente influência do zoneamento climático do globo terrestre, Figura 1.

Figura 1- Diferentes tipos geoquímicos de intemperismo e sua correlação com as zonas climáticas.



Fonte: Toledo (2014).

Os fatores que controlam a alteração intempérica variam de acordo com as características do ambiente, sendo esses fatores: material parental, clima, topografia, biosfera e tempo (TOLEDO; OLIVEIRA; MELFI, 2009).

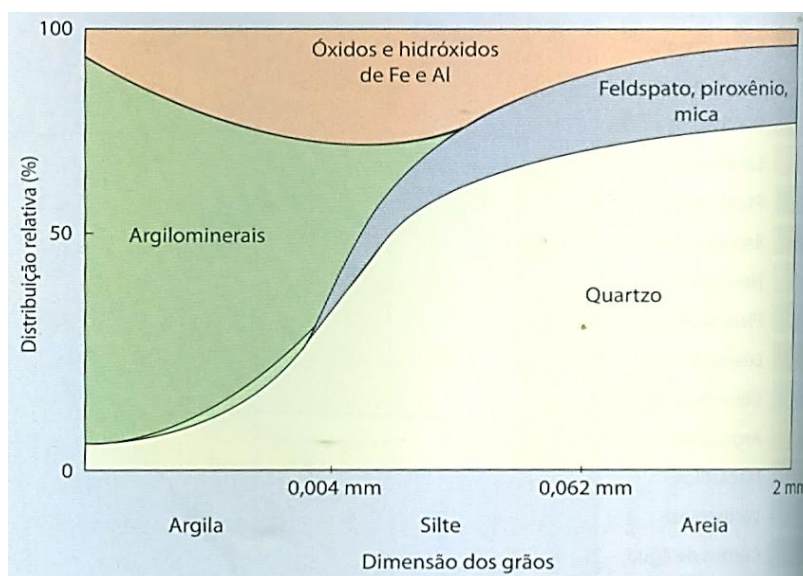
O grau de intemperismo pode ser averiguado em função da variação do teor de umidade e pela distribuição de diâmetros dos poros. Materiais que permaneceram expostos ao intemperismo apresentam-se com maiores valores de umidade e porosidade, sendo ambos, umidade e porosidade, variáveis que afetam a capacidade do solo em armazenar água (JESUS et al., 2015). Para Guidicini e Nieble (1983) os perfis de intemperismo são provenientes de muitos fatores, quais sejam: litologia, variáveis climáticas locais, estrutura do maciço rochoso, condições topográficas e as condições de percolação de água.

2.2 Composição e granulometria dos solos tropicais

Nas regiões tropicais úmidas, como é o caso do Brasil, ocorrem solos que possuem alguns atributos em comum, como composição mineralógica simples (quartzo, caulinita, óxi-hidróxidos de ferro e de alumínio), grande espessura de horizontes, e são em geral empobrecidos quimicamente. O argilomineral predominante em climas tropicais é a caulinita, que se forma não apenas a partir dos feldspatos, mas também de outros minerais silicáticos, como as micas. Além disso, goethita, hematita e gibbsita, provenientes da alteração dos vários silicatos, são frequentes na fração argila, que pode conter, ainda minerais carbonáticos, fosfáticos ou mesmo sílica mal cristalizada (TOLEDO; OLIVEIRA; MELFI, 2009).

Toledo, Oliveira e Melfi (2009) fazem uma importante consideração em relação a uma confusão existente entre a terminologia utilizada para tamanho dos grãos e composição dos grãos, pois segundo esses autores, nem sempre um material argiloso, do ponto de vista do tamanho de seus constituintes, é composto exclusivamente por argilominerais. Fato esse que também se aplica ao caso das areias, um material arenoso nem sempre é constituído por quartzo, Figura 2, essa distinção também foi ressaltada em Carvalho et al. (2015).

Figura 2- Composição mineralógica das frações granulométricas de solo.



Fonte: Brady e Weil (1999) apud Toledo, Oliveira e Melfi (2009)

De acordo com Toledo, Oliveira e Melfi (2009) os latossolos, os argilossolos e os neossolos representam mais de 70% de todos os solos cartografados no Brasil. Na Tabela 2 estão apresentadas as principais características desses solos.

Tabela 2- Classificação de solos utilizados pela Embrapa.

Tipos de solo	Características
Argissolos	Solo bem evoluído, argiloso, apresentando mobilização de argila da parte mais superficial.
Latossolos	Solo altamente evoluído, laterizado, rico em argilominerais 1:1 e óxi-hidróxido de ferro e alumínio.
Neossolos	Solo pouco evoluído, com ausência de horizonte B. Predominam as características herdadas do material original.

Fonte: Adaptado de Toledo, Oliveira e Melfi (2009).

Para uma melhor compreensão das características e propriedades dos solos é feita uma correlação de conhecimentos pedológicos com conhecimentos geotécnicos para

assim aproveitar de forma mais efetiva as investigações e diagnósticos realizados para uso da engenharia (ANTUNES et al., 2013), principalmente no que tange à implantação de obras lineares como as rodovias. Essa correlação entre as classes de solos definida pela pedologia com seus respectivos significados geotécnicos está apresentada na Tabela 3.

Tabela 3- Síntese da correlação Geo-pedológica.

Classes de Solos	Significados Geotécnicos
Argissolos (antigo podzólico): Desenvolvidos de rochas cristalinas. Horizonte diagnóstico B textural (Bt), com estrutura em blocos.	Perfil de solo residual não saturado. Raros casos de material de origem alóctone. Diferença textural entre os horizontes A e B. Susceptível à erosão superficial.
Cambissolos: Desenvolvidos de rochas cristalinas (fragmentos de rochas na matriz argilosa com relação silte/argila > 0,7) ou de depósitos de encostas (relevo acidentado) e de sedimentos aluviais (relevo plano). Horizonte diagnóstico B incipiente (Bi). Ricos em minerais primários facilmente intemperizáveis quando residuais.	Pode indicar a presença de colúvio ou tálus quando ocupam relevos acidentados. Neste caso é indicativo de áreas potenciais de movimentos de massas.
Latossolos: Horizonte diagnóstico B latossólico (Bw), profundo, com mais de 2 metros de espessura. Argilas floculadas (100%). Textura muito argilosa ou argilosa ou média, dependendo do material de origem (basaltos, gnaisses, rochas alcalinas, sedimentos e arenitos). Presença de oxihidróxidos de ferro e alumínio. Relação silte / argila < 0,7.	Solo não saturado. O horizonte B pode ser residual, transportado ou coluvial. Baixa saturação por bases e atividade da argila baixa. Fração argila caulínica ou oxídica ou mistura de ambos. Solos de boa drenabilidade. Indicativos de jazidas de argila.

Fonte: Adaptado de Antunes et al. (2013).

Para o planejamento urbano, um fator relevante a ser avaliado e delimitado é a ocorrência de áreas sensíveis à fenômenos geotécnicos, como os movimentos de massa. Dessa forma, mais que correlacionar o tipo de classificação dos solos com seus respectivos significados deve-se ater às suas características geotécnicas (ANTUNES et al., 2013), Tabela 4, para assim avaliar seu comportamento frente ao uso e ocupação de um determinado local.

Tabela 4- Principais indicadores oriundos de informações geo-pedológicas de solos.

Solo	Características geotécnicas
Neossolos lítólicos e regolíticos	Tais tipos de solos, geralmente encontrados sob condições não saturadas, em relevo forte ondulado a montanhoso, são sujeitos a deslizamentos superficiais resultantes da diferença de permeabilidade entre a camada delgada de solo e a rocha subjacente em períodos de intensas precipitações.
Latosolos e Argissolos	Solo residual jovem de espessuras consideráveis associadas a elementos estruturais reliquias, especialmente de rochas quartzo-feldspáticas e micáceas. Estas áreas, quando sujeitas à ação antrópica, podem ser consideradas como potencialmente susceptíveis à ocorrência de movimentos de massa (desenvolvimento de processos erosivos e deslizamentos).
Cambissolos	Normalmente associados a depósitos coluviais e de tálus, especialmente quando sob condições de relevo acidentado, tendem a mostrar problemas de estabilidade, ou seja, são potencialmente susceptíveis a processos de deslizamentos. É comum se observar a ocorrência de creep (movimentos lentos, muitas vezes sazonais).
Gleissolos e Organossolos	Tipicamente, são permanentemente saturados e sujeitos a alagamentos constantes. Os gleissolos de origem marinha ou flúvio-marinha, tipicamente apresentam elevada compressibilidade e baixa resistência, ou seja, são susceptíveis a desenvolver grandes deformações quando carregados, além de serem considerados solos corrosivos.
Vertissolos	A presença de argilas expansivas caracteriza esta classe de solos. Logo, áreas que não sejam permanentemente inundadas são susceptíveis a sofrer processos de expansão.
Chernossolos	Quando situada em relevos montanhosos tendem a apresentar problemas de estabilidade.

Fonte: Adaptado de Antunes et al. (2013).

2.3 Problemas geológico-geotécnicos em rodovias

Os principais problemas de caráter geológico- geotécnico que podem afetar os taludes rodoviários do estado de São Paulo a saber são: erosão; escorregamentos; escorregamentos em aterro; queda ou rolamento de blocos (MANUAL DE GEOTECNIA, 1991).

2.3.1 Erosão

A erosão do solo é um fenômeno natural de quebra de estrutura do solo e sua remoção se dá dentro de uma dinâmica natural na superfície terrestre. Todavia, esse fenômeno natural é intensificado pela ação antrópica por meio da supressão da cobertura vegetal levando à exposição do solo à ação dos agentes intempéricos.

A erosão do solo pode evoluir para sulcos e boçorocas nos taludes de corte e comprometer a segurança das rodovias. O desenvolvimento de processos erosivos depende de fatores externos e internos, conforme Tabela 5.

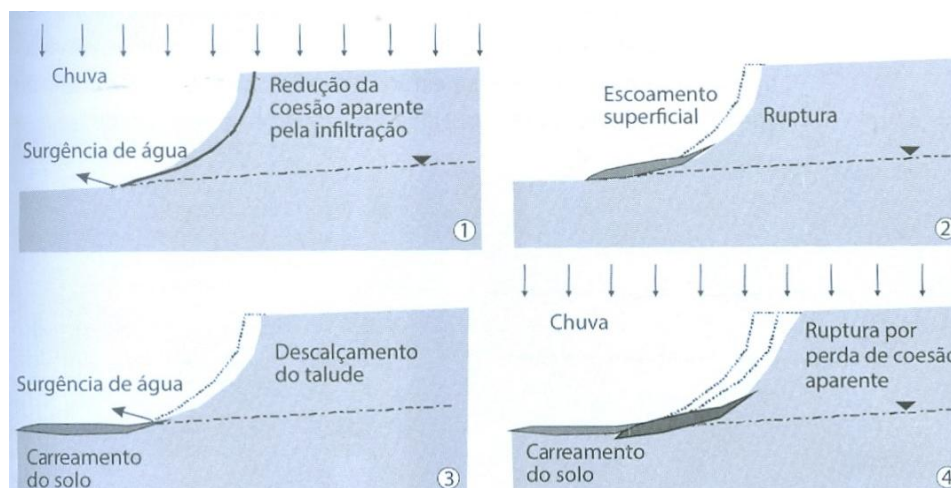
Tabela 5- Fatores condicionantes de processos erosivos

Fatores externos	<ul style="list-style-type: none">- Potencial de erosividade da chuva;- Condições de infiltração;- Escoamento superficial;- Topografia (declividade e comprimento da encosta).
Fatores internos	<ul style="list-style-type: none">- Fluxo interno;-Tipo de solo;- Desagregabilidade;- Erodibilidade;- Características geológicas e geomorfológicas;- Presença de trincas de origem tectônica;- Evolução físico-química e mineralógica do solo.

Fonte: Gerscovich (2016).

Os mecanismos atuantes num processo erosivo atuam de modo isolado ou em conjunto. De acordo com Gerscovich (2016), o conhecimento dos mecanismos que comandam o processo erosivo ao longo do tempo é complexo, uma vez que derivam de fenômenos como: erosão superficial, erosão subterrânea, solapamento, desmoronamento e instabilidade de taludes devido ao processo de saturação do mesmo. Os fatores referentes à presença de água no solo serão abordados de forma mais detalhada posteriormente, porém fato relevante é a sua influência na diminuição da sucção, gerando-se perda na resistência do solo e conseqüentemente a ruptura de taludes naturais ou construídos. A Figura 3 retrata o avanço do processo erosivo num talude.

Figura 3- Esquema da evolução do processo erosivo em um talude.




Fonte: Futai; Almeida; Lacerda, 2005 apud Gerscovich, (2016).

De maneira geral, parte dos problemas que ocorrem ao longo das rodovias é ocasionado pelas erosões. O combate a essa degradação ambiental necessita de acompanhamento e constantes correções, principalmente da cobertura superficial e do sistema de drenagem para se evitar a saturação do solo e conseqüentemente a perda de sua resistência. Pelo Manual de Geotecnia do DER (1991) classifica-se a erosão em rodovias da seguinte maneira:

- Erosão em talude de corte ou aterro: em sulcos (em cortes e aterros) e diferenciada (em cortes);
- Erosão em plataforma: longitudinal, ao longo do acostamento;
- Erosão associada a obras de drenagem: localizada no final de canaletas, valetas, sangras e na saída de linhas de tubo;
- Erosão interna em aterros (*piping*): por estar associada a problemas na fundação ou no aterro.

Para Bandeira (2003) os fatores naturais condicionantes das erosões são: a chuva, ausência de vegetação, relevo, morfologia, propriedades do solo e características litológicas. A textura, a estrutura e a permeabilidade são propriedades que afetam a erodibilidade do solo, dessa forma, por meio de uma análise granulométrica pode-se compreender o comportamento do solo frente aos processos erosivos. A Tabela 6 apresenta a suscetibilidade à erosão de acordo com o tipo de solo.

Tabela 6- Suscetibilidade à Erosão de Acordo com o Tipo de Solo.

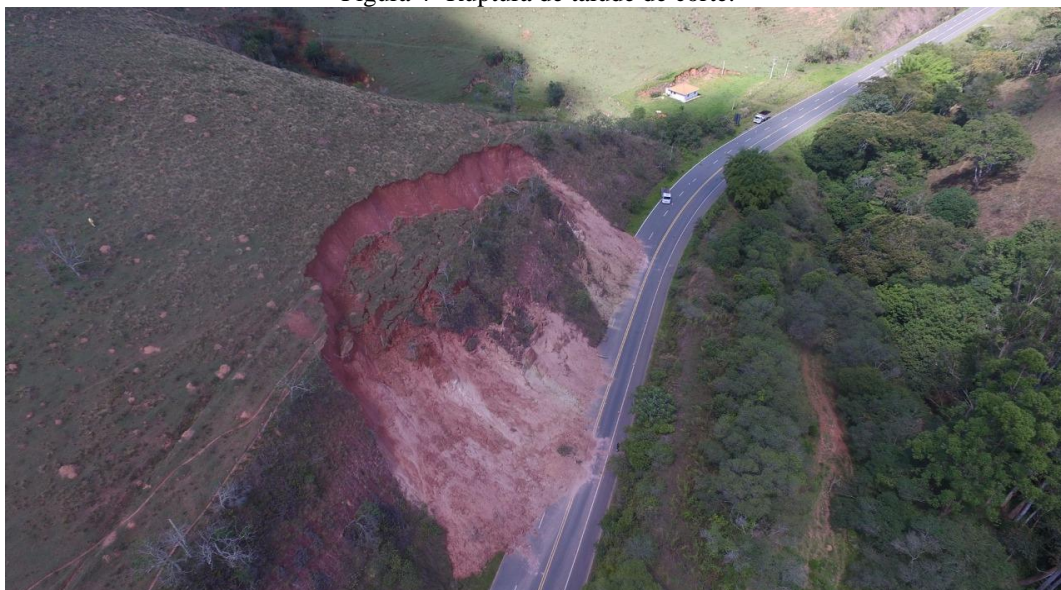
SÍMBOLO	DESCRIÇÃO DO SOLO	ERODIBILIDADE
GW	Pedregulho e mistura de pedregulho e areia, bem graduados, com poucos ou sem finos	Menos Erodível  Mais Erodível
GP	Pedregulhos e mistura de pedregulho e areia, mal graduados, com poucos ou sem finos	
SW	Areias e areias pedregulhosas, bem graduadas, com poucos ou sem finos	
GM	Cascalho siltoso, misturas de cascalho, areia e silte.	
CH	Argilas inorgânicas de plasticidade elevada, argilas gordas	
CL	Argilas inorgânicas de plasticidade baixa ou média, argilas, pedregulhosas, argilas arenosas, argilas siltosas, argilas magras	
OL	Siltes orgânicos, siltes e argilas orgânicas de plasticidade baixa	
MH	Siltes inorgânicos, solos arenosos finos ou siltosos mecáceos e diatomáceos, solos elásticos	
SC	Areas argilosas	
SM	Areas siltosas	
ML	Siltes inorgânicos e areias muito finas, pó-de-pedra, areias finas siltosas ou argilosas, e siltes argilosos pouco plástico.	

Fonte: Loppes Trilho (1999) apud Bandeira (2003).

2.3.2 Escorregamentos

Os escorregamentos, segundo Gerscovich (2016) ocorrem quando as tensões cisalhantes mobilizadas na massa de solo atingem a resistência ao cisalhamento do material, a ruptura ocorre pela superfície que possui a menor resistência. O Manual de Geotecnia (1991) traz que as principais causas de escorregamentos em cortes que são: inclinação acentuada, Figura 4; descontinuidades do maciço; saturação; evolução de erosão; e presença de corpus de tálus.

Figura 4- Ruptura de talude de corte.



Fonte: DER (2017).

A Tabela 7 apresenta os mecanismos deflagradores dos movimentos de massa.

Tabela 7- Classificação dos fatores deflagradores dos movimentos de massa.

Ação	Fatores	Fenômenos geológicos/antrópicos
Aumento da solitação	Remoção de massa (lateral ou de base)	Erosão Escorregamentos Cortes
	Sobrecarga	Peso da água de chuva, neve, granizo etc. Acúmulo natural de material (depósitos) Peso da vegetação Construção de estruturas, aterros etc.
	Solicitações dinâmicas	Terremotos, ondas, vulcões etc. Explosões, tráfego, sismos induzidos.
	Pressões laterais	Água em trincas Congelamento Material expansivo
Redução da resistência ao cisalhamento	Características inerentes ao material (geometria, estruturas etc.)	Características geomecânicas do material
	Mudança ou fatores variáveis	Ação do intemperismo provocando alterações físico-químicas nos materiais originais, causando quebra das ligações e gerando novos minerais com menor resistência. Processos de deformação em decorrência de variações cíclicas de umedecimento e secagem, reduzindo a resistência. Variação das poropressões. Elevação do lençol freático por mudanças no padrão natural de fluxo (construção de reservatórios, processos de urbanização etc.) Infiltração de água em meios não saturados causando redução das pressões de água negativas (sucção). Geração de excesso de poropressão, como resultado de implantação de obras. Fluxo preferencial através de trincas ou juntas, acelerando os processos de infiltração.

Fonte: Varnes (1978) apud Gerscovich (2016).

2.3.3 Escorregamentos em aterros

Com a implantação de uma obra linear é frequente a ocorrência de pontos os quais ocorrem movimento de massa. Isso está associado a problemas na fundação, problemas no aterro, e problemas com os sistemas de drenagem e proteção superficial (MANUAL DE GEOTECNIA, 1991). Rupturas em taludes de aterro são evidenciadas em períodos de chuva, pois a rodovia tende a ser um escoadouro das águas recebidas de áreas adjacentes a estrada. Dessa forma, a orientação das águas pluviais por meio de um eficiente sistema de drenagem, que parte do conhecimento da origem e destino das águas que afetam a rodovia, garante a durabilidade e segurança das rodovias. A Figura 5 apresenta a ruptura de um talude de aterro localizado na Rodovia SP-171 em 20 de Outubro de 2019.

Figura 5- Ruptura de talude de aterro na SP-171 - Cunha/SP-2019.



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2019).

Para Lemes (2001), os problemas encontrados em taludes de aterros são semelhantes aos encontrados nos taludes de corte, porém ressalva as seguintes diferenças:

- Maior inclinação dos aterros ocasiona uma maior penetração da água de chuvas dentro do solo o que gera acréscimo da poro-pressão e afeta a estabilidade;
- A compactação é frequentemente deficiente na borda, criando uma camada superficial de material mais fofo, mais permeável e de menor resistência.

2.3.4 Queda ou rolamento de blocos

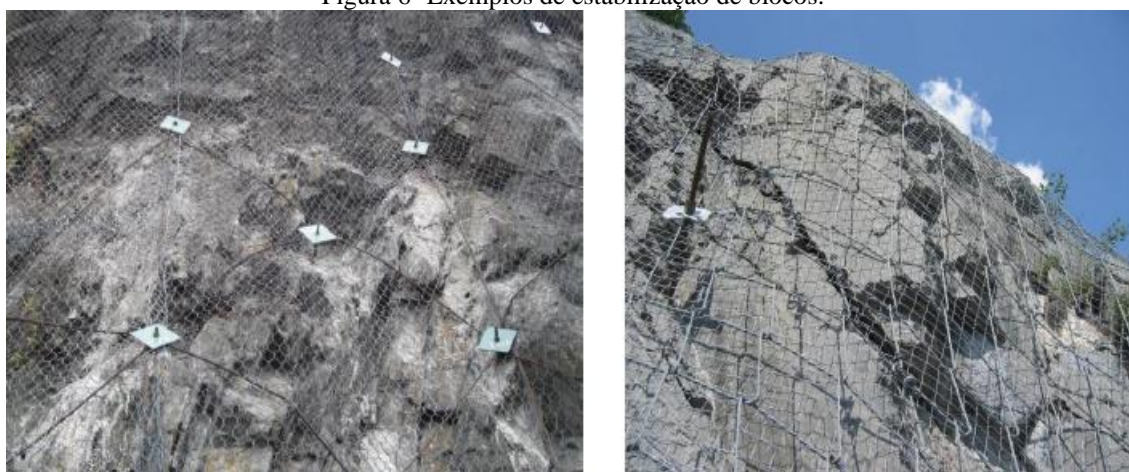
A queda de blocos em taludes rodoviários é um evento alarmante devido à rapidez com que acontecem, podendo atingir a pista com facilidade (GOMES, 2009). Este processo está associado às encostas rochosas abruptas ou a taludes de corte em rocha são ou pouco alterada, sendo decorrência de duas situações, a saber: descontinuidades do maciço rochoso (xistosidade) que propiciam o isolamento de blocos unitários de rocha; e

queda de blocos que ocorrem em rochas sedimentares quando camadas de arenito, siltito e argilito estão intercaladas. (MANUAL DE GEOTECNIA, 1991).

Flórez Gálvez (2012) destaca que o deslocamento de blocos ocorre em função da declividade e também devido a geometria da superfície do talude e do bloco, sendo o intemperismo físico e químico elementos fundamentais para o incremento da ocorrência de quedas de blocos. Guidicini e Nieble (1983) atribuem as quedas de blocos principalmente à ação alternada de congelamento e degelo ao longo de fraturas e juntas. Essa alteração é proveniente de ciclagem térmica; ação erosiva de veículo aquoso; desconfinamento lateral; alívio de tensões de origem tectônica; vibrações; e por empuxo hidrostático ao longo de juntas verticais (GUIDICINI E NIEBLE, 1983).

As medidas recomendadas para evitar-se o fenômeno de quedas de blocos são: remoção manual e individual de blocos instáveis, fixação dos blocos instáveis por meio de chumbadores ou tirantes, proteção com tela metálica com ou sem gunita, Figura 6, e impedimento da ocorrência da ciclicidade mediante proteção superficial com tela e gunita ou do confinamento utilizando solo compactado (MANUAL DE GEOTECNIA, 1991).

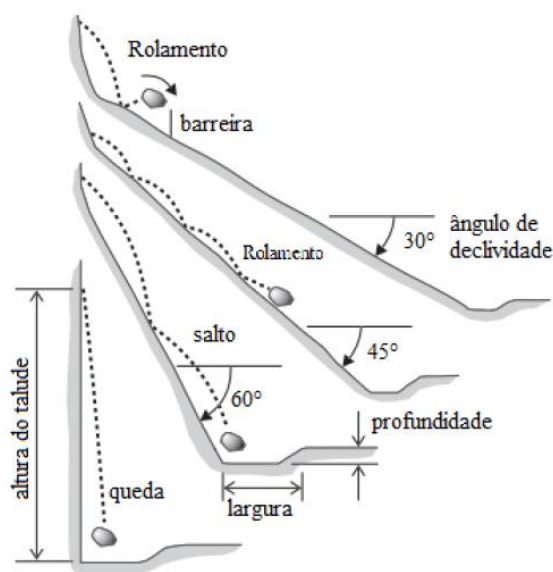
Figura 6- Exemplos de estabilização de blocos.



Fonte: Geobrugg (2012).

A Figura 7 apresenta exemplos de deslocamento de blocos em taludes.

Figura 7- Relação do ângulo do talude com o tipo de trajetória de queda.



Fonte: Ritchie (1963) apud Floréz Galvez (2012).

2.4 Retenção de água no solo

A ocorrência de deslizamentos de terra está frequentemente relacionada a períodos de elevados índices pluviométricos e isso se deve ao papel preponderante que a água exerce sobre o comportamento do solo, tal importância encontra-se minuciosamente tratada por Libard (2005) e Carvalho et al. (2015). Dentre os conhecimentos fundamentais para entendimento do papel da água no solo está a capacidade do solo em reter água e no fenômeno de sucção. Tais informações são determinadas por ensaios de campo e de laboratório.

Segundo Carvalho et al. (2015) o comportamento hidromecânico dos solos está diretamente relacionado à composição química-mineralógica e às características estruturais que possuem. A mineralogia, por exemplo, apresenta grande importância no estudo de retenção de água no solo, pois está associada às propriedades físico-químicas dos minerais. Carvalho et al. (2015) descrevem também a influência da sucção e como ela afeta a retenção de água no solo. No caso da retenção de água que ocorre devido à natureza física, como nos minerais mais granulares como o quartzo, ocorre o efeito de capilaridade que dependerá da distribuição granulométrica, da porosidade e da distribuição dos poros no solo. Já nos minerais menores, como os argilominerais, a retenção de água ocorre devido à natureza química ocorrendo à sucção.

No caso de solos não saturados, a atração entre as partículas, gerada pela tensão superficial da água e a superfície das partículas, forma uma membrana contráctil, devida à tensão capilar que aumenta as tensões efetivas no contato entre as partículas. Com a perda de umidade e redução do grau de saturação, ocorre a ampliação de forças atrativas responsáveis pela coesão (CARVALHO et al., 2015).

Libardi (2005) afirma que o solo retém a água no seu espaço poroso com forças cujas intensidades aumentam conforme a quantidade de água nele diminui. Tais forças ocorrem devido a matriz do solo, denominadas de forças mátricas, distinguindo-se em dois tipos, sendo: forças capilares e forças de adsorção.

No solo, a água pode estar nos poros na condição livre ou adsorvida ou contida na estrutura cristalina dos minerais, sendo a energia necessária para a remoção de uma unidade de massa de água denominada de potencial total. O potencial total de água no solo é dado pela soma do potencial de pressão, pelo potencial gravitacional, pelo potencial osmótico e pelo potencial matricial (CARVALHO et al., 2015). A Tabela 8 apresenta a definição dos principais potenciais de água no solo.

Tabela 8- Potencial de água no solo.

Tipo de potencial	Definição
Potencial de pressão	Ocorre onde há tensões efetivas.
Potencial gravitacional	Devido a aceleração da gravidade e a altura em relação ao nível de referência.
Potencial osmótico	Atua na solução coloidal do solo por conter íons livres hidratados ou adsorvidos na superfície dos minerais em constante troca com o meio e interação com a água.
Potencial matricial	Deve-se à força de adsorção ou ao efeito capilar.

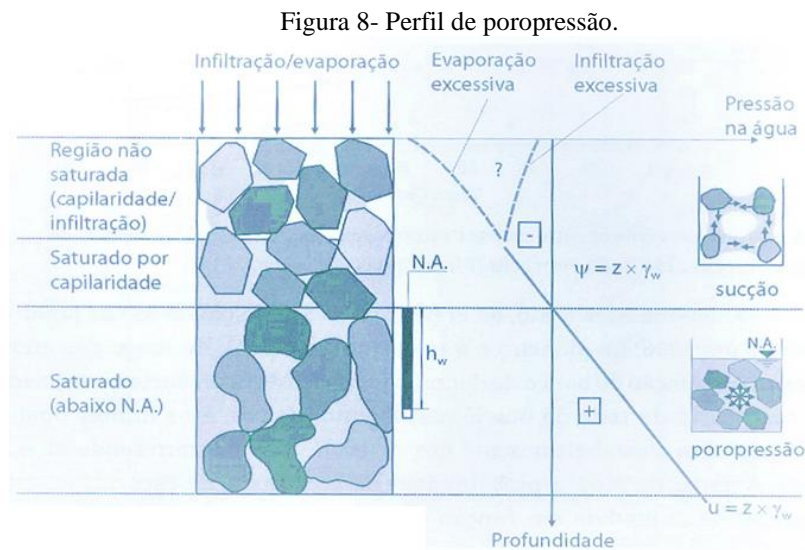
Fonte: Adaptado de Carvalho et al. (2015).

O conceito de potencial capilar é frequentemente utilizado na engenharia geotécnica, o qual refere-se a energia necessária para deslocar uma unidade de água, em sentido oposto aos das forças capilares, de um local até o nível da água livre, que por sua vez está sujeita à pressão atmosférica (LIBARDI, 2005; MACHADO E VILAR, 2015).

2.4.1 Sucção de água no solo

A sucção, também denominada de pressão negativa, ocorre acima do nível d'água na zona não saturada do perfil do solo, Figura 8. As pressões negativas atuam como

agentes de atração das partículas, dessa forma, na região não saturada, o solo ganha uma resistência adicional devido à presença da sucção (GERSCOVICH, 2016).



Fonte: Gerscovich (2016).

A sucção pode ocorrer também na zona saturada por capilaridade, correspondendo ao produto entre a altura da coluna d'água (h_w) e o peso específico da água (γ_w) de acordo com equação 1.

$$\Psi = - (\gamma_w \times h_w) \quad (1)$$

Já na região não saturada, a sucção está relacionada ao volume de água presente nos vazios, podendo ser quantificada em termos de grau de saturação, teor de umidade gravimétrico ou teor de umidade gravimétrico (GERSCOVICH, 2016).

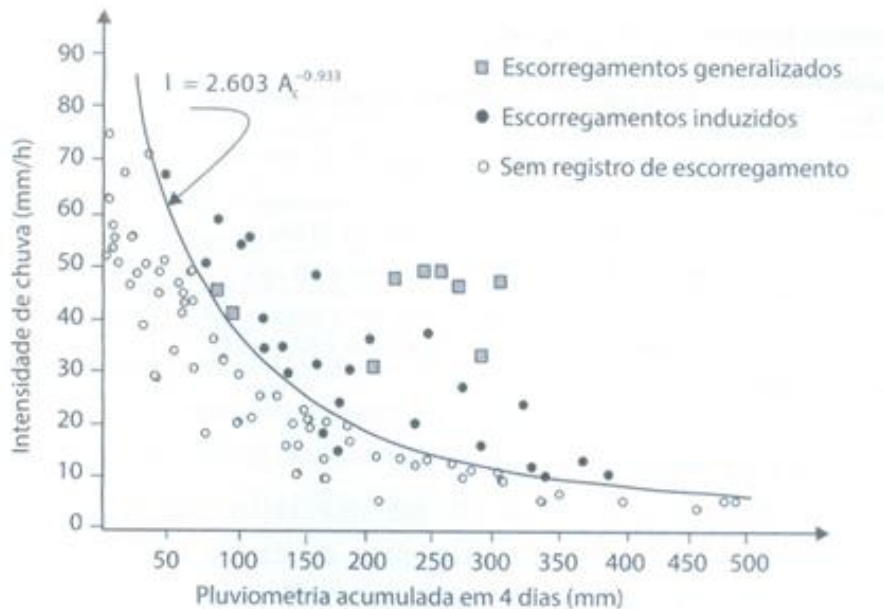
Em suma, a sucção no solo pode então ser influenciada pelo estado de tensões a que o solo está submetido, pela granulometria e seu arranjo estrutural, pela mineralogia, pela porosidade total e pela distribuição dos poros. (KLUTE, 1986; SOUSA, 2006 apud CARVALHO et al., 2015).

2.5 Relação chuva x escorregamento

Em períodos chuvosos, a Serra do Mar apresenta grande potencial de movimentação de massa. A relação entre os movimentos de massa na Serra do Mar com o período chuvoso foi analisada por Tatizana, Ogura e Cerri (1987) apud Chaves (2016), com a

proposta de definir o número de dias, anteriores aos eventos de escorregamentos observados na região de Cubatão/SP que apresentaram influência efetiva de chuva. Tais estudos foram relacionados à eventos de chuva no período de 1956 a 1986 (30 anos), cujos valores deveriam ser superiores a 100 mm em 1 (um) dia, 150 mm em 2 (dois) dias e 200 mm em 3 (três) dias. Foram selecionados 35 (trinta e cinco) eventos dentre eles 18 (dezoito) com registros de escorregamentos. Para os 35 eventos, foram coletados dados horários de chuva relativos a um período de sete dias anteriores a cada evento e a um dia posterior. A Figura 9 mostra a correlação entre chuva e ruptura de taludes ocorridos na Serra do Mar na Região de Cubatão/SP.

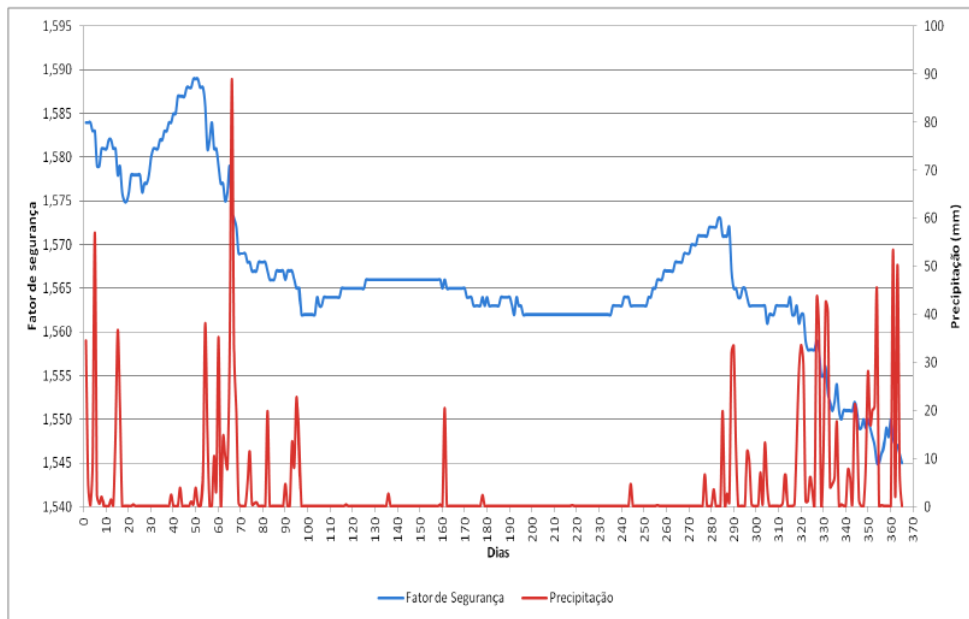
Figura 9- Correlação chuva e ruptura de taludes ocorridos na Serra do Mar - Cubatão – SP.



Fonte: Tatizana, Ogura e Cerri, (1987) apud Chaves (2016).

É de consenso que o processo de infiltração da água de chuva tem impacto direto na estabilidade do talude (GERSCOVICH, VARGAS JÚNIOR E CAMPOS, 2015; CHAVES, 2016; TEIXEIRA, 2014). A Figura 10 mostra um exemplo dessa relação, em que, em um período de 1 ano, foram monitoradas chuvas e as variações nos perfis de poropressão. Como resultado, o fator de segurança se altera ao longo dos eventos pluviométricos e da redistribuição de poropressão (TEIXEIRA, 2014).

Figura 10- Efeito da infiltração da chuva na estabilidade.



Fonte: Teixeira (2014).

Como a chuva afeta a estabilidade dos taludes, busca-se determinar a relação entre chuva x escorregamento adequada para uma determinada localidade, como o caso dos deslizamentos ocorridos em Marappalam na Índia em 2009 em decorrência dos altos índices pluviométricos decorrentes nos 5 dias antecedentes aos eventos de deslizamentos de terra. Os autores concluíram que para aquela localidade os limiares de precipitação potenciais para provocar deslizamentos são de 225 mm por dia e de 110 mm antecedentes de 5 dias de chuva (SENTHILKUMAR; CHANDRASEKARAN; MAJI, 2017). No caso da Serra do Mar confrontando-se as datas de ocorrências dos deslizamentos com as condições de pluviosidade, Ross, Junqueira e Santos (2014) constataram que dentre os fatores que possibilitam processos de movimentação de massa estão os grandes volumes de chuvas acumuladas em vários episódios de chuvas ao longo de alguns dias consecutivos, seguidos de episódios de longa duração em um só dia (acima 150/200mm/dia) e que no acumulado de três ou quatro dias valores que somam entre 250 a 400mm.

O Rio de Janeiro, referência nacional, implantou um sistema de alerta que relaciona a intensidade da chuva com a probabilidade de ocorrência de escorregamentos, Tabela 9.

Tabela 9 - Critérios pluviométricos operacionais utilizados pelo Sistema de Alerta.

Intensidade de chuva	Probabilidade de ocorrência de escorregamentos		
	MÉDIA	ALTA	MUITO ALTA
mm/h	10 a 30 mm	30 a 50 mm	>50mm
mm/24h	50 a 100 mm	100 a 175 mm	>175mm
mm/96h	100 a 175 mm e 10 a 30 mm/24h	175 a 250 mm e 30 a 50 mm/24h	>250mm e >100 mm/24h

Fonte: Gerscovich, Vargas Júnior e Campos (2015).

Futai et al. (2012) apontaram a correlação existente entre pluviometria acumulada e duração da chuva com a ocorrência de escorregamentos de terra. Destacaram que quanto maior a pluviometria acumulada, a chuva deflagrada do escorregamento é proporcionalmente menor e que quanto maior a duração da chuva, menor é a intensidade de chuva requerida para causar o escorregamento, considerando -se sempre a capacidade de infiltração do solo e os condicionantes geológicos e geotécnicos e o estado do solo na condição inicial de infiltração.

Na Tabela 10 têm-se as principais referências, consideradas clássicas, da literatura brasileira no que diz respeito à relação entre chuva e movimento de massa. Observa-se que essa relação não é recente e que há tempos é objeto de preocupação devido aos inúmeros casos de deslizamentos de terra que ocorrem em períodos chuvosos.

Tabela 10- Relação chuva x escorregamentos - Referências.

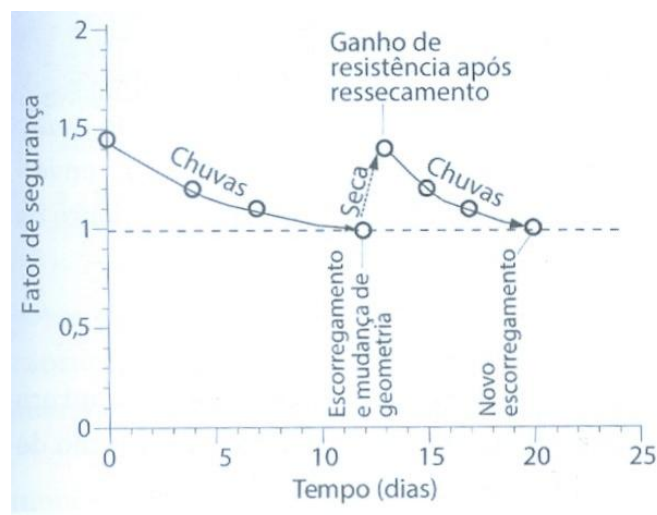
Referência	Local	Período	Critério para definição de evento pluviométrico	Análise/Correlação
Guidicini e Iwasa (1976)	São Paulo (9 áreas) e Rio de Janeiro (1 área)	1928 a 1976 (48 anos)	Acumuladas de chuva a partir de 130mm + ou - 7%	Definição de zonas A, B, C, e D em função da média de chuva anual, as precipitações até o dia anterior ao evento (Cc) e a precipitação do evento (Cf)
Tatizana et al. (1987)	Serra do Mar, Cubatão (SP)	1956 a 1986 (30 anos)	1 dia ≥ 100 mm 2 Dias ≥ 150 mm 3 3 dias ≥ 200 mm	Correção: mm/24 x mm/ 4 dias $I_{(mm/dia)} = 2.6603 A_c^{-0.933}$
D` Orsi (2011)	Serra dos Órgão, Teresópolis (RJ)	1956 a 1986 (30 anos)	Início: 1h ≥ 20 mm Fim: 4 h ≤ 5 mm	mm/h x mm/24h $I(mm/h) = 620,7 I(mm/dia) - 0,71$

Fonte: Adaptado de Chaves (2016)

Como observado no deslizamento de terra ocorrido na Rodovia SP-171 (RAMOS et al., 2019), as chuvas diminuem o fator de segurança do talude podendo levá-lo à ruptura

devido à redução da sucção e consequentemente da coesão aparente. De maneira oposta, o ressecamento aumenta o fator de segurança. Deste modo, os períodos de seca e de chuva mudam o fator de segurança de um talude de forma sazonal, conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11- Variação do fator de segurança com o tempo.



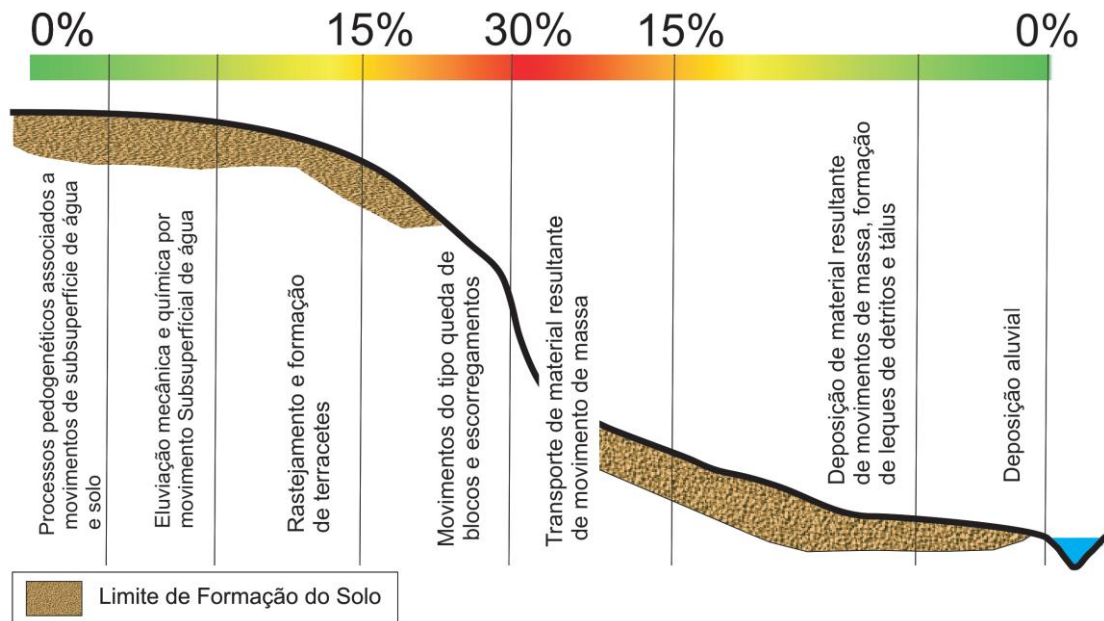
Fonte: Gerscovich (2016).

2.6 Suscetibilidade à movimentação de massa

A suscetibilidade a escorregamentos de terra é entendida como sendo a disposição, a tendência ou a sensibilidade que uma determinada área geográfica tem em sofrer este tipo de evento (SILVA, 2014). A suscetibilidade de um determinado local pode ser classificada em quantitativa ou qualitativa, ponderando a frequência dos registros, o volume, e a distribuição espacial dos processos existentes ou com potencial de ocorrência.

De acordo com Diniz et al. (2012) para realizar o zoneamento de suscetibilidade é necessário um grau de interpretação das propriedades geotécnicas como geomorfologia, geologia, pluviometria, vegetação e fatores antropogênicos como desmatamento e uso e ocupação do solo. Os processos geodinâmicos que ocorrem em uma vertente de acordo com a declividade estão dispostos na Figura 12.

Figura 12- Processos geomorfológicos dominantes em uma vertente.



Fonte: Modificado de Clark e Small, (1982) apud Mandai (2012).

2.7 Cartografia Geotécnica

Mediante aos riscos geológicos que frequentemente afetam as rodovias, a cartografia geotécnica contribui para determinação de áreas as quais o meio físico apresenta processos como erosão e escorregamentos. Duas linhas de abordagem são adotadas no método de mapeamento geotécnico, a saber: analítica e sintética. O meio físico na abordagem sintética é tido como um conjunto de fatores indissociáveis cuja relação e inter-relação são consideradas de forma integrada. Já na abordagem analítica, o meio físico é subdividido de acordo com suas partes componentes (atributos) que após mapeadas serão agrupadas na totalidade (DINIZ et al., 2012).

A Tabela 11 apresenta a relação entre atributos utilizados para movimentos gravitacionais com a carta geotécnica.

Tabela 11- Relação entre atributos e a carta geotécnica de potencial movimentos de massa gravitacionais.

Atributo	Carta geotécnica
Águas superficiais	-Escoamento superficial; -Infiltração; -Áreas de acúmulo de águas; -Densidade de canais/km.
Águas subterrâneas	-Gradiente hidráulico; -Fontes naturais (posição natural); -Escoamento básico.
Morfometria	-Amplitude de relevo; -Declividade; -Direção e sentido da maior declividade.
Morfologia	-Feições do terreno; -Formas das encostas ou das feições do terreno (vertical e longitudinal); -Comprimentos das encostas ou das feições do terreno.
Substrato Rochoso	-Litologia; -Distribuição (em área e em profundidade); -Estruturas (descontinuidades); -Grau de intemperismo; -Resistência mecânica.
Evidências de processos	-Subsidências.
Materiais inconsolidados (atributos gerais)	-Origem (residual e retrabalhado); -Variação em profundidade; -Distribuição em área; -Textura; -Mineralogia básica.
Materiais inconsolidados (atributos especiais)	- Expansibilidade; - Colapsibilidade; -Condutividade Hidráulica; -Resistência Mecânica.
Feições do tecnógeno	-Áreas de aterros e entulhos; -Antigos depósitos de rejeitos e resíduos.
Vegetação (natural e antrópica)	-Profundidade das raízes; -Capacidade de retenção de água em superfície.
Climáticos	-Pluviosidade; -Evatranspiração real e potencial; -Intensidade pluviométrica.
Processos antrópicos superficiais recentes	-Cordões de nível; -Áreas com irrigação.

Fonte: Adaptado de Zuquette (2004).

As metodologias utilizadas para o zoneamento geotécnico estão apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12- Principais metodologias para zoneamento geotécnico.

Metodologia	Característica
IAEG (1976)	Classifica os mapas em função do conteúdo, da escala e da finalidade. Os fatores a serem considerados são: o caráter das rochas e solos, as condições hidrogeológicas, as condições geomorfológicas e outros.
PUCE (1970)	Caracteriza-se pela definição de cada classe através de uma nomenclatura específica, no qual números são determinados para cada atributo e classe, com a formação de uma sequência.
MATULA (1976)	O ambiente geotécnico-geológico é abordado em quatro componentes, sendo: unidades litológicas, hidrogeologia, geomorfologia, geodinâmica.
IPT (1995)	Identifica as principais características dos materiais geológicos (solos e rochas), e determina zonas homogêneas e os processos envolvidos com a finalidade de tecer considerações sobre as possíveis medidas preventivas, reparadoras e minimizadoras dos problemas ambientais identificados.
EESC/USP	Está dividida em três fases: levantamento e análise das informações produzidas anteriormente (inventário), reconhecimento dos atributos (diagnóstico) e identificação de unidades homogêneas (prognóstico).

Fonte: Adaptado de Mandai (2012).

É obrigatório que os municípios do estado de São Paulo elaborem o Plano Diretor e, para tanto, devem considerar as diretrizes das cartas geotécnicas (BITAR, 2015). Como é o caso dos municípios de Guaratinguetá/SP e Cunha/SP os quais possuem áreas suscetíveis a processos geológicos ou hidrológicos que podem gerar desastres naturais. Essa obrigatoriedade adveio com a Lei Federal 12.608/2012 (BRASIL, 2012) que estabelece a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC). A PNPDEC determina que no plano diretor dos municípios contenham o mapeamento das áreas suscetíveis (cujo produto deve ser o mapa ou carta de suscetibilidade), levando em conta as cartas geotécnicas (BITAR, 2015).

2.7.1 Álgebra de mapas

Os SIG's - Sistemas de Informação Geográfica, são um sistema de informação muito utilizados na análise ambiental. Por meio de atributos espaciais das entidades gráficas armazenadas na base de dados, é possível fazer simulações sobre fenômenos ocorridos no mundo real (CORDEIRO; BARBOSA; CÂMARA, 2007). Em ambiente SIG é possível cruzar informações cartográficas uma vez que cada pixel de cada mapa possui um valor numérico, e assim elaborar, por exemplo, cartas de suscetibilidade a escorregamentos de terra (BAZZAN, 2018; BENESSIUTI, 2011; SENTHILKUMAR; CHANDRASEKARAN; MAJI, 2017), de potencial de infiltração (COUTINHO, 2012; SOARES, 2005; CAMARINHA, 2011) de suscetibilidade erosiva (SILVA e MACHADO, 2014) que contribuem para análise ambiental.

O tema “álgebra de mapas”, foi popularizado a partir do livro “Geographic Information System and Cartographic Modeling” (TOMLIN, 1990 apud CORDEIRO; BARBOSA; CÂMARA, 2007) sendo esta a primeira abordagem em que se buscou explorar de maneira formal as propriedades dos dados representados em SIG. Os elementos da álgebra de mapas descrita por Tomlin (1990) consistem na associação de cada local de uma dada área um valor quantitativo (escalar, ordinal, cardinal ou intervalar) ou qualitativo (nominal) ficando o significado das operações ao encargo do operador (CORDEIRO; BARBOSA; CÂMARA, 2007). Dentre as operações possíveis de serem feitas em ambiente SIG estão as operações ditas “locais” que resultam em campos cujos valores são função de valores associados ao mesmo local por uma ou mais representações, como exemplo de operação local têm-se a ferramenta “Atribuir” que por meio de uma operação aritmética simples é possível ponderar mapas temáticos, como relevo, litologia, entre outros.

Pela operação de Ponderação cada local de uma área de estudo fica associado a um valor indicando o peso se cada classe temática. A Tabela 13 mostra uma operação de ponderação utilizada na programação em LEGAL do programa SPRING 5.5.3.

Tabela 13- Exemplo de ponderação de variáveis.

Variável	Valor
Depósitos aluviais	1
Formação Caçapava	2
Depósitos coluviais	3
Gnaisses embrechíticos	4
Suítes granitóides	4
Migmatitos	5

Fonte: Bazzan (2018).

Dentre as variáveis que condicionam a instabilidade estão: a precipitação, a geologia, litologia, relevo e a declividade que por meio de representação cartográfica e da ponderação dessas variáveis é possível analisar a suscetibilidade a escorregamentos de terra de um determinado local. Embora essa metodologia de uso de variáveis para determinação da suscetibilidade a movimentação de massa seja uma ferramenta de grande valia existe a limitação do uso de forma generalizada, pois as especificidades de cada local devem ser consideradas no momento da ponderação das variáveis. A título de exemplo temos as variáveis “Pedologia” e a “Litologia” sendo as variáveis da Bacia do Rio Bengalas que apresentaram os maiores índices de alta suscetibilidade a escorregamentos de terra (SILVA, 2014).

3 ASPECTOS DO MEIO FÍSICO

A estratigrafia da região onde a Rodovia SP-171 está inserida é complexa e diversificada. Apresenta-se nesse capítulo uma visão geral do trecho que liga os municípios de Guaratinguetá/SP à Cunha/SP e detalha a caracterização e descrição local dos aspectos do meio físico associados ao escorregamento ocorrido em 29/11/2017.

3.1 Localização da Rodovia SP-171

A Rodovia SP-171, em toda sua extensão, está localizada no Vale do Paraíba e liga os municípios de Guaratinguetá/SP à Paraty/RJ. A Figura 13 mostra o trecho da Rodovia SP-171 denominada de Rodovia Paulo Virgínio, trecho do km 0 ao trecho km 49, que liga o município de Guaratinguetá/SP ao município de Cunha/SP, sendo este trecho o objeto de estudo dessa presente pesquisa o qual está sob administração do DER-DR6 do Departamento de Estrada de Rodagem.

Figura 13 - Localização da Rodovia SP-171



Fonte: Adaptado de IPT (2018).

A Tabela 14 apresenta o volume diário de tráfego da Rodovia SP-171 no trecho de Guaratinguetá/SP à Cunha/SP.

Tabela 14- Volume Diário de Tráfego da SP-171

Volume Diário Médio de Tráfego (VDM)			
ANO	TIPO DE VEÍCULO		
	PASSEIO	COMERCIAL	TOTAL
2015	2.769	550	3.319
2016	2.803	556	3.359
2017	2.846	564	3.410
2018	2.868	568	3.436

Fonte: DER-SP (2019).

A pavimentação do segundo trecho da SP-171 denominado de Salvador Pacetti (do km 49 em diante) que liga o município de Cunha/SP à Paraty/RJ intensificou o tráfego nessa rodovia pela conexão do Vale do Paraíba ao litoral fluminense. Pela Tabela 14 pode-se observar que o volume de veículos trafegando a Rodovia teve aumento nos últimos quatro anos em ambos os tipos, comercial e passeio, isso se deve em parte ao crescente desenvolvimento turístico e comercial da região. A SP-171 possui alto grau de importância para a população local, principalmente para o município de Cunha/SP cuja ligação com os demais municípios é realizada única e exclusivamente por esta rodovia.

Na Rodovia SP-171 ocorrem frequentes interdições devido à movimentos de massa. Nos últimos dez anos ela foi interditada inúmeras vezes devido à queda de barreiras na pista. Vale ressaltar que todos esses casos ocorreram nos meses chuvosos, de outubro a março, conforme ANEXO 1.

A Tabela 15 apresenta as principais obras realizadas ao longo do trecho da rodovia analisado nessa presente pesquisa, ao longo dos últimos dez anos em decorrência dos movimentos de massa. Embora sejam frequentes as obras de estabilização de encostas ao longo da Rodovia, pelo levantamento de campo foi possível observar pontos críticos com deficiência de obras de contenção e drenagem, esses pontos serão detalhados e ilustrados no capítulo V dessa pesquisa.

Tabela 15- Registros de obras realizadas na SP-171

Objeto	Início
Execução de obras e serviços de implantação de dispositivos de obras de arte corrente e drenagem no km 47+000 (lado direito) da SP-171, no município de Cunha.	01/06/09
Execução das obras e serviços emergenciais de estabilização de taludes, contenção de encostas, recomposição de plataforma, reforço de drenagem e recuperação da pista da SP-171, trecho Guaratinguetá – Cunha, na altura do km 2+800m, km 17+350m, no município de Guaratinguetá.	22/04/09
Execução das obras e serviços de recapeamento da pista, pavimentação dos acostamentos e implantação de faixas adicionais (na serra da quebra cangalha) da SP-171, no trecho do km 000+000m ao km 019+600m, nos municípios entre Guaratinguetá e Rocinha, com 19,6 km de extensão.	17/05/10
Execução das obras e serviços emergenciais de recomposição e estabilização de taludes, drenagem e restauração do pavimento na altura dos quilômetros: 1) 24+500m (LE); 2) 24+800m (LE); 3) 24+900m (LE); 4) 30+100m (LE); 5) 31+800m (LD/LE); 6) 47+850m (LE); 7) 48+300m (LE); 8) 66+300m (LE); 9) 66+300m (LD); 10) 66+500m (LE); 11) 66+950m (LE) da SP-171 (Rodovia Paulo Virgínio), nos municípios de Guaratinguetá e Cunha.	16/08/10
Execução das obras e serviços emergenciais de recomposição e estabilização de taludes, drenagem e restauração do pavimento na altura dos quilômetros: 1) 25+000m (LE), 2) 35+300m (LE), 3) 38+700m (Ponte Rio Jacuí), 4) 48+500m (LE), 5) 48+500m (LD), 6) 49+600m (LE), 7) 49+650m (LE), 8) 54+500m (LE), 9) 57+400m (LD), 10) 57+500m (LD), 11) 66+200m (LE), 12) 66+200m (LD), 13) 66+500m (LD), da SP-171 – Rodovia Paulo Virgínio, no município de Cunha.	21/12/10
Execução das obras e serviços de recuperação da Rodovia Paulo Virgínio – SP-171, trecho Rocinha à Cunha, entre o km 19,600 e o km 48,900, com extensão de 29,30 km.	28/09/11
Reforma da base da polícia rodoviária – BOP 171/1, km 6,0+500, lado esquerdo, trecho: Guaratinguetá – Rocinha, no município de Guaratinguetá / SP.	25/10/11
Execução das obras e serviços de recapeamento da pista e pavimentação dos acostamentos da SP-171, do km 48,90 ao km 69,85, trecho Cunha até a divisa com o Estado do Rio de Janeiro.	20/08/12
Contratação das obras e serviços de recuperação de taludes na SP-171, entre os km 19,60 e o km 48,90, trecho Rocinha – Cunha.	25/02/14
Contratação de obras e serviços de limpeza, proteção, contenção com gabiões, drenagem e revestimento vegetal da SP-171, km 4+300 (LE), km 4+500 (LE), km 4+700 (LE) e km 30+300 (LD), municípios de Guaratinguetá e Cunha.	25/03/14
Contratação de Serviço para construção/instalação de Poço Artesiano, a ser executado na Base Operacional 171/1, localizada na SP-171, km 6+500 no município de Guaratinguetá/SP. Edital nº DR.6-015/2015.	15/10/15
Execução de obras e serviços emergenciais de recomposição e estabilização de talude de corte na altura do km 34+500m LD da SP-171 (Rodovia Paulo Virgínio), município de Cunha. Contratação direta nº 009/2017.	08/12/17

Fonte: DER-SP (2019).

3.1.1 Geologia

Na região onde está localizada a Rodovia SP-171 (área do município de Cunha/SP e Guaratinguetá/SP) ocorrem, basicamente, dois grandes grupos litológicos do embasamento cristalino (rochas migmatíticas e graníticas), além de sedimentos recentes (Quaternário) (IPT, 2010). No município de Cunha/SP, são verificados, basicamente, o Domínio Costeiro e o Domínio Embu, além do magmatismo relacionado ao orógeno Araçuaí - Rio Doce (PERROTTA et al., 2005).

O Domínio Costeiro engloba a faixa situada a leste/sudeste da zona de cisalhamento de Cubatão e tem suas rochas incluídas no denominado Complexo Costeiro. Trata-se de uma unidade bastante heterogênea, em que as rochas sofreram diferentes eventos de metamorfismo de fácies granulito e anfibolito, bem como migmatização e granitização em graus variáveis. Com o desenvolvimento da zona de cisalhamento de Cubatão, teria se estabelecido um metamorfismo dinâmico, que pode ser encontrado em zonas de cisalhamento com foliação milonítica, imprimindo foliação nos migmatitos de paleossoma gnáissico ou, ainda, xistos e filitos (IPT, 1981), conforme observado na área do município de Cunha/SP.

Já, o Complexo Embu é constituído principalmente de rochas migmatíticas derivadas em parte de afinidade Vulcano sedimentar, metamorfizadas predominantemente no grau médio a alto. Na área de estudo ocorrem filitos e quartzitos miloníticos; micaxistos; (granada)-sillimanita xistos (NPexm); biotita gnaisses; granada-sillimanita biotita milonito gnaisses migmatíticos; gnaisses peraluminosos e subordinadamente piroxênio gnaisses; granada gnaisse porfiroclástico; gnaisses peraluminosos e biotita gnaisses ortoderivados (NPepg).

A Rodovia SP-171 corta a Serra do Quebra Cangalha cuja geologia foi mapeada por Coutinho (2012) que como resultado da identificação de estruturas e análises petrográficas foram reconhecidas sete unidades litológicas distintas: Granada-sillimanitabiotita xisto migmatítico com intercalação de rochas calcissilicáticas, biotita paragnaisse migmatítico com intercalação de rochas calcissilicáticas, biotita ortognaisse porfirítico de composição monzogranítica, biotita-muscovita monzogranito leucocrático, biotititos microfaneríticos (diques máficos) e um plúton granítico pós-tectônico (Granito Aparecida).

A unidade Granitóide Quebra-Cangalha (SIMÕES et al., 2012) é constituída, predominantemente, por granitos leucocráticos, constituídos de minerais mais resistentes

à alteração, como o quartzo e o feldspato potássico. Devido à presença destes minerais, os solos originados destas rochas apresentam coloração esbranquiçada, de constituição areno-argilosa, com o predomínio de frações minerais mais grosseiras, que caracterizam os Cambissolos (SIMÕES et al., 2012). A Tabela 16 mostra a associação feita entre geologia, geomorfologia e tipo de solo e sua relação a vulnerabilidade aos processos naturais.

Tabela 16- Associação entre geologia, geomorfologia e tipos de solos e suas relações.

Unidade Geológica	Unidade Geomorfológica	Tipo de Solo	Riscos à Silvicultura	Vulnerabilidade aos Processos do Meio Físico
Rochas ígneas de composição granítica (correspondente a unidade Quebra-Cangalha)	Escarpas Alongadas	Solos rasos e pouco desenvolvidos, predominantemente arenosos (domínio de Cambissolos distróficos)	Processos erosivos lineares e escorregamentos	Alta

Fonte: Simões et al. (2012)

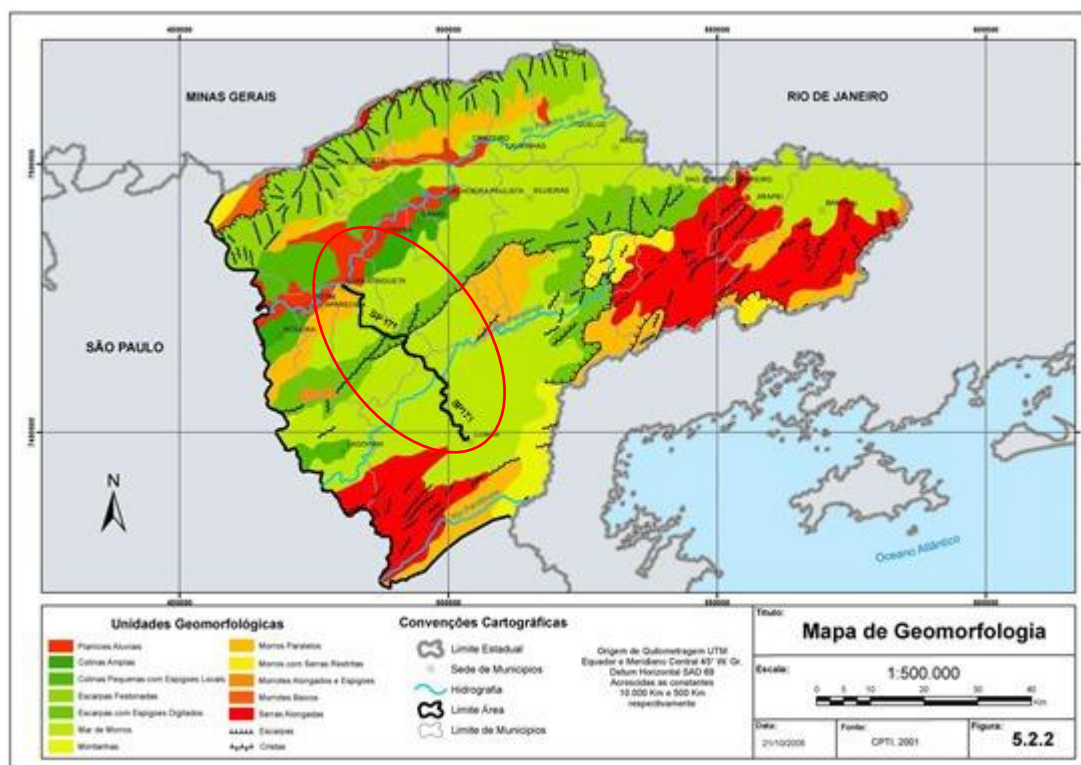
3.1.2 Geomorfologia

Por meio da forma como se apresenta o relevo é possível compreender a interação existente entre os processos que ocorrem no meio físico e a inter-relação de tais processos.

O local de estudo está inserido na Unidade Morfoescultural do Cinturão Orogênico do Atlântico, correspondendo a relevos sustentados por litologias diversas. De acordo com Ross e Moroz (2011), o modelado dominante do Planalto Atlântico constitui-se por formas de topos convexos, elevada densidade de canais de drenagem e vales profundos. Devido a diversidade litológica e complexidade geomorfológica do Planalto Atlântico, sua gênese geomórfica é tratada de acordo com quatro linhas de pensamento, sendo: modelos geomorfológicos erosivos com implicações tectônicas; linhagem com enfoque morfoclimático baseado nas mudanças climáticas Quaternárias; enfoque predominantemente tectônico associado com elementos geomórficos; e por processos geoquímicos. Embora essas abordagens contribuam para entendimento da gênese geomórfica do Planalto Atlântico nenhuma delas foi capaz de explicar totalmente a formação desse cinturão orogênico (VERVLOET; ROSS, 2012).

Pelo Mapa de Geomorfologia, Figura 14, nota-se que a região onde está inserida a SP-171 possui relevo diversificado com predomínio de colinas amplas, próxima à Serra Quebra - Cangalha, e por mares de morro.

Figura 14- Mapa de Geomorfologia com destaque para a localização da Rodovia SP-171



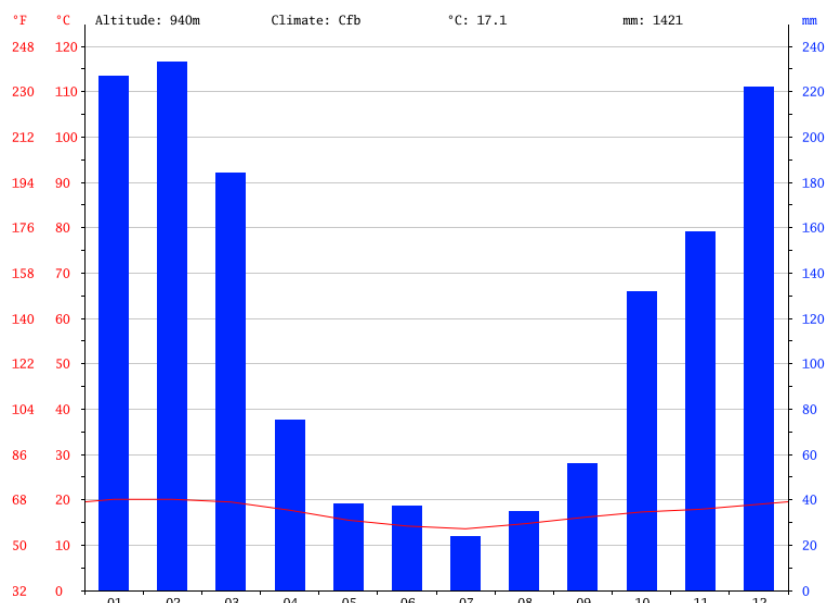
Fonte: Adaptado de Soares (2005).

O relevo na região da Serra do Quebra Cangalha é formado predominantemente por uma escarpa que age como um divisor de águas entre a região compreendida entre a Serra do Mar e a Serra do Quebra Cangalha e entre a Serra da Mantiqueira e a Serra do Quebra Cangalha (SOARES, 2005). Os relevos estão em zona de transição entre os Cambissolos e os Latossolos com presença também de Argissolos.

3.1.3 Clima

A região sofre influência dos efeitos da Serra do Mar, com massas de ar tropicais, que estabelecem um clima úmido (IPT, 2010). Pelo climograma, Figura 15, pode-se observar a distribuição pluviométrica no município, assim como a temperatura.

Figura 15- Climograma região de Cunha / SP



Fonte: Dados Climáticos para cidades mundiais (2020)

As precipitações anuais oscilam em torno de 1440 mm, sendo julho o mês mais seco com 24 mm e fevereiro o mês de maior precipitação com uma média de 233 mm. A diferença entre a precipitação do mês mais seco e do mês mais chuvoso é de 209 mm. A temperatura média anual é por volta de 16,5°C, sendo que no inverno a média é de aproximadamente 10°C e, no verão, 22°C. A umidade relativa média do ar alcança por volta de 85% na estação chuvosa (outubro a março), sendo inferior a esse valor no período menos chuvoso (abril a setembro) (CICCO et al., 2007 apud IPT, 2010).

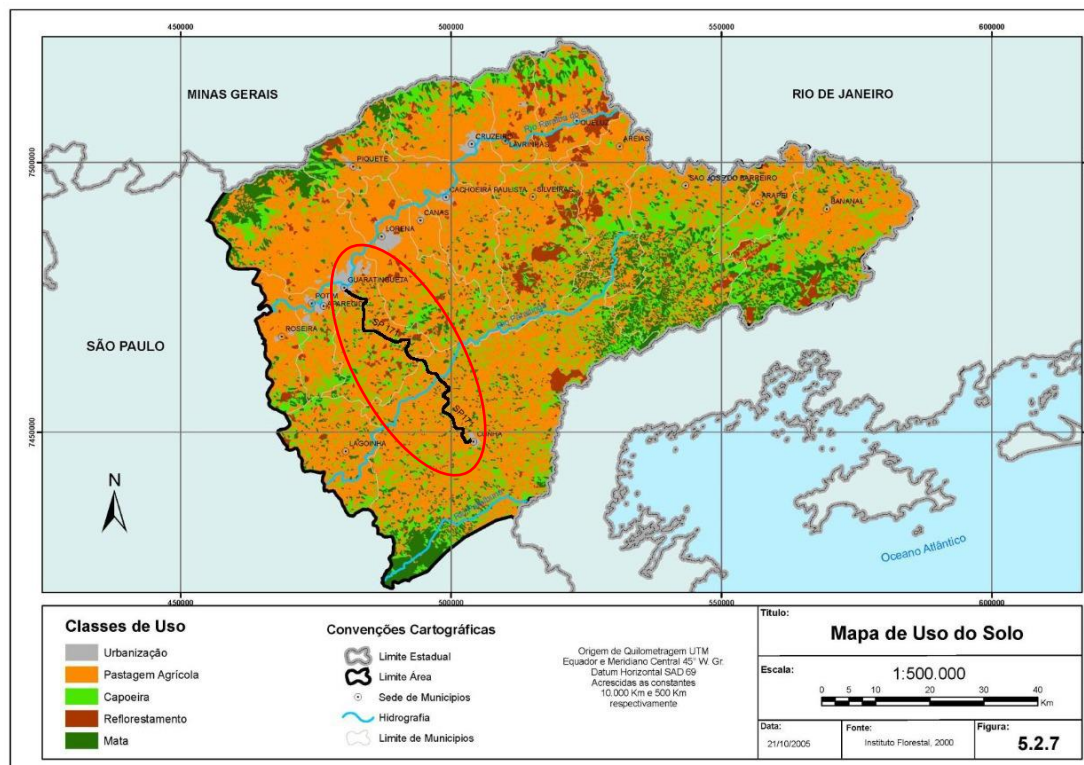
3.1.4 Uso e ocupação do solo

A análise do uso e ocupação do solo se faz importante para o entendimento das dinâmicas que ocorrem no meio ambiente, assim como para análise do comportamento do solo visto que a cobertura vegetal pode produzir efeitos na estabilidade das encostas.

O Mapa de Uso e Ocupação do Solo elaborado por Soares (2005), Figura 16, apresenta a Rodovia SP-171 inserida numa paisagem pouco preservada com predomínio para a classe de pastagem. De acordo com Soares (2005), as atividades agropastoris realizadas na região, de carácter extensivas, são estabelecidas de forma precária no que

diz respeito às medidas de conservação de solo, fato este que favorece os processos erosivos superficiais e subsuperficiais.

Figura 16- Mapa de Uso do Solo com destaque em vermelho para a localização da Rodovia SP-171.



Fonte: Adaptado de Soares (2005).

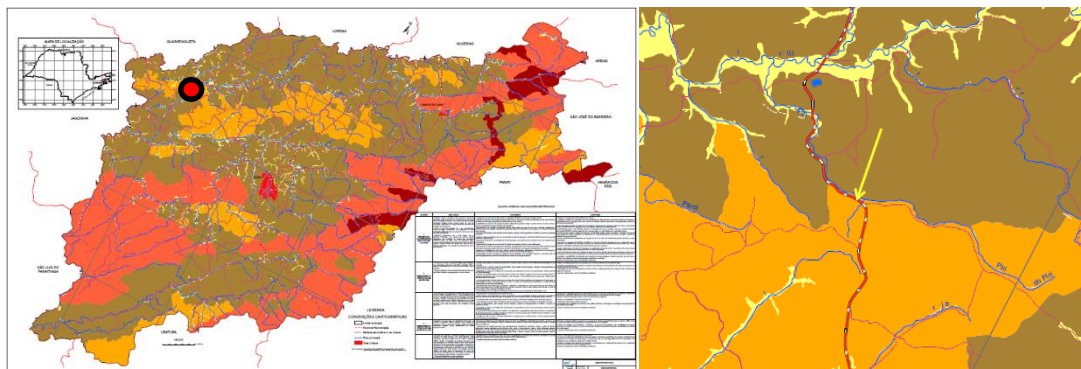
A falta de conservação da vegetação ao longo da rodovia foi percebida nas visitas a campo, principalmente em períodos secos os quais comumente ocorrem diversas queimadas na região. O solo exposto favorece os processos erosivos e a perda de estabilidade nos taludes de corte em períodos chuvosos.

3.2 Carta geotécnica

A Rodovia SP-171 está inserida numa unidade de embasamento cristalino em morrotes, Figura 17. Nesta unidade geotécnica ocorrem processos devido a desmatamentos; erosões em áreas desmatadas com concentração de água de drenagem superficial de chuva; escorregamento das vertentes, basicamente em decorrência de atividades antrópicas que estabelecem terraplenagem ou concentração de água, envolvendo ruptura de solo, ou queda de matações (em granitóides), ou queda de lajes (condicionada por fraturas ou xistosidade); e fornecimento de solo erodido e deposição

de material proveniente de movimentos de massa (escorregamentos e erosão) advindos de vertentes a montante (IPT, 2010).

Figura 17- Carta Geotécnica de Cunha/SP. ESCALA: 1:100 000.



Fonte: IPT (2010).

Os taludes em cortes e as encostas naturais adjacentes à Rodovia SP-171, no trecho do município de Cunha/SP ao trecho de Guaratinguetá/SP, sofrem com relativa frequência com problemas geotécnicos associados à movimentação de massa. Tal fragilidade foi abordada no trabalho de Pereira (1998) que apresentou a erosão e os escorregamentos de massa como os principais condicionantes para a falta de estabilização dos taludes nessa rodovia.

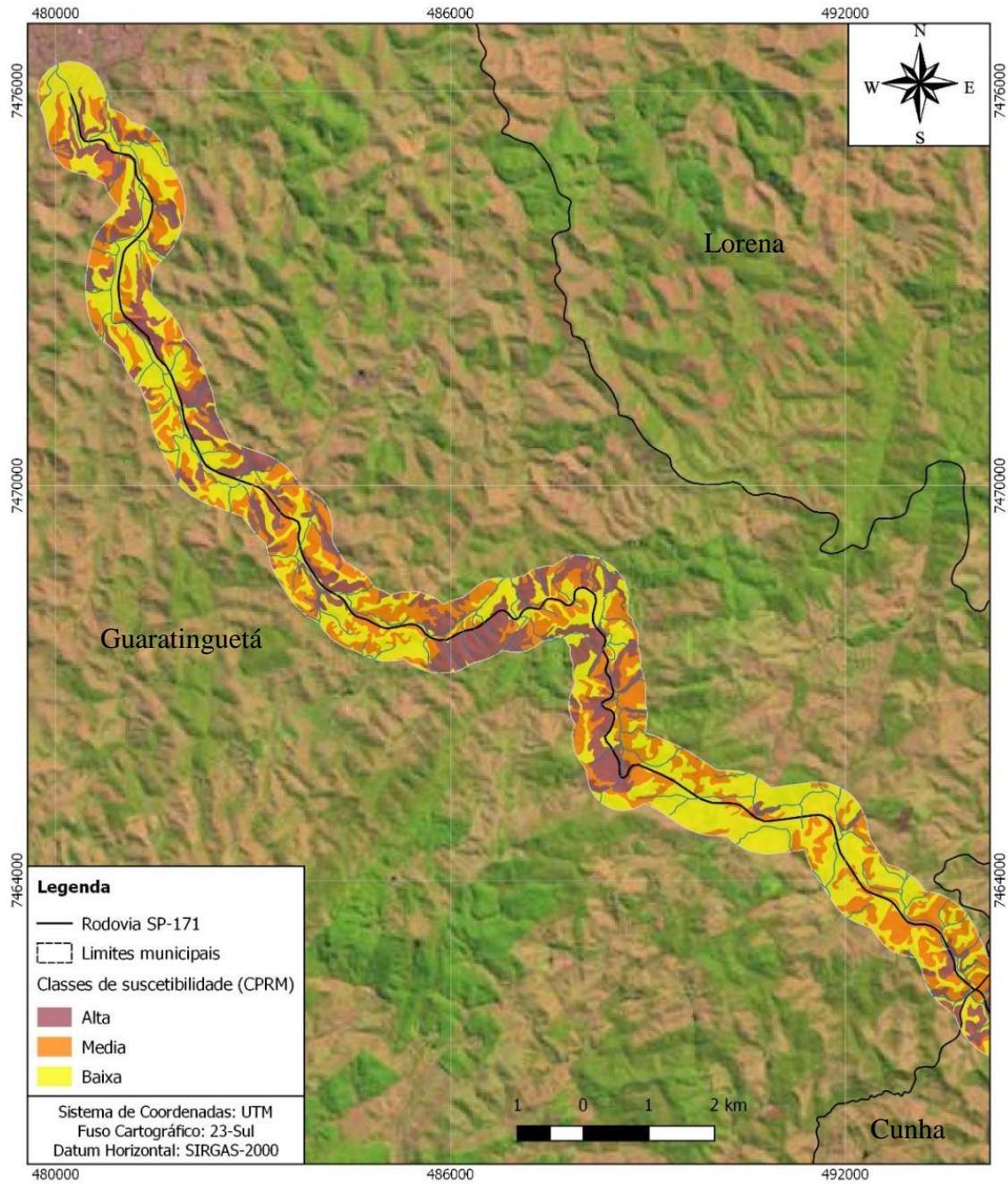
3.3 Cartas de suscetibilidade à movimentação de massa do IPT (Guaratinguetá/SP e Cunha/SP)

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas disponibiliza um interessante acervo de cartas de suscetibilidade à movimentação de massa e cartas de risco elaboradas para diversos municípios do Brasil, dentre esses municípios estão os de Guaratinguetá/SP e Cunha/SP.

As cartas de suscetibilidade desses municípios, na escala 1:25.000, apresentaram áreas com alto, médio, e baixo potencial à movimentação de massa e inundação. O documento cartográfico vem como complemento ao Programa de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais. As cartas do IPT para os municípios em questão têm caráter informativo e contribui para o melhor planejamento e gestão territorial desses municípios apontando as áreas potenciais para ocorrência de desastres naturais devido às

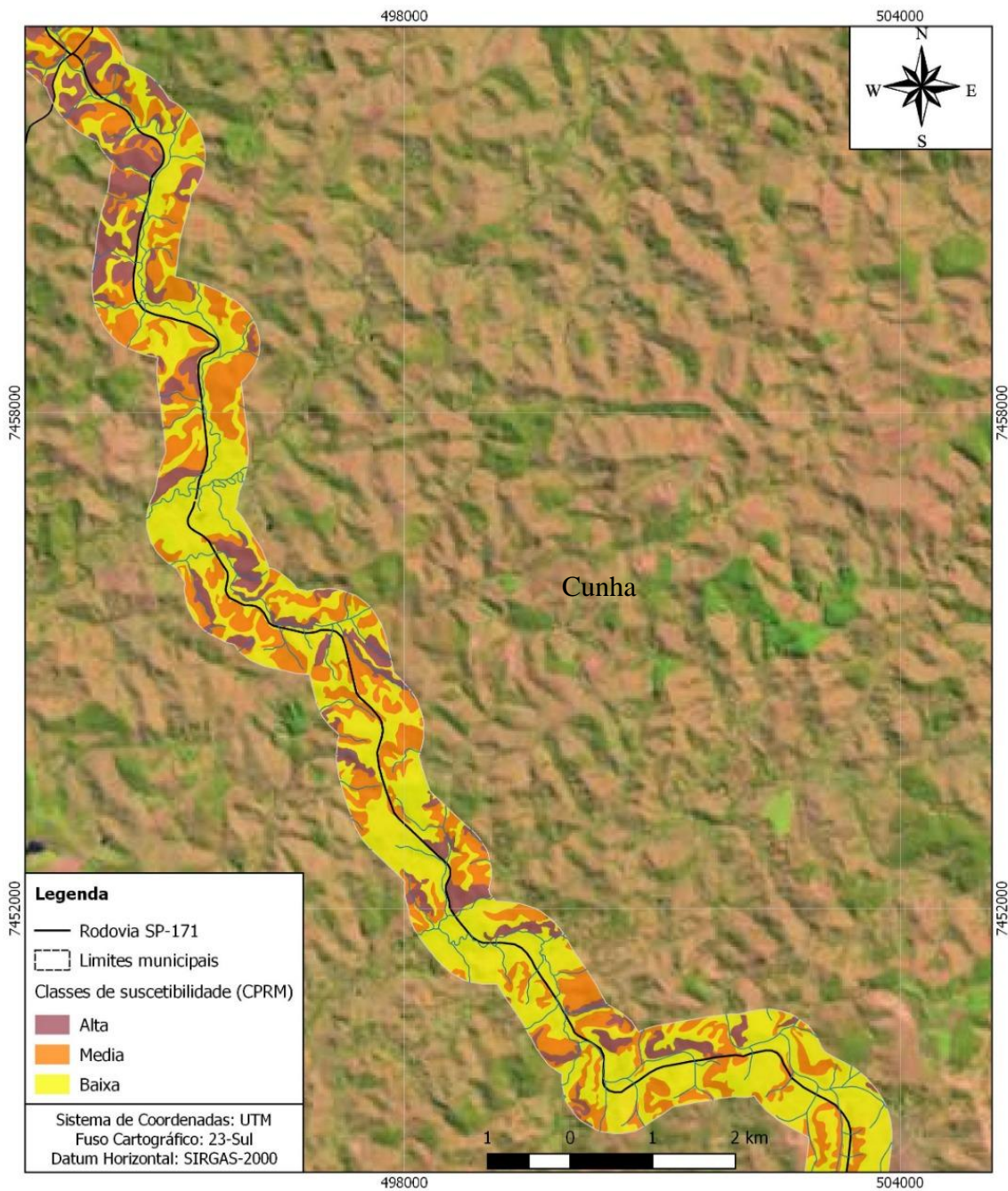
características do meio físico. Nas Figuras 18 e 19, apresentam-se numa escala maior a Rodovia SP-171.

Figura 18- Carta de Suscetibilidade à Movimentação de Massa– Município de Guaratinguetá/SP.



Fonte: IPT (2015a).

Figura 19- Carta de Suscetibilidade a movimentação de massa – Município de Cunha/SP.



Fonte: IPT (2015b).

Pela Tabela 17 são apresentadas as características predominantes do meio físico dos municípios em questão para cada classe de suscetibilidade à movimentação de massa de acordo com o IPT (2015a e 2015b).

Tabela 17- Classes de suscetibilidade - IPT

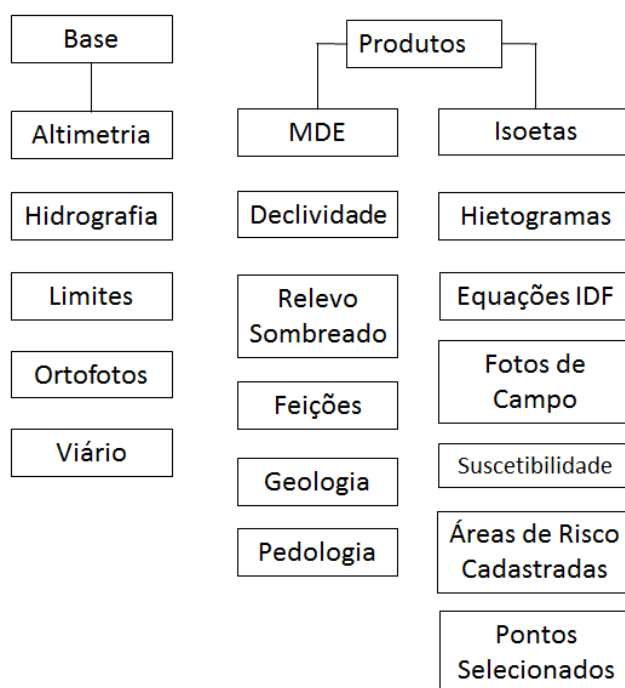
Classe de suscetibilidade	Características predominantes	
	Guaratinguetá/SP	Cunha/SP
Alta	<ul style="list-style-type: none"> -Relevo: serras e morros altos; -Forma das encostas: retilíneas e côncavas, com anfiteatros de cabeceiras de drenagem abruptos; -Amplitudes: 60 a 640m; -Declividades: >25°; -Litologia: Migmatitos heterogêneos e homogêneos; -Densidade de lineamentos/estruturas: alta; -Solos: pouco evoluídos e rasos; e - -Processos: deslizamento e rastejo. 	<ul style="list-style-type: none"> -Relevo: serras, escarpas e morros altos; -Forma das encostas: retilíneas e côncavas, com anfiteatros de cabeceiras de drenagem abruptos; -Amplitudes: 60 a 600 m; -Declividades: > 25°; -Litologia: Granitos e granitóides; -Densidade de lineamentos/estruturas: alta; -Solos: pouco evoluídos e rasos; e -Processos: deslizamento, queda de rocha e rastejo.
Média	<ul style="list-style-type: none"> -Relevo: serras, morros altos e morros baixos; -Forma das encostas: convexas a retilíneas e côncavas, com anfiteatros de cabeceira de drenagem; -Amplitudes: 40 a 480m; -Declividades: 10 a 30°; -Litologia: Migmatitos heterogêneos e homogêneos; -Densidade de lineamentos/estruturas: média; -Solos: evoluídos e moderadamente profundos; e -Processos: deslizamento e rastejo. 	<ul style="list-style-type: none"> -Relevo: serras, escarpas, morros altos e morros baixos; -Forma das encostas: convexas a retilíneas e côncavas, com anfiteatros de cabeceira de drenagem; -Amplitudes: 40 a 460 m; -Declividades: 10 a 30°; -Litologia: Migmatitos heterogêneos e homogêneos; -Densidade de lineamentos/estruturas: média; -Solos: evoluídos e moderadamente profundos; e -Processos: deslizamento, queda de rocha e rastejo.
Baixa	<ul style="list-style-type: none"> -Relevo: planícies e terraços fluviais, colinas e morros baixos; -Forma das encostas: convexas suavizadas e topos amplos. -Amplitudes: < 280 m; -Declividades: < 15°; -Litologia: Arenitos, argilitos, folhelhos e conglomerados; -Densidade de lineamentos/estruturas: baixa; -Solos: aluviais; evoluídos e profundos nas colinas e morros baixos; e -Processos: deslizamento e rastejo 	<ul style="list-style-type: none"> -Relevo: planícies e terraços fluviais, morrotes e morros baixos; -Forma das encostas: convexas suavizadas e topos amplos; -Amplitudes: < 280 m; -Declividades: < 15°; -Litologia: Migmatitos heterogêneos e homogêneos; -Densidade de lineamentos/estruturas: baixa; -Solos: aluviais; evoluídos e profundos nos morrotes e morros baixos; e -Processos: deslizamento, queda de rocha e rastejo.

Fonte: Adaptado de IPT (2015a e 2015b)

Destaca-se que em locais onde a suscetibilidade apresenta-se como baixa, não garante a inexistência de suscetibilidade à movimentação de massa visto que a suscetibilidade considerada nas cartas supracitadas é de ordem natural, não considerando áreas construídas, como as rodovias por exemplo, que geram grande modificação à dinâmica do meio físico.

As Cartas de Suscetibilidades à Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações elaboradas pela IPT (2015) tem como objetivo atender às diretrizes da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), estabelecidas pela Lei Federal 12.608/2012 (BRASIL, 2012). A escala estabelecida como referência foi de 1:25.000 e os processos do meio físico analisados no que tange a movimentos gravitacionais de massa foram: deslizamentos; rastejos; quedas; tombamentos; deslocamentos; rolamentos de rochas; e corridas de massa. Embora a erosão seja um processo passível de identificação na escala 1:25.000, esse fenômeno geológico não está compreendido nas cartas de suscetibilidade à movimentos gravitacionais do IPT (BITAR, 2014). A estrutura geral da Base de Dados utilizada nas cartas de suscetibilidade do IPT está disposta na Figura 20.

Figura 20- Estrutura geral da Base de Dados



Fonte: Bitar (2014).

3.4 Local do deslizamento de terra ocorrido em 29/11/2017

O deslizamento de terra que motivou a presente pesquisa, ocorreu em 29 de Novembro de 2017. A rodovia foi parcialmente interrompida pela ruptura de um talude no quilômetro 34+500, Figura 21, o qual movimentou um grande volume de terra e pôs em evidência a fragilidade geológica do local onde a SP-171 está inserida.

Figura 21 - Deslizamento de terra ocorrido na Rodovia Paulo Virgílio- Cunha/SP 2017



Fonte: DER (2017).

Os resultados da inspeção geotécnica realizada pelo DER (2017) apontam que o talude rompido é um talude de corte de extensão aproximada de 200 m no nível da pista, porém a ruptura ocorreu numa parte do talude da ordem de 100 m com uma cicatriz de formato conchoidal com contorno avançando aproximadamente 10 m da linha da crista do talude. O relatório traz uma observação referente à existência de trincas superficiais no contorno da cicatriz de ruptura em condições de receber águas pluviais de escoamento superficial, o que possibilita a ocorrência de movimentação de massa mesmo em condições de baixa pluviosidade.

A Defesa Civil do município registrou o evento no IPMet- Centro de Meteorologia de Bauru (2017), informações estas que constam na Tabela 18.

Tabela 18- Dados fornecidos pela Defesa Civil do Município de Cunha/SP ao IPMet.

Data do evento	29/11/2017
Hora	06h50
Duração	sem informação
Cidade	Cunha - SP
Endereço	Rodovia Paulo Virgílio (SP-171, Km 031)
Latitude	-23.085060
Longitude	-44.958260
COBRADE	1.3.2.1.4,1.1.3.2.1
Fenômeno(s)	Chuvas fortes
Dano(s)	Deslizamento de terra e Congestionamento/Interdição de Via Pública

Fonte: Adaptado de IPMet (2017).

O registro realizado pela Defesa Civil do município de Cunha/ SP ao IPmet, no que tange a questão da ocorrência de chuva durante o evento do escorregamento, não está em

conformidade com os registros pluviométricos do Cemaden (2017), Tabela 19, que apontam valores nulos de chuva para o dia do evento. Os acumulados pluviométricos em 10 (dez) dias que antecederam o deslizamento supracitado foram de 87,6 milímetros que podem ter sido suficientes para desencadear o deslizamento de terra mesmo na ausência de chuva registrada na data do evento.

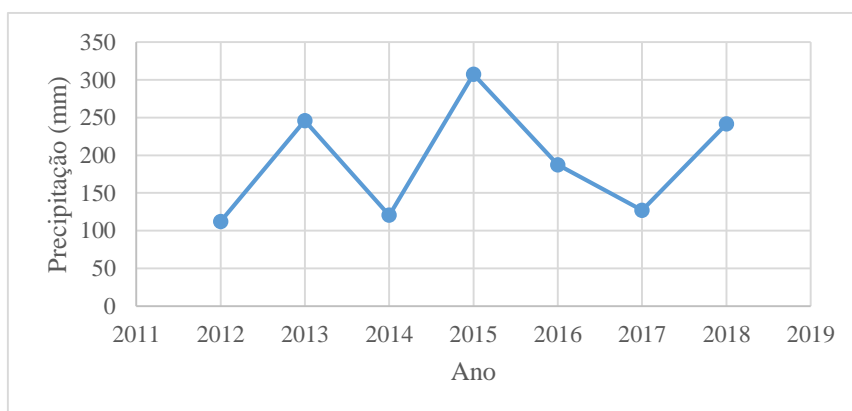
Tabela 19- Precipitação no mês do deslizamento (Novembro de 2017)

Data	Chuva (mm)
05/11/2017	3,6
11/11/2017	5
16/11/2017	1,2
17/11/2017	16,4
18/11/2017	24
19/11/2017	6,6
20/11/2017	8,6
22/11/2017	58
26/11/2017	0,8
27/11/2017	13,6
30/11/2017	1,2
Precipitação acumulada em 30 dias	139,00

Fonte: Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2017)

Pelos dados de chuva ocorridos no mesmo período do ano (novembro) nos últimos sete anos, de 2012 a 2018, têm-se que a precipitação ocorrida no mês do evento descrito está abaixo da média para o período considerado, média de 191,55 milímetros de chuva mensais. A Figura 22 apresenta os valores de precipitação para o mesmo mês do ano para cinco anos anteriores ao deslizamento de terra ocorrido em 29 de novembro de 2017 e para o ano posterior ao evento.

Figura 22- Volume de chuva para o mês de novembro nos últimos sete anos



Fonte: Autora (2020).

O escorregamento em estudo ocorreu na ausência de chuva de acordo com os registros do Cemaden e dados de satélite, o que pode naturalmente ocorrer, uma vez que o fluxo de interno de água continua mesmo após ter cessado a chuva, sendo decorrente da capacidade de infiltração e permeabilidade do solo (GERSCOVICH, 2016). As chuvas que antecedem um deslizamento são preparatórias para a ocorrência de deslizamentos promovendo um aumento da saturação do solo. Tal fato foi observado no trabalho de Coutinho (2002), que ao relacionar escorregamentos ocorridos no Morro do Arthur-Blumenau/SC, com a chuva ocorrida nesses eventos, constatou que em um dos escorregamentos estudados, a precipitação acumulada no dia do evento foi de apenas 1,4 mm/d, no entanto, a precipitação de 60 mm acumulada durante os 5 dias anteriores ao escorregamento foi suficiente para deflagrar o deslizamento.

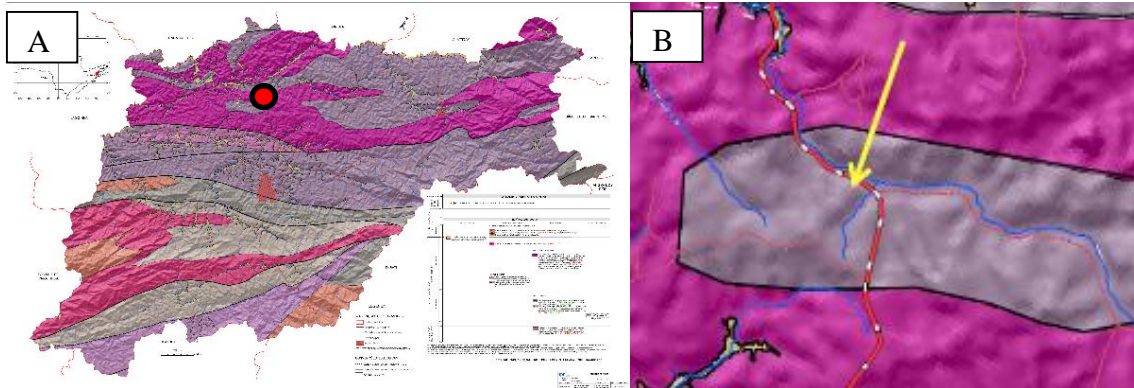
A obra de contenção realizada no local foi do tipo retaludamento, com mudança na geometria do talude da parte superior do talude visto que a parte inferior do talude manteve-se íntegro sem a necessidade de tratamento. Conforme o DER (2017) esse fato deu-se por o horizonte inferior do perfil do talude apresentar resistência mais elevada, porém por tratar-se de rocha gnáissica com sistema de acabamento bem definido, a feição desta estrutura poderá ser predominante sobre o nível de alteração no que se refere a estabilidade do talude.

O material das áreas adjacentes à cicatriz de ruptura é do tipo saprolítico que mostram camadas com mergulho em posição desfavorável a estabilidade do talude de corte, assim o material deve ser removido. O volume total de solo escavado na obra foi de aproximadamente 54000 m³ numa área de 2933,50 m² (DER, 2017).

3.4.1 Geologia local

Segundo o mapa de geológico, Figura 23, o local do deslizamento situa-se em uma formação da era neoproterózoico do período criogeniano, tendo como unidade litoestratigráfica o Complexo do Embu, com as seguintes características: muscovita-granada-sillimanita-biotita gnaiss migmatítico, biotita gnaiss tonalítico a granodiorítico; xisto gnaissóide e biotita gnaiss quartzoso (IPT, 2010).

Figura 23 - A) Mapa esboço geológico. B) Detalhamento do local do deslizamento. ESCALA: 1:100000



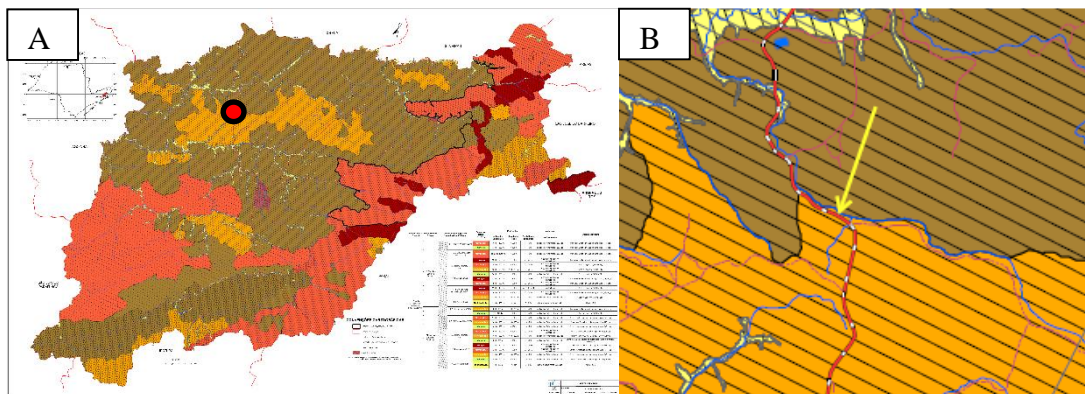
Fonte: IPT (2010).

3.4.2 Geomorfologia local

De acordo com o mapa geomorfológico, Figura 24, o local de estudo localiza-se de acordo com os táxons que seguem: 1º táxon: Cinturão Orogênico do Atlântico - Planalto Atlântico; 2º táxon: Planalto de Paraitinga/Paraibuna; 3º táxon: Mar de morros; e 4º táxon: morros médios com altimetria dominante entre 800 a 960 m, com declividade entre 8 - 45 % e com morfologia ondulado a fortemente ondulado (IPT, 2010).

A ruptura ocorrida situa-se na unidade de embasamento cristalino em morrotes, que abrange em torno de 50% do território municipal (IPT, 2010).

Figura 24- A) Mapa geomorfológico. B) Detalhamento do local do deslizamento. ESCALA: 1:100000

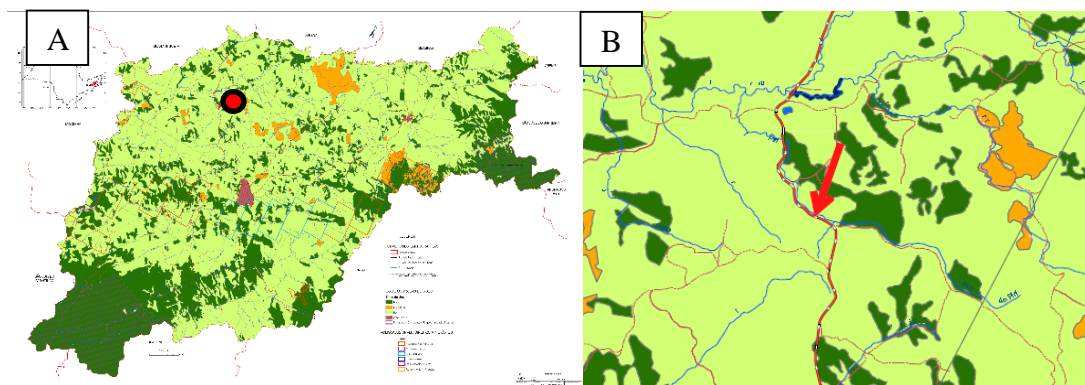


Fonte: IPT (2010).

3.4.3 Uso e ocupação do solo

Pelo mapa de uso e ocupação do solo, Figura 25, pode-se notar que o local onde ocorreu o deslizamento é uma área de pastagens com total remoção da vegetação nativa estando o solo desprotegido e exposto aos efeitos climáticos. A ausência da vegetação é notável ao longo de aproximadamente toda a rodovia gerando riscos de instabilidade nas encostas.

Figura 25- A) Mapa de uso e ocupação do solo. B) Detalhamento do local do deslizamento. ESCALA: 1:100000



Fonte: IPT (2010).

A Figura 26, comprova o que está representado no mapa de uso e ocupação do solo, demonstrando a ausência de vegetação nativa no local do deslizamento anteriormente ao evento geológico de novembro de 2017.

Figura 26 - Talude anteriormente ao deslizamento de terra.



Fonte: Google Earth Pro (2016).

Em parecer técnico realizado pelo DER (2017) constatou-se que a vegetação predominante no local do deslizamento é de pastagem com diversas espécies invasoras com destaque para a espécie barba de bode. Também foi observado nas encostas e topos de morros a presença de montículos de cupim e de formigueiros, Figura 27, que podem agir como sumidouros das águas pluviais.

Figura 27 - Indicação da presença de montículos de cupim e formigueiros.



Fonte: DER (2017).

Segundo o DER (2017) a vegetação existente no local do deslizamento na parte inferior do talude indica que o terreno nessa parte se encontra com umidade mais elevada que nas partes mais altas do talude. Tal fenômeno pode ser explicado devido a interação que ocorre entre solo-planta-atmosfera que ocorre por meio da precipitação, infiltração de água da chuva ou evapotranspiração, assim como a presença da vegetação (BORMA; JÚNIOR; LUIZ, 2015).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo serão descritos os materiais e procedimentos utilizados para melhor compreensão dos agentes do meio físico condicionantes à movimentação de massa ao longo do trecho da Rodovia SP-171 Guaratinguetá-Cunha/SP.

4.1 Levantamento de dados

Para a elaboração da base cartográfica deste trabalho foram utilizados os mapas temáticos para os municípios de Guaratinguetá/SP e Cunha/SP com recorte do trecho da rodovia SP-171, sendo: mapa de declividade, mapa de geologia, mapa de relevo, mapa de pluviosidade, e mapa de solo. Os arquivos foram obtidos nos endereços eletrônicos da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Na Tabela 20 tem-se a descrição destes mapas temáticos.

Tabela 20- Descrição do banco de dados.

Camada de Informação	Escala	Formato	Resolução espacial (m)	Fonte
Geologia	1:250.000	Vetorial/Shapefile	-	Elaborado por DAEE-UNESP (1984) Disponibilizado por CPRM
Padrões de relevo	1:25.000	Vetorial/Shapefile		Elaborado por IPT Disponibilizado por CPRM
Declividade	-	Matricial/.TIFF	12,5	Modelo Digital de Elevação (MDE) do ALOS-PALSAR Disponibilizado por Alaska Satellite Facility (ASF)
Solos	1:500.000	Vetorial/Shapefile		Elaborado por Oliveira et al. (1999) Disponibilizado por CPRM
Pluviosidade	-	Matricial/.TIFF	~1000	Elaborado por Fick e Hijmans (2017) Disponibilizado por WorldClim

Fonte: Autora (2020).

Após seleção, as camadas de informação foram importados para o programa QGIS 2.18.0. Os dados vetoriais (geologia, solos, padrões de relevo) foram convertidos para o formato raster (grade regular) para a realização dos demais processamentos. Para fins de

compatibilização e cruzamento, a resolução espacial das camadas de informação foram reamostradas para 12,5 m.

Os registros de interdições da Rodovia SP-171 foram cedidos na forma de um relatório elaborado pelo DER de Taubaté/SP, assim como os registros das principais obras de contenção e drenagem executadas para conferir maior estabilidade aos taludes dessa rodovia. O relatório apresenta 19 eventos de interdição no período de 2009 a 2019 ao longo de toda a rodovia, sendo 17 (dezesete) delas localizadas no trecho em estudo. Registros de escorregamentos na SP-171 também foram obtidos no site do IPMet cadastrados pela Defesa Civil dos municípios de Guaratinguetá/SP e Cunha/SP. Nesses registros estão a localização do evento, a data, danos e descrição do fenômeno.

Em campo realizou-se levantamento das coordenadas de 132 taludes ao longo do trecho em estudo por meio de GPS (Topograph). Nesse levantamento, além da localização dos taludes, deu-se a classificação dos mesmos de acordo com a estabilidade aparente.

4.2. Organização dos Dados Cartográficos no SIG

Foram definidos pesos de (0 -1) para cada camada de informação de maneira a diferenciar o grau de importância e correlação com os movimentos de massa que frequentemente ocorrem na SP-171, conforme Tabela 21. Vale ressaltar que a definição dos pesos foram provenientes das características condicionantes à movimentos de massa na Rodovia SP- 171 observadas em campo e pelos registros da Defesa Civil no IPMet e registros do DER-SP. Dessa forma, a camada “Declividade” prevaleceu como a camada de maior peso nesta análise de suscetibilidade, seguida pela camada “Pluviosidade”, as demais camadas, solos, relevo e geologia receberam os mesmos valores de ponderação.

Tabela 21- Pesos das camadas de informação.

Mapa	Peso
Geologia	0,10
Padrões de relevo	0,10
Solos	0,10
Precipitação	0,20
Declividade	0,50

Fonte: Autora (2020).

Dentro de cada camada existem os componentes de legenda que receberam pesos de 1 (um) a 5 (cinco), de maneira que quanto maior o peso, maior também será a relevância do item dentro da análise da suscetibilidade à movimentação de massa da SP-171.

Para os pesos atribuídos à camada de relevo, Tabela 22, levou-se em consideração que “quanto mais elevado o valor da amplitude, maior a energia cinética aplicada as vertentes e, conseqüentemente, maior é a capacidade de deslocamento do material, principalmente se associada a elevadas declividades e dissecação” de acordo com Christofolletti, (1980) apud Mandai, (2012).

Tabela 22- Pesos para os padrões de relevo

Padrões de relevo	
Variável	Peso
Planícies e terraços fluviais	1
Colinas	2
Morrotes	3
Morros baixos	4
Serras	5

Fonte: Autora (2020).

É de consenso na literatura que quanto maior a intensidade e a duração da chuva maior será a possibilidade de ocorrer escorregamentos (GERSCOVICH, 2016). Porém a determinação de valores exatos é algo ainda em estudo no meio acadêmico, pois deve-se atender à relação intrínseca entre intensidade e duração das chuvas. Nesta análise de suscetibilidade atribuiu-se pesos em relação aos volumes de chuva de 20, 50, 100, 250 e 500 milímetros, considerando a razão pelo limiar crítico de 100 mm determinado pelo Plano Preventivo de Defesa Civil – PPDC (SANTORO et al., 2008), Tabela 23. Nesta pesquisa a variável temporal não foi considerada.

Tabela 23- Pesos para pluviosidade.

Pluviosidade	
Variável	Peso
20 mm	0,2
50 mm	0,5
100 mm	1
250 mm	2,5
500 mm	5

Fonte: Autora (2020).

A classificação dos migmatitos no Mapa de Geologia, Tabela 24, como sendo o de maior peso para a suscetibilidade à movimentação de massa adveio de Ross, Junqueira e

Santos (2014) que dos 583 pontos de ocorrência de deslizamentos abordados em seus estudos, 375 deram-se em rochas de diferentes tipos de Migmatitos.

Tabela 24- Pesos para as variáveis em Geologia

Geologia	
Variável	Peso
Depósitos aluviais	1
Suítes granitóides	3
Migmatitos	5

Fonte: Autora (2020).

Para a definição dos pesos das variáveis de declividade, Tabela 25, utilizou-se parâmetros encontrados na literatura (BAZZAN, 2018; SILVA e MACHADO, 2014; BANDEIRA, 2003) e pelos estudos de Ross, Junqueira e Santos (2014), que por meio de estudos da morfologia da Serra do Mar, perceberam que as maiores ocorrências de escorregamentos estão entre 25° e 35°, entretanto os processos têm maior potencial de ocorrência a partir dos 15° de declividade.

Tabela 25- Pesos para as faixas de declividade

Declividade	
Variável	Peso
0 – 5°	1
05 - 15°	3
15 - 30°	4
>30°	5

Fonte: Autora (2020).

Os pesos atribuídos às três classes de solos, Tabela 26, existentes ao longo da Rodovia SP- 171 seguiram valores aproximados aos encontrados na literatura (SILVA e MACHADO, 2014). A variável “Área Urbana” se dá num pequeno trecho da Rodovia SP- 171 no município de Guaratinguetá/ SP com pouco interferência na rodovia por isso recebeu tal ponderação.

Tabela 26- Pesos para as variáveis de solo

Solos	
Variável	Peso
Argissolos	2
Área urbana	3
Cambissolos	4
Latossolos	5

Fonte: Autora (2020).

Após a ponderação das variáveis realizou-se o cruzamento por álgebra de mapas de todos os componentes por meio da Equação 2:

$$\begin{aligned} & (\text{Relevo} \times 0.10) + (\text{Geologia} \times 0.10) + (\text{Solo} \times 0.10) + (\text{Declividade} \times 0.50) + \\ & (\text{Precipitação} \times 0.20) \end{aligned} \quad \text{Eq. (2)}$$

4.3 Procedimento metodológico

No dia 27 de Julho de 2019 deu-se início a uma campanha de campo para reconhecimento da área de estudo, para tanto percorreu-se a Rodovia SP-171 no trecho dos municípios de Guaratinguetá/SP a Cunha/SP totalizando-se 44 quilômetros de rodovia. Os procedimentos aplicados para elaboração cartográfica apoiaram-se nas propostas de Prandini et al. (1995) apud Diniz et al. (2012), quais sejam:

- Formulação de um modelo inicial orientador: deu-se inicialmente com o escorregamento ocorrido em 29 de novembro de 2017 que interditou parte da Rodovia SP-171 demonstrando-se assim a fragilidade dessa rodovia frente aos movimentos de massa. Posteriormente, foram realizadas visitas para reconhecimento das condições dos taludes ao longo do trecho da rodovia Guaratinguetá-Cunha/SP.

- Análise fenomenológica e de desempenho: por meio de dados do CPRM obteve-se as características fisiográficas ao longo da rodovia, como relevo, declividade, solos e geologia.
- Mapeamento e compartimentação: correlacionou-se os eventos de movimentação de massa aos condicionantes do meio físico, como declividade, tipo de relevo, geologia, tipo de solo e pluviosidade.
- Orientação das informações e expressões geográficas das características de interesse: realizou-se um levantamento dos taludes que apresentavam processos ativos de escorregamento e erosão ao longo da rodovia observando-se as seguintes características: escorregamento, processo ativo de erosão, presença de vegetação, talude estável, e blocos instáveis.
- Representação: como resultado obteve-se cinco cenários para a movimentação de massa na SP-171.

4.4 Pluviosidade

Obteve-se os acumulados de precipitação para cada evento registrado pelo DER-SP de interdição da SP-171 no período de 24 horas e para o acumulado em 2, 3, 4, 10, 15 e 30 dias anteriores a esses eventos. Os dados de precipitação que foram utilizados para avaliação da ocorrência dos eventos são provenientes de um produto chamado MERGE (ROZANTE et al. 2010) desenvolvido no CPTEC/INPE. É uma composição de dados de satélite TRMM em tempo real (3B42RT) e dados de estações observacionais de pluviômetro (Global Telecommunications System - GTS) e estão espacializados em uma grade 5km x 5km (resolução espacial de 0,258). Isso quer dizer que uma grade de 25 km² tem o mesmo dado, o que representa uma limitação visto que chuvas variam num espaço territorialmente menor. Outra limitação é na não disponibilidade de dados meteorológicos em curto intervalo de tempo. Porém produtos desta natureza são uma boa alternativa em face a ausência de pluviômetros ao longo da rodovia.

4.5 Classificação dos taludes

Os taludes de corte identificados e considerados ao longo da rodovia foram 132, cuja classificação deu-se a partir de análise *in situ* de acordo com sua condição aparente de estabilidade. Atribuiu-se número 1 (um) para taludes com aspecto de preservação da vegetação, Figura 28a; para taludes cujo solo apresentou-se com aspecto de oxidação devida a presença de ferro que confere boa estabilidade à encosta, Figura 28b; e para taludes de baixa altura o qual em face a uma possível ruptura causaria pequeno dano a estrada.

Figura 28- Exemplos de talude de classificação 1. (20/10/2019)



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2019).

A classificação de número dois deu-se para taludes que apresentavam feições erosivas, ausência de vegetação, médio potencial de dano a estrada, moderada inclinação, e pequenas cicatrizes de deslizamento, Figura 29.

Figura 29- Exemplo de talude de classificação 2. (20/10/2019)



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2019)

Os taludes classificados com o número três, Figura 30, adveio da sua condição crítica à movimentos de massa com cicatrizes de escorregamentos, erosões com presença de sulcos e ravinas.

Figura 30- Exemplo de talude de classificação 3. (20/10/2019)



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2019).

Nas cartas de suscetibilidade à movimentação de massa elaboradas pelo IPT (2015a e 2015b) para os municípios em questão, foram inseridos os pontos observados em campo a fim de correlacioná-los às áreas suscetíveis à movimentação de massa, assim como os pontos com registro de interdição por queda de barreira fornecidos pelo DER/SP.

Os pontos de interdição da SP-171 fornecidos pelo DER/SP foram inseridos nos cenários de suscetibilidade à movimentação de massa elaborados nesse presente estudo com o intuito de relacionar a suscetibilidade à movimentação de massa desses taludes nos referidos cenários com o volume de chuva registrado no dia da ruptura e acumulados de precipitação que precederam aos referidos eventos.

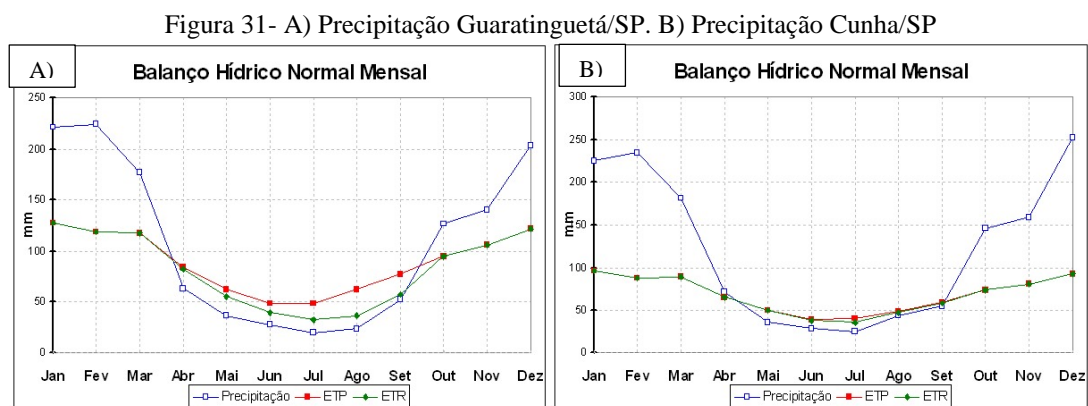
Na atribuição dos pesos para as variáveis do meio físico e seus respectivos elementos de legenda buscou-se respeitar os valores encontrados na literatura sempre aproximando esses valores aos que melhor representasse ao observado em campo. Para executar a integração dos elementos do meio físico com seus pesos utilizou-se o software QGIS 2.18.0.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresentam-se os resultados dos dados de chuva obtidos para a região em estudo, os problemas geológico-geotécnicos identificados no trabalho de campo, as informações contidas nas cartas de suscetibilidade à movimentação de massa do IPT (2015a e 2015b) e os cenários obtidos para suscetibilidade à movimentação de massa para 20, 50, 100, 250 e 500 milímetros de chuva.

5.1 Pluviometria

Observa-se pelo balanço hídrico do município de Guaratinguetá/SP, Figura 31a e do município de Cunha/SP, Figura 31b que ambos os municípios possuem duas estações bem definidas sendo uma de alta pluviosidade que vai do mês de outubro a março, chegando a 250 mm de chuva no mês mais chuvoso, e outra de baixa pluviosidade de abril a setembro com valores inferiores a 50 mm de chuva. No balanço hídrico desses municípios estão os valores de precipitação, de evapotranspiração potencial (ETP), e de evapotranspiração real (ETR).



Fonte: Banco de Dados Climáticos do Brasil (2003).

Com o intuito de verificar se houveram registros de chuvas no dia e anteriormente aos eventos de escorregamentos registrados pelo DER-SP (ANEXO) obteve-se os acumulados de precipitação no dia do evento (24 horas) e para o acumulado de 2, 3, 4, 10, 15 e 30 dias anteriores aos mesmos, assim como a frequência de dias consecutivos de chuva, conforme Tabela 27.

Tabela 27- Acumulado de precipitação para os eventos de escorregamentos registrados pelo DER/SP

Data	km	Precipitação Acumulada (mm)							
		24 horas	48 horas	72 horas	96 horas	10 dias	15 dias	30 dias	Consecutivo
10/01/2013	3,00	35,81	38,45	38,57	61,55	94,99	130,62	225,59	4 dias
10/01/2013	4,20	35,81	38,45	38,57	61,55	94,99	130,62	225,59	4 dias
10/01/2013	1,50	35,81	38,45	38,57	61,55	94,99	130,62	225,59	4 dias
11/01/2013	2,50	73,93	109,74	112,37	112,50	161,26	202,73	294,92	5 dias
12/12/2015	43,00	0,48	1,39	14,55	14,57	89,32	189,76	301,63	8 dias
14/12/2015	34,50	34,58	56,98	57,46	58,37	121,75	239,90	348,54	10 dias
14/12/2015	43,50	34,58	56,98	57,46	58,37	121,75	239,90	348,54	8 dias
29/03/2016	16,00	5,34	5,34	5,41	12,13	30,55	40,60	133,39	7 dias
08/01/2017	5,15	12,68	13,21	16,07	16,07	37,41	61,37	168,61	3 dias
08/01/2017	7,05	12,68	13,21	16,07	16,07	37,41	61,37	168,61	3 dias
08/01/2017	8,20	12,68	13,21	16,07	16,07	37,41	61,37	168,61	3 dias
29/11/2017	34,50	1,01	3,45	7,35	13,91	86,71	108,84	128,95	4 dias
08/01/2018	31,10	25,22	53,79	60,41	60,41	104,07	167,22	201,91	19 dias
22/01/2018	31,00	19,50	24,70	37,90	38,60	84,00	149,33	296,61	11 dias
22/01/2018	31,50	19,50	24,70	37,90	38,60	84,00	149,33	296,61	11 dias
16/03/2018	3,40	0,00	20,61	20,83	22,95	62,91	118,71	196,25	3 dias

Fonte: Autora (2020).

Pelos dados levantados têm-se que apenas um ponto, km 3,40, não apresentou registro de chuva, ou seja, houve deslizamento na ausência de chuva, porém com acumulado de 62,91 milímetros em dez dias que dependendo da capacidade de infiltração, permeabilidade, tipo do solo e inclinação da encosta podem ter sido suficientes para desencadear tal movimento de massa. Outros dois pontos, km 34,50 e km 16,00, não apresentaram chuvas diárias significativas para desencadear escorregamentos. Observa-se novamente que o acumulado em dez dias de chuva pode ser um indicativo desses eventos. Vale observar que a ocorrência de dois eventos na mesma data deu-se com volumes baixos de chuva, mínimo de 12, 68 milímetros, uma vez que solos com baixa capacidade de infiltração pode armazenar água sendo suficiente esse volume de chuva para desencadear deslizamentos. Em relação à incidência de chuva observa-se que de modo geral os eventos ocorreram após três dias consecutivos de chuva.

Os acumulados de chuva para dez dias foram os mais consideráveis para estimar, de forma tímida, a ocorrência dos deslizamentos na SP-171. Todavia, outros fatores necessitam ser considerados como o tipo de solo, textura, capacidade de infiltração, declividade e cobertura vegetal. Outro aspecto a considerar diz respeito à fonte de

obtenção de dados meteorológicos uma vez que tais eventos podem variar de acordo com o tempo e espaço.

A pluviosidade é uma variável de grande peso no estudo de estabilidade dos taludes dessa região. A Tabela 28 confirma a necessidade de abordar-se a questão da estabilidade da rodovia considerando a pluviosidade local, visto que os casos registrados de interdições da rodovia ocorreram devido a movimentação de massa em períodos chuvosos.

Tabela 28- Registros de interdição da Rodovia SP-171 - IPMet.

Data do evento	Coordenadas	Fenômeno(s)	Dano(s)
26/02/2009	Latitude: - 22.826124 Longitude: - 45.187511	Chuvas fortes	Queda de Barreira, Alagamentos e Congestionamento/Interdição de Via Pública
10/03/2009	Latitude: - 22.826124 Longitude: - 45.187511	Chuvas fortes e Chuvas moderadas	Desalojado(s), 1 Vítima(s) fatal(is), Queda de Barreira, Transbordamento de Rios e Córregos, Inundações Graduais, Alagamentos, Queda de Muro, 300 Congestionamento/Interdição de Via Pública e Pessoa arrastada pela enxurrada
29/12/2009	Latitude: - 22.831087 Longitude: - 45.188370	Chuvas fortes e Chuvas moderadas	1000 Desalojado(s), 3 Ferido(s), Queda de Barreira, Transbordamento de Rios e Córregos, Alagamentos, Deslizamento de terra, 206 Desabamentos/Rachadura/Danos em Imóveis e Congestionamento/Interdição de Via Pública
29/11/2017	Latitude: - 23.085060 Longitude: - 44.958260	Chuvas fortes	Deslizamento de terra e Congestionamento/Interdição de Via Pública

Fonte: IPMet (2019).

Vale ressaltar a carência de um banco de dados capaz de abarcar os eventos ocorridos com a devida localização e data, assim como dados mais assertivos em relação ao volume de chuva para esses eventos, o que necessitaria de mais estações pluviométricas ao longo da rodovia.

5.2 Trabalhos de campo

Os problemas geotécnicos mais comuns na Rodovia SP-171 são decorrentes dos processos de erosão, escorregamentos e queda de rochas soltas. É notável o potencial erosivo do solo ao longo da Rodovia devido à fatores como: intensidade das chuvas, ausência de uma cobertura vegetal, encostas com elevada declividade e solos arenosiltosos. Aos fatores condicionantes do meio físico somam-se as alterações das

características físicas originais dos solos pela ação antrópica, como a supressão da cobertura superficial dos taludes devido ao desmatamento, queimadas, além da mudança na geometria original dos taludes devido aos cortes para implantação da rodovia.

Pelo trabalho de campo identificou-se que a rodovia apresenta os seguintes problemas geológico/ geotécnicos:

5.2.1 Erosão

Pelo trabalho de campo foram identificados 51 (cinquenta e um) taludes com processos ativos de erosão, tanto do tipo laminar como do tipo linear em formas de sulcos e ravinas. Esses taludes apresentam declividades acima de 20 (vinte) graus. Alguns desses taludes apresentam coloração rosa, Figura 32, indicando presença de micas.

Figura 32- Talude com processo ativo de erosão.



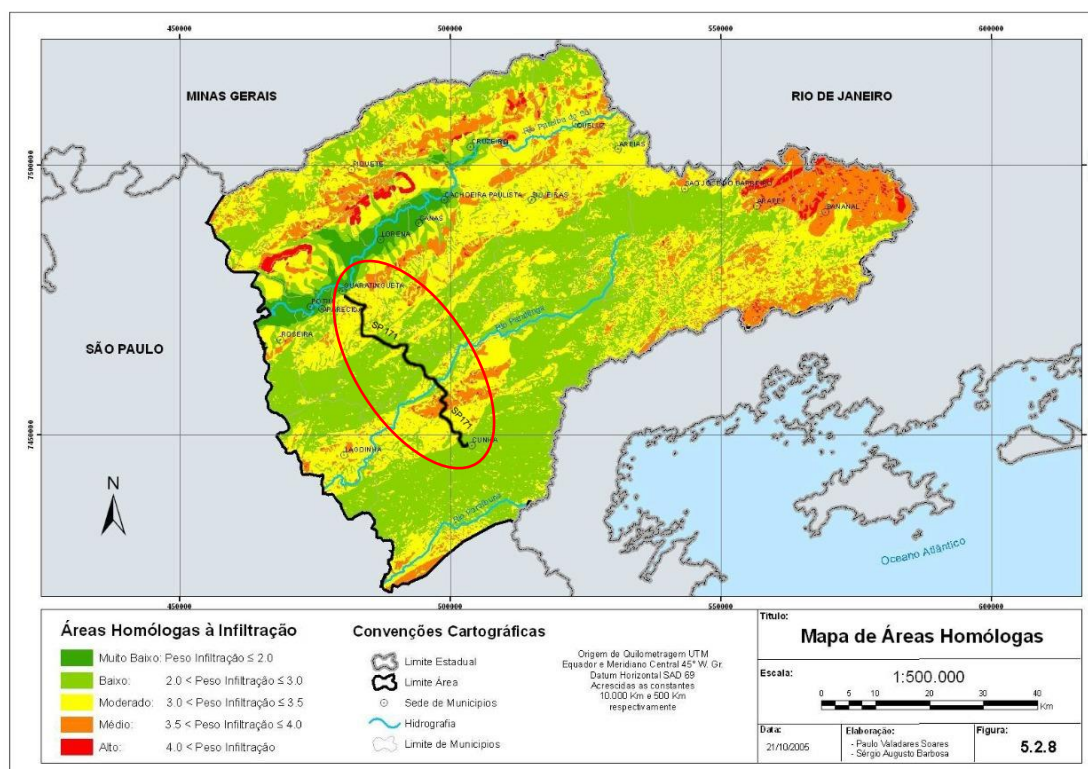
Fonte: Arquivo pessoal da autora (2019).

Na Figura 32 têm-se um talude de corte com declividade acima de 20 graus, desprovido de cobertura vegetal original, com cicatriz de escorregamento no topo e sedimentos oriundos de processo erosivo dispostos na base. Apresenta-se uma erosão superficial de origem hídrica do tipo pluvial, ocorrendo desprendimento das partículas devido a energia do fluxo superficial em sulcos, sem surgência de água. De acordo com Sales, Fázio e Francisco (2006), o poder erosivo da água em movimento e sua capacidade

de transporte estão intimamente ligados à densidade e à velocidade de escoamento, bem como da espessura da lâmina d'água, e principalmente, da inclinação da vertente.

O trecho da Rodovia SP-171 analisado nessa presente pesquisa localiza-se predominantemente numa região de baixa e moderada capacidade de infiltração, Figura 33, com alguns pontos apresentando média capacidade de infiltração (SOARES, 2005). O escoamento superficial é assim favorecido pela baixa permeabilidade do solo intensificando o fenômeno de desagregação e transporte de sedimentos, fator que contribui para a ocorrência de processos erosivos.

Figura 33- Mapa de áreas homólogas à infiltração



Fonte: Adaptado de Soares (2005).

A erosão presente em taludes cuja obra de contenção tenha sido realizada, como no caso da contenção do tipo gabião, Figura 34, compromete o sistema de drenagem dessas obras diminuindo sua eficiência. Os sistemas de drenagem em taludes que apresentam baixa resistência ao cisalhamento frente a saturação necessitam estar bem dimensionados uma vez que a erosão causa entupimento dos canais por onde a água deve percorrer.

Figura 34- Sistema de drenagem comprometido devido a erosão.



Fone: Arquivo pessoal da autora (2019).

5.2.2 Queda e rolamento de blocos

A Rodovia SP-171 possui trechos com taludes apresentando rochas fraturadas em taludes naturais que estão expostos devido à baixa resistência do solo a erosão e rochas soltas devido ao corte realizado para o traçado da rodovia, conforme Figuras 35a, 35b.

Figura 35- A) Bloco de rocha. B) Rocha solta instável



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2019).

Os taludes apresentando fraturas e rochas soltas estão localizados numa região de relevo serrano na Serra do Quebra Cangalha, com predomínio de migmatitos, com declividades superiores a 15 graus, e com solos do tipo argissolos e cambissolos. Pelo levantamento de campo observou-se a inexistência obras de contenção nos taludes com

rochas soltas, sendo o trecho da SP-171 localizado na região da Serra do Quebra o mais crítico.

5.2.3 Escorregamentos

Constam no relatório de interdições da Rodovia SP-171 (ANEXO) para o trecho da Rodovia Paulo Virgílio 17 (dezessete) interdições devido a quedas de barreiras. Os escorregamentos na SP-171 são frequentes tanto nos taludes na margem superior como na margem inferior da rodovia e estão associados a fatores como: exposição do solo aos agentes intempéricos, principalmente ação pluvial; pelos cortes realizados para a instalação da Rodovia; pela declividade dos taludes; solos com baixa resistência ao cisalhamento devido ao aumento de umidade, como o deslizamento objeto de detalhamento da presente pesquisa, Figura 36.

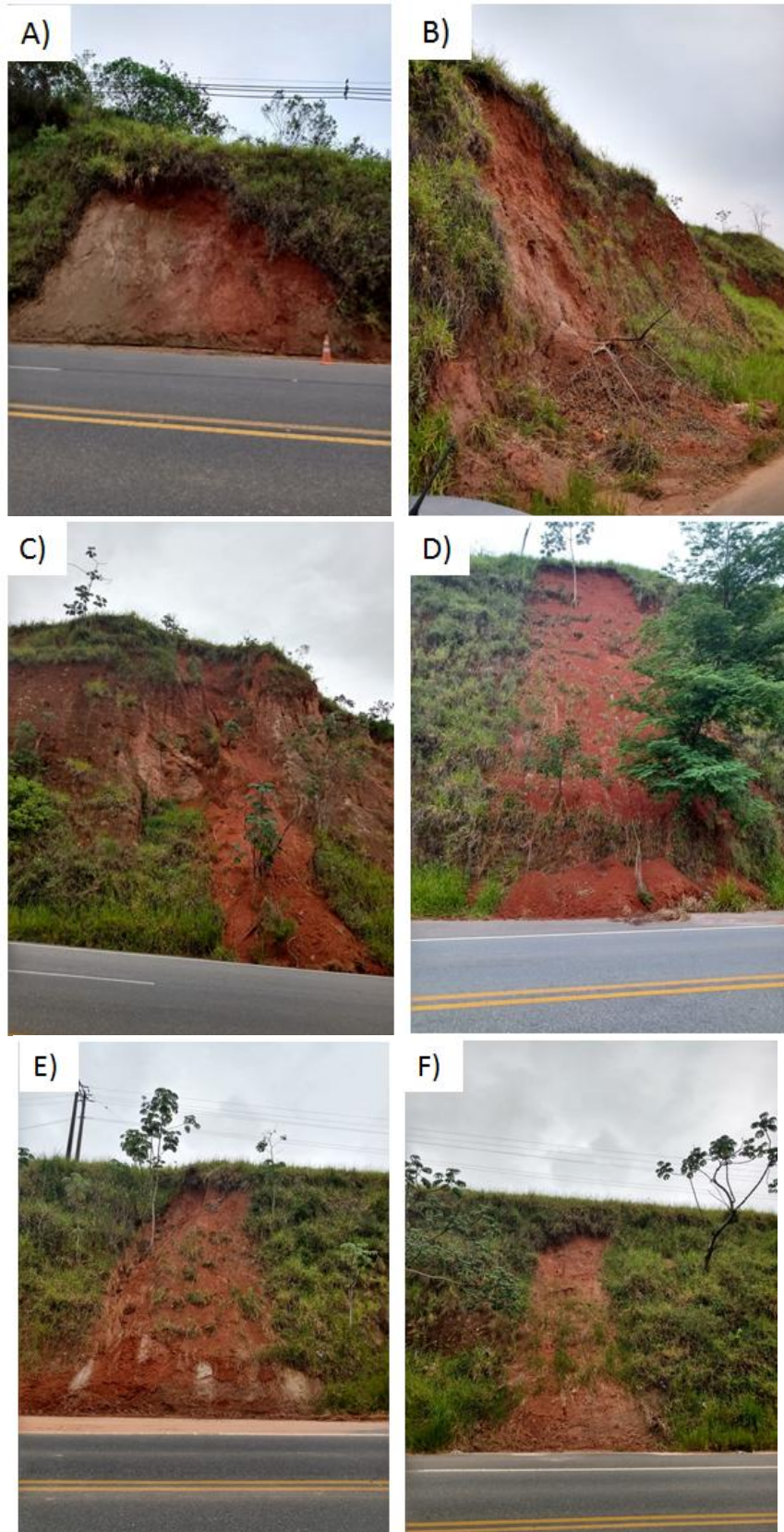
Figura 36- Deslizamento de terra na SP-171



Fonte: DER (2017) KM 34+500

Em visita a campo realizada no dia 20/02/2020 registrou-se seis novos deslizamentos de terra de médio porte, Figuras 37a, 37b, 37c, 37d, 37e e 37f, tais deslizamentos apresentaram superfícies de ruptura do tipo planar característico de solo residual. Escorregamentos do tipo planar ou translacional caracterizam-se pelas discontinuidades ou planos de fraqueza. Esse tipo de ruptura é muito comum em mantos de colúvio de pequena espessura, sobrejacente a um embasamento rochoso (GERSCOVICH, 2016).

Figura 37- Escorregamentos de terra do tipo planar.

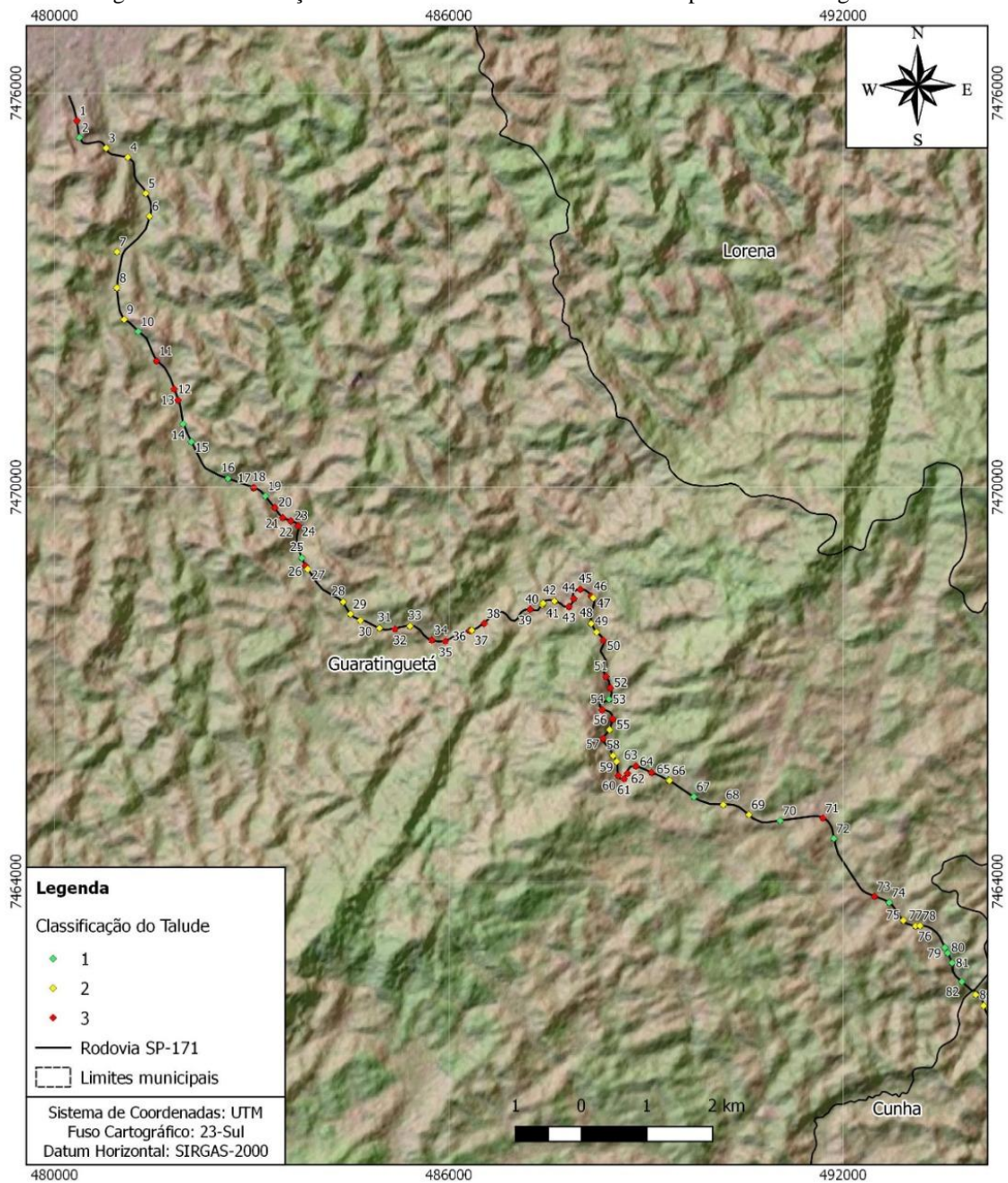


Fonte: Arquivo pessoal da autora (2019).

5.3 Condição dos taludes

Pela classificação dos taludes em campo de acordo com a estabilidade aparente observa-se que o trecho da Rodovia localizado no município de Guaratinguetá/SP encontra-se com mais casos de taludes com erosão, blocos de rocha soltos e escorregamentos. Nesse trecho da rodovia foram levantados 82 (oitenta e dois) taludes sendo que desse total 33 (trinta e três) foram classificados na condição crítica, ou seja, aproximadamente 40% dos taludes levantados, Figura 38.

Figura 38- Classificação dos taludes Rodovia SP-171- Município de Guaratinguetá/SP

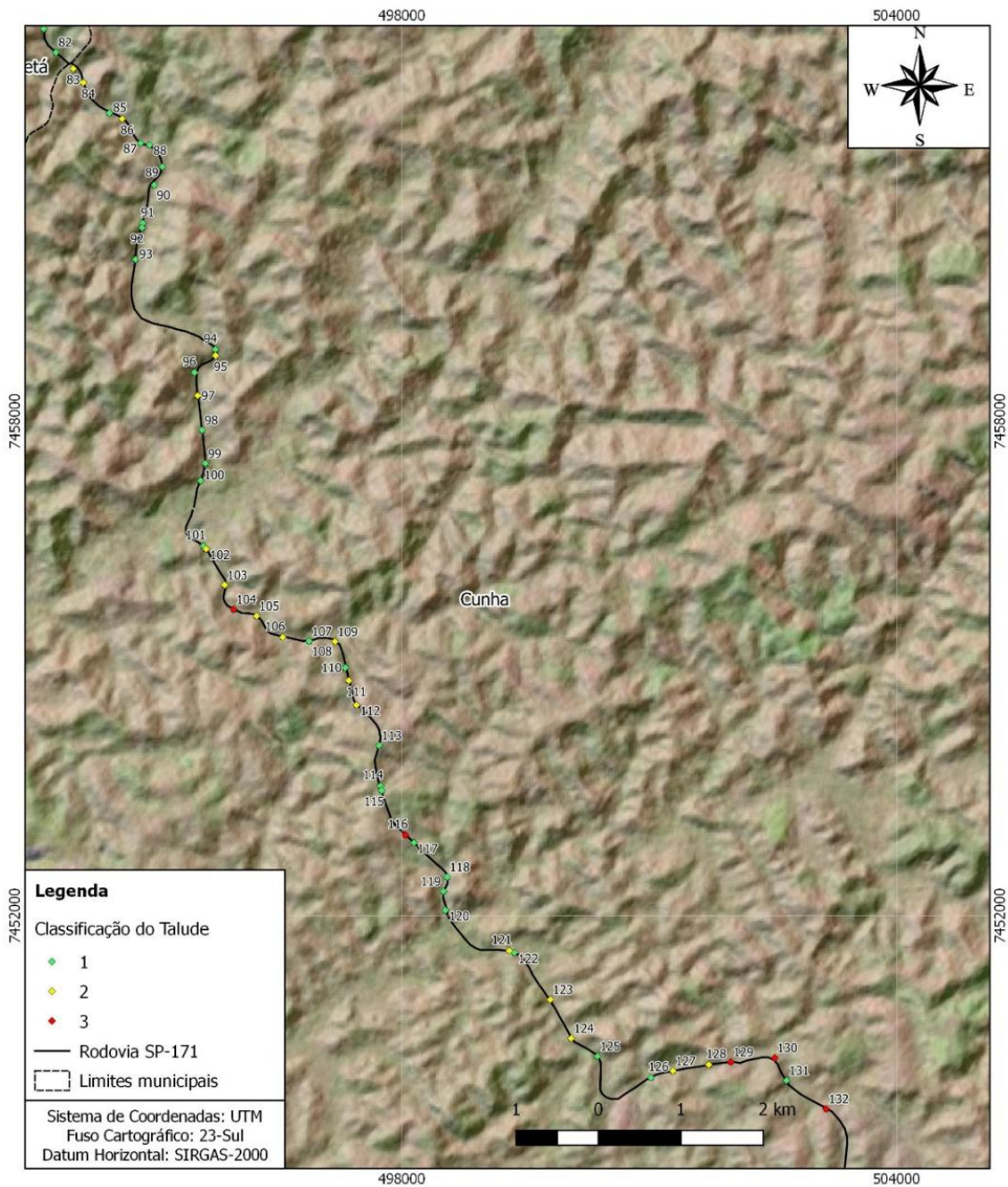


Fonte: Autora (2020)

Na condição de média criticidade, cujos taludes apresentam cicatrizes erosivas, foram 29 (vinte e nove) taludes e na condição de baixa criticidade foram 17 taludes levantados.

O trecho da Rodovia SP-171 localizado no município de Cunha/SP, Figura 39, possui maior número de taludes aparentemente estáveis total de 28 (vinte e oito) o que corresponde a 56% dos taludes desse trecho. Os taludes classificados na condição de média criticidade correspondem a 34% e de alta criticidade foram apenas 10%.

Figura 39- Classificação dos taludes SP-171- Município de Cunha/SP



5.3.1 Condição dos taludes na margem inferior à Rodovia SP-171

No dia 27 de Outubro de 2019 realizou-se uma visita à campo para fazer o levantamento dos taludes adjacentes à parte inferior da Rodovia SP-171 no trecho do município de Guaratinguetá/SP ao município de Cunha/SP. Nessa data, havia três pontos da rodovia em obras de reparação do acostamento que foi danificado devido a deslizamentos de terra ocasionados nos períodos de alta pluviosidade, Figura 40.

Figura 40- Talude de aterro rompido- SP-171



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2019).

Como o período chuvoso, de novembro a março, afeta diretamente as condições da Rodovia SP-171, em visita a campo no dia 20/02/2020 observou-se que havia quatro pontos com obras de contenção de taludes de aterro em execução. Estas obras estão apresentadas nas Figuras 41a, 41b, 41c e 41d.

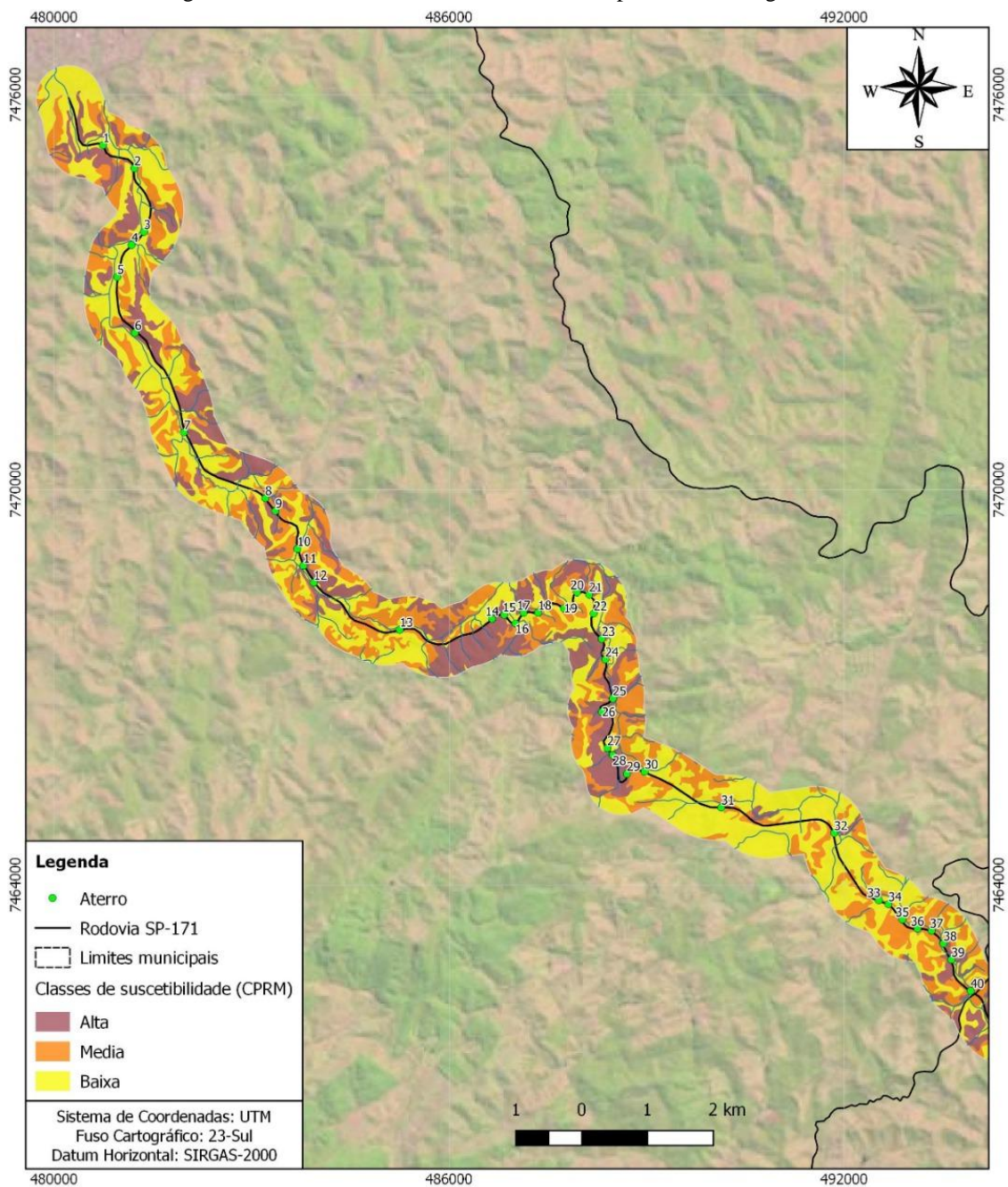
Figura 41- Escorregamentos em taludes de aterro na SP-171



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2019).

A presença de uma densa rede de canais de drenagem e fluxos fluviais somada à supressão da cobertura vegetal intensificam a instabilidade desses taludes. Foram levantados 55 (cinquenta e cinco) taludes situados na parte inferior da Rodovia SP-171, esses taludes foram inseridos na Carta de Suscetibilidade à Movimentação de Massa elaborada pelo IPT (2015a) para o município de Guaratinguetá/SP, Figura 42, e para o trecho da Rodovia SP-171 situado no município de Cunha/SP, Figura 43, respectivamente.

Figura 42- Taludes de aterro- Trecho do município de Guaratinguetá/SP

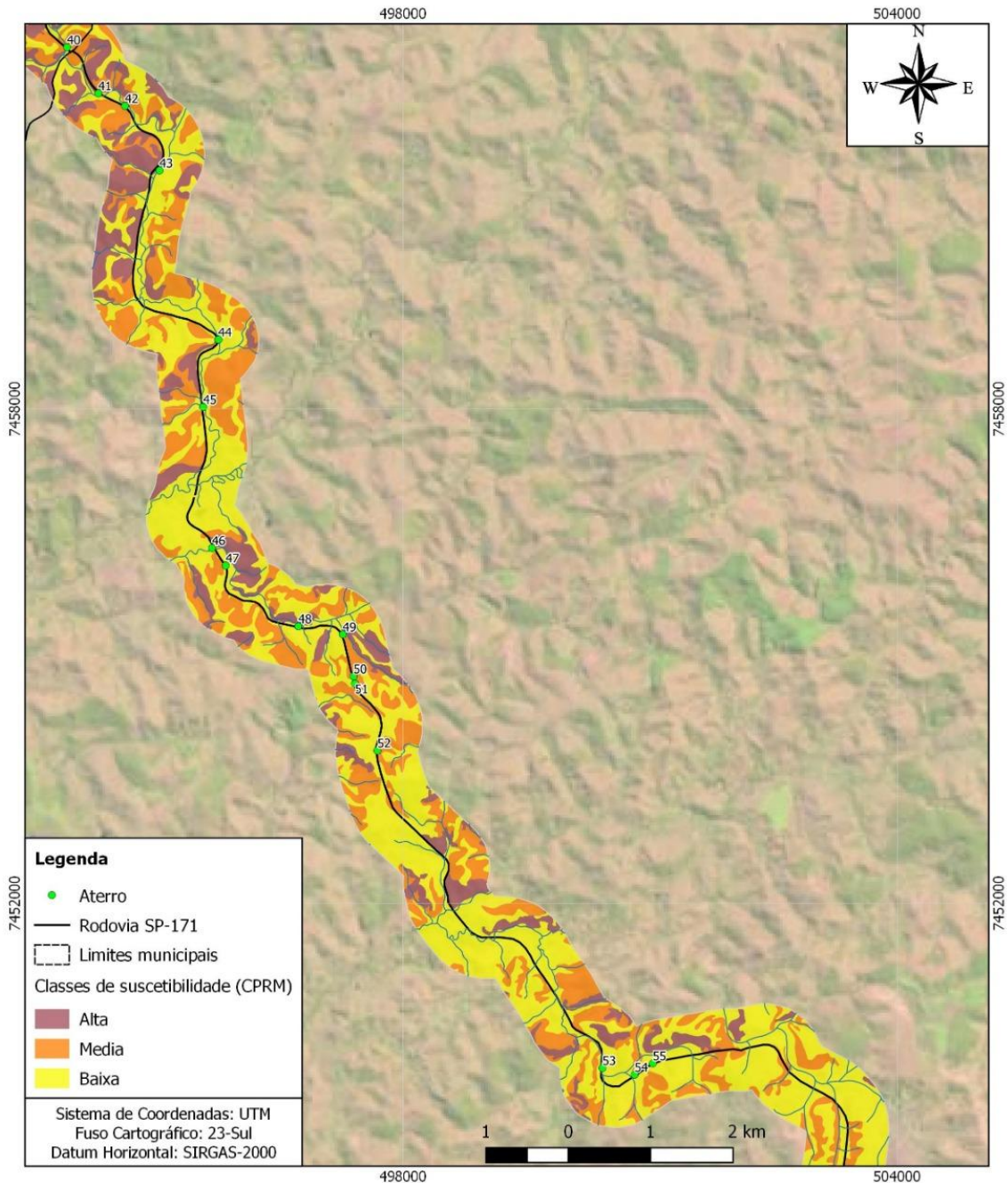


Fonte: Adaptado de IPT (2015a).

O trecho da Rodovia SP-171 localizado no município de Guaratinguetá/SP apresenta maior número de aterros, 40 taludes de aterro, destes, 20 (vinte) estão localizados em áreas de alta suscetibilidade pela Carta do IPT (2015a), 14 (catorze) na média e 6 (seis) na baixa suscetibilidade. Dos 40 (quarenta) taludes de aterro desse trecho, 31 (trinta e um) são taludes próximos à canais fluviais. A região apresenta um relevo mais acentuado de serras e presença de cursos de rios que afetam a estabilidade dos taludes na margem inferior da rodovia.

O trecho da Rodovia SP-171 localizado no município de Cunha/SP apresenta 15 (quinze) taludes na margem inferior da rodovia, destes 10 (dez) estão próximos a cursos de rios o que causa erosão fluvial especialmente em períodos chuvosos onde ocorre elevação do nível da água, como no caso da Figura 41b.

Figura 43- Talude de aterro- Trecho município de Cunha/SP



Fonte: Adaptado de IPT (2015b).

5.4 Obras de estabilização ao longo da Rodovia SP-171

A Rodovia SP-171 sofre com diferentes processos de movimentação de massa. Embora tenha ocorrido a implantação de medidas de contenção nas encostas em estado mais crítico, como a implantação de muros de arrimo e mudanças na geometria dos taludes por meio de retaludamentos, estas medidas contribuíram apenas parcialmente para a estabilização visto que estas obras possuem deficiências no que tange ao sistema de drenagem e cobertura superficial. Até a data dessa presente pesquisa, diversos pontos encontravam-se carentes de obras de contenção e drenagem. A forma de estabilização mais recorrente na Rodovia são os muros de arrimo tipo gabião totalizando 17 (dezessete) obras desse tipo. As Figuras 44a, 44b, e 44c apresentam as obras de contenção de encostas realizadas na Rodovia SP-171 no trecho abordado.

Figura 44- A) Retaludamento. B) Gabião. C) Muro de espera.



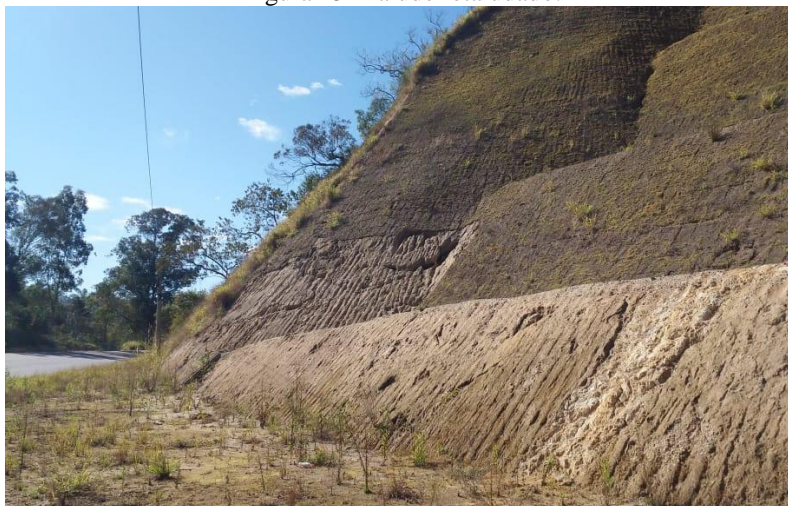
Fonte: Arquivo pessoal da autora (2019).

Ao longo da Rodovia SP-171 foram instalados 17 (dezessete) muros de contenção do tipo gabião; muitos estão com o sistema de drenagem comprometido. A utilização de muros de gabião em muitas situações não estão de acordo com as especificidades do meio físico, especialmente para os taludes em solos com grande potencial de erosão, como aqueles onde há predominância de siltes e areias, sendo necessário o emprego de um sistema de drenagem. Para as obras do tipo retaludamento, a preocupação deve ser com a existência e a manutenção de uma cobertura vegetal que possa efetivamente proteger a face dos taludes frente ao escoamento superficial. Para os taludes em estado mais crítico, classificados com grau 3 (três) nas observações em campo, são necessárias intervenções imediatas com instalação de obras de contenção.

Embora tenha sido realizadas obras objetivando a estabilidade dos taludes ao longo da Rodovia SP-171, tais mecanismos de contenção apresentavam certo grau de deterioração devido à deficiência no sistema de drenagem, ausência de cobertura vegetal e inadequação do tipo de obra com as características geológicas e geotécnicas do local.

Pela Figura 45 tem-se exemplificado um talude retaludado onde sua base está exposta às ações intempéricas apresentando indícios de ausência de um sistema de drenagem eficiente e cobertura vegetal o que acarreta num processo ativo de erosão que pode comprometer a eficiência da obra realizada.

Figura 45- Talude retaludado.



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2019).

O sistema de retaludamento foi utilizado como medida corretiva ao escorregamento de terra utilizado como objeto de partida dessa presente pesquisa. Obras como esta podem ser utilizadas como medidas preventivas em locais com características semelhantes com o objetivo de impedir problemas de maior gravidade como a ruptura ocorrida neste ponto, porém obras desse tipo necessitam ser acompanhadas de um sistema de drenagem eficiente visto que solos do tipo areno-siltoso apresentam queda significativa da resistência em decorrência da saturação (RAMOS et al., 2019).

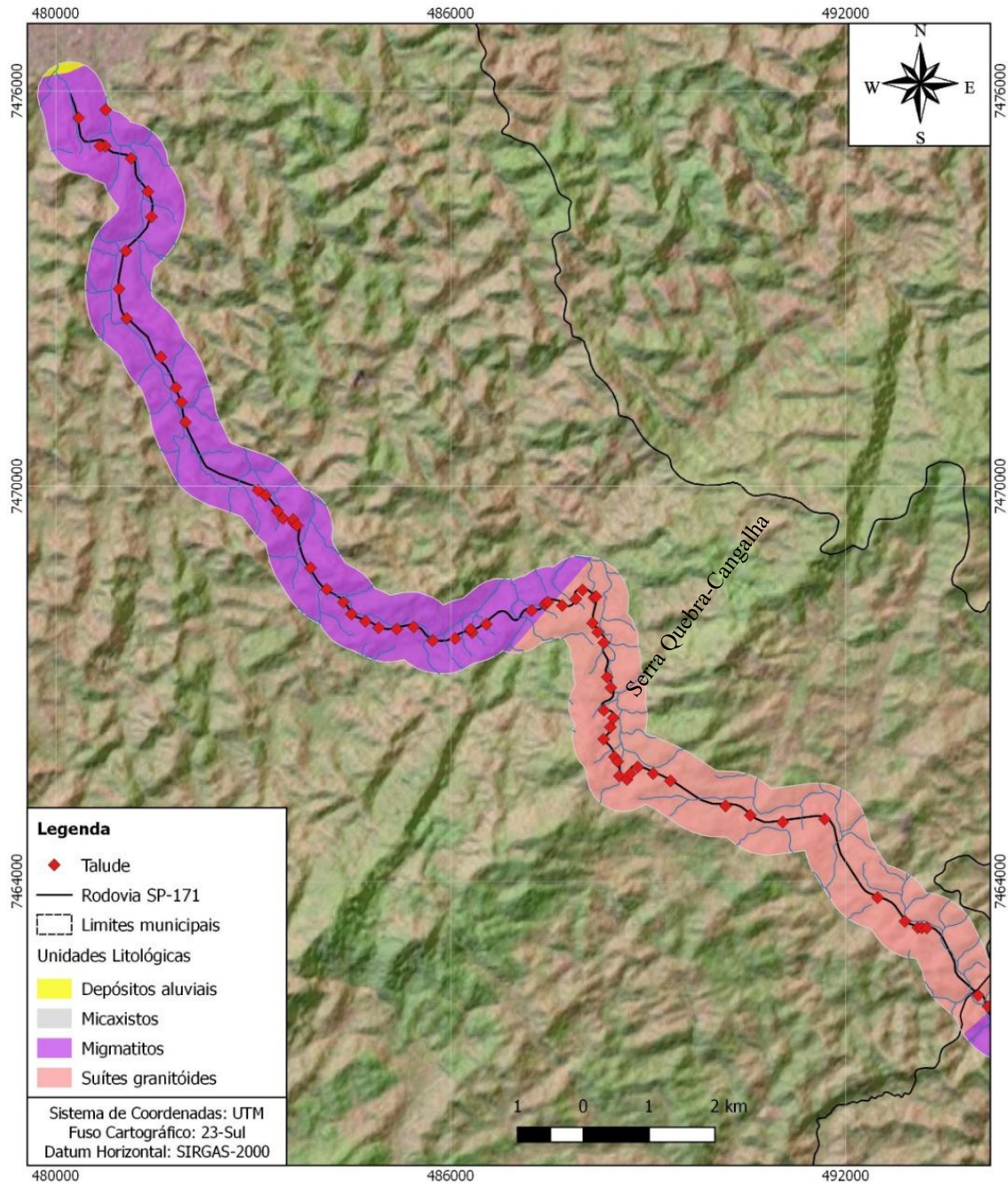
5.5 Suscetibilidade à movimentação de massa na SP-171

A partir do estudo e entendimento dos diferentes elementos do meio físico que condicionam os movimentos de massa no local de estudo (geologia, relevo, declividade, pluviosidade e solos) procurou-se avaliar a suscetibilidade à movimentação de massa que a Rodovia SP-171 apresenta. Pela análise dos mapas dos elementos do meio físico da área estudada, pode-se constatar que os índices pluviométricos possuem grande influência no que diz respeito ao comportamento e resistência do solo frente aos movimentos de massa ocorridos ao longo da rodovia. A seguir apresentam-se os mapas temáticos utilizados nessa presente pesquisa.

5.5.1 Geologia

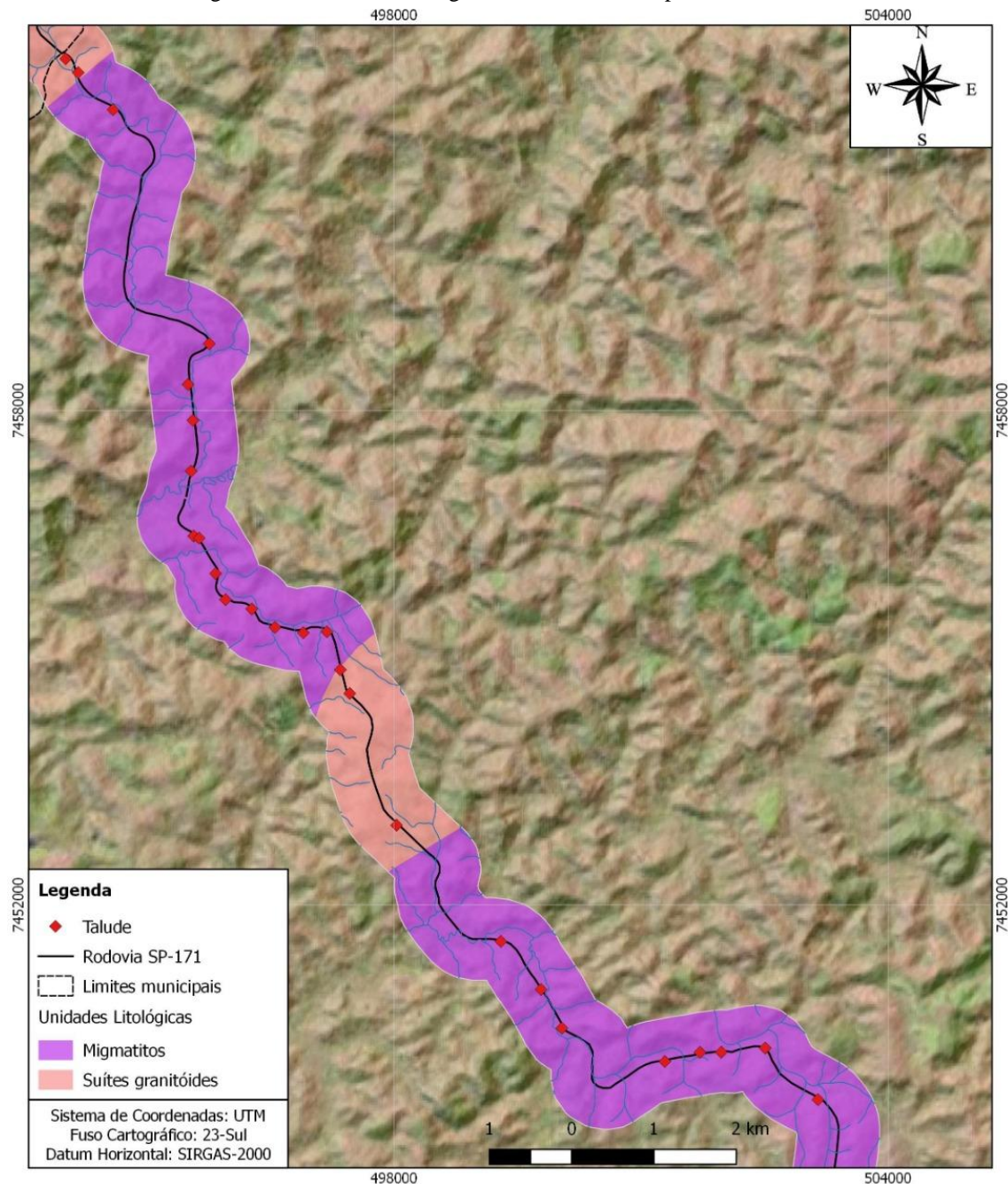
Utilizou-se o mapa geológico obtido no endereço eletrônico da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), para os dois trechos da Rodovia SP-171. Os mapas geológicos dos respectivos trechos, Figuras 46 e 47, evidenciam a predominância de duas unidades litológicas presentes nesta escala de abordagem: migmatitos e suítes granitóides.

Figura 46- Unidades Litológicas – SP-171 Município de Guaratinguetá/SP.



No trecho da Rodovia SP-171 localizado no município de Guaratinguetá/SP se faz evidente a mudança das unidades litológicas a partir da Serra Quebra-Cangalha passando de migmatitos para suítes granitoides. Os migmatitos ocorrem em relevo intermediário com manto de alteração predominante de segmento areno-argilosos (SOARES, 2005).

Figura 47- Unidades Litológicas – SP-171 Município de Cunha/SP.

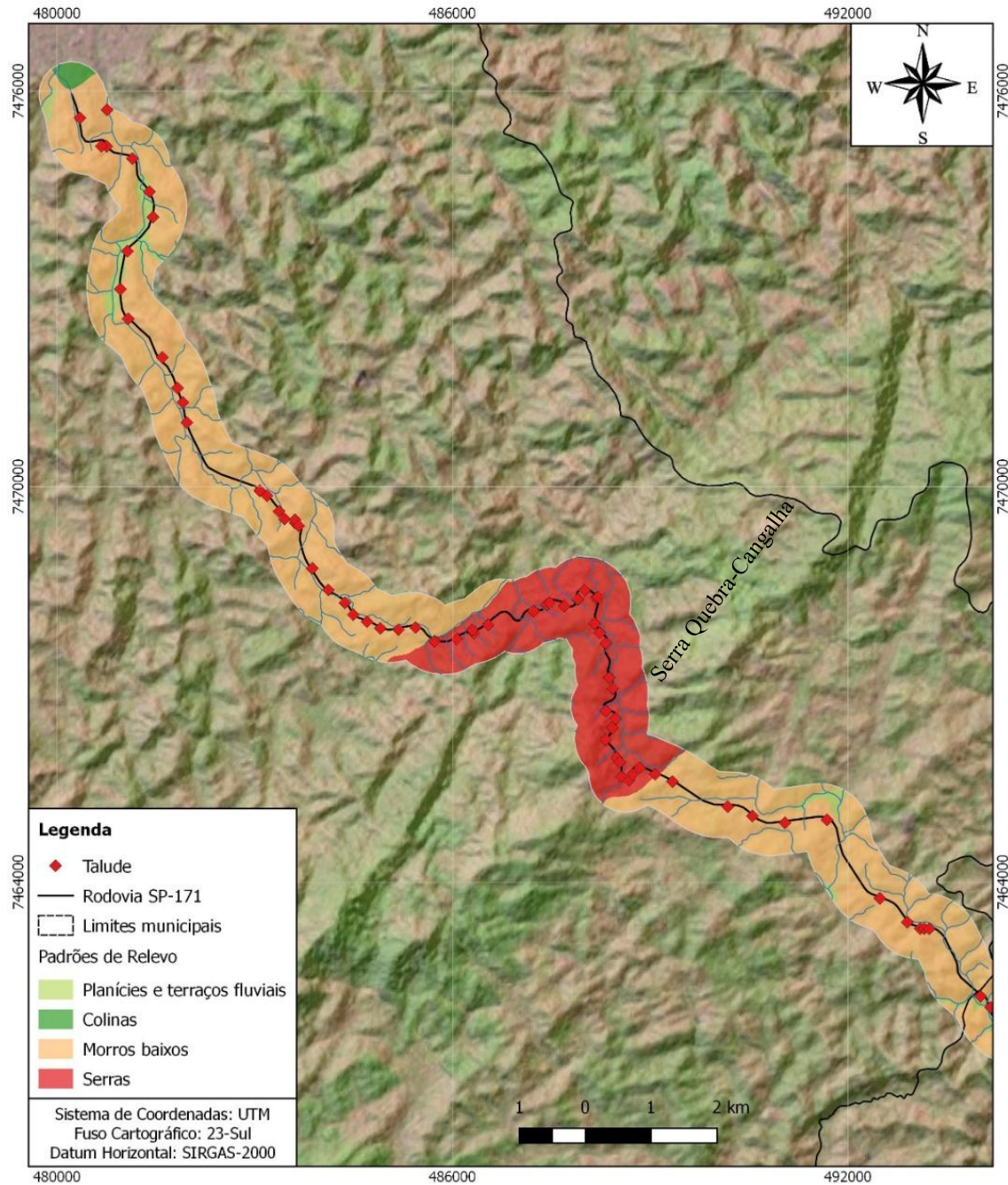


Ao longo de todo trecho analisado em questão observa-se a predominância de migmatitos, área de 31,2 km² seguido dos suítes granitoides de 13,6 km².

5.5.2 Relevo

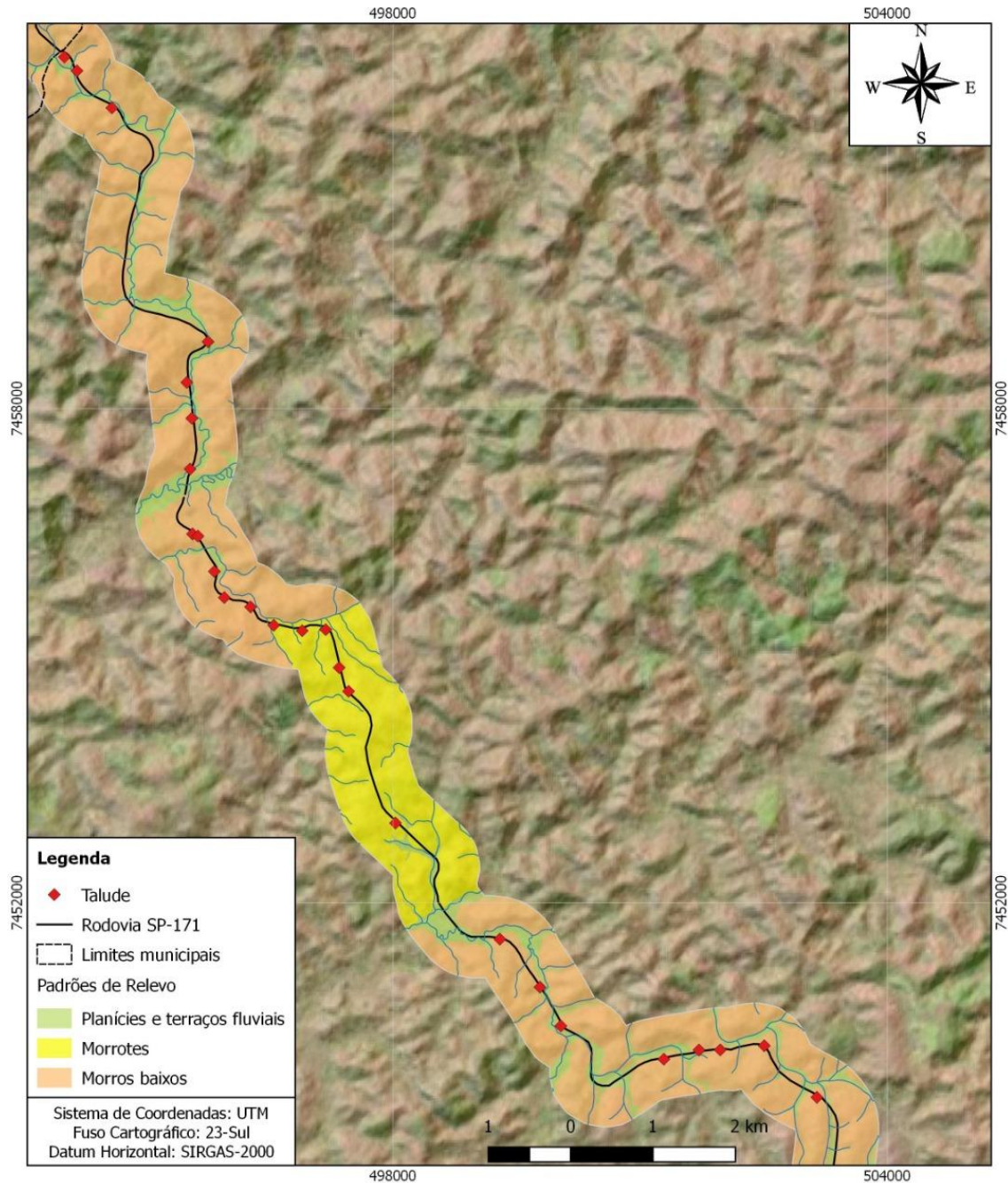
Foram identificados quatro padrões de relevo no trecho presente no município de Guaratinguetá/SP, sendo: planícies e terraços fluviais, colinas, morros baixos e serras, com predominância de morros baixos, Figura 48.

Figura 48- Relevo SP-171 – Município de Guaratinguetá/SP



Na porção da rodovia localizada no município de Cunha/SP a forma de relevo de morros baixos também se faz predominante, seguido de morrotes e planícies fluviais, conforme Figura 49.

Figura 49- Relevo SP-171 –Trecho do município de Cunha/SP

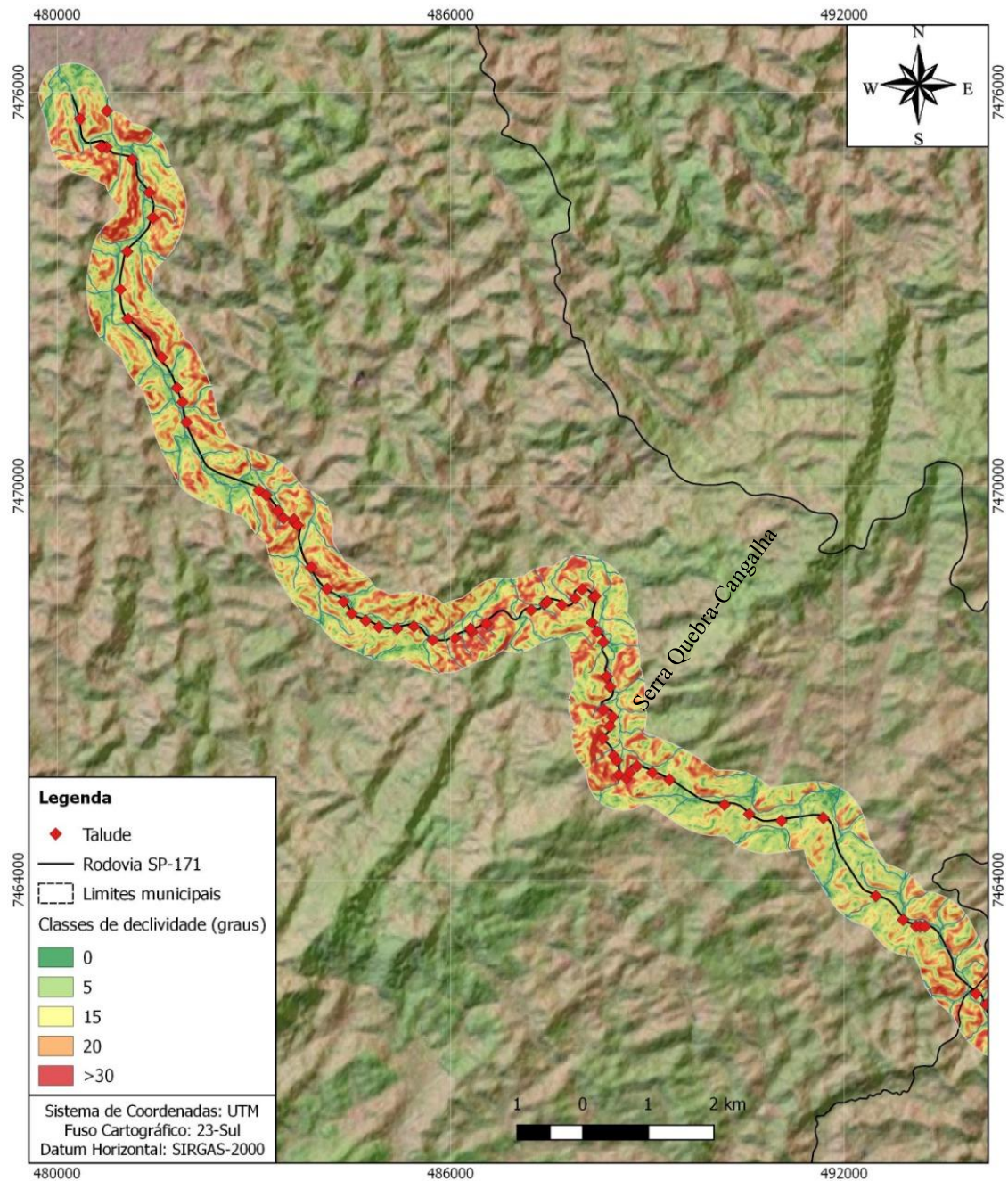


No trecho da Rodovia SP-171 localizado no município de Cunha/SP há uma longa faixa de morrotes e os taludes aí presentes estão em estado aparente de estabilidade. Ao longo do trecho analisado ocorrem 31,5 km² de morros baixo correspondendo a aproximadamente 71% da rodovia.

5.5.3 Declividade

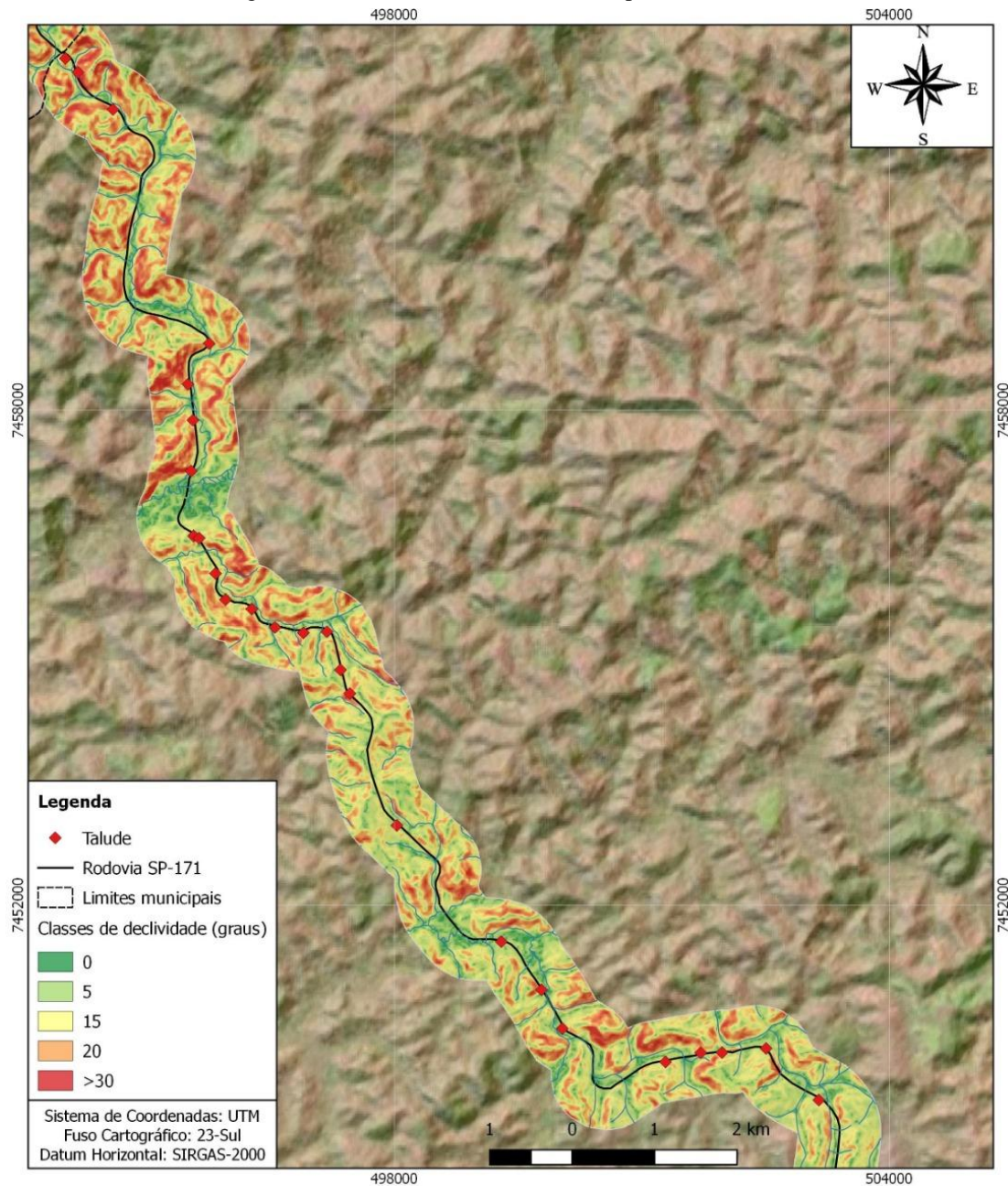
A declividade predominante na Rodovia SP-171 é de 15 a 30 graus, Figuras 50 e 51, e os pontos com erosão e cicatrizes de deslizamentos localizam-se principalmente nas declividades acima de 20 graus. A observação em campo contribuiu para atribuição do peso para essa variável pela sua relevância frente aos processos de movimentação de massa.

Figura 50- Declividade SP-171 – Município de Guaratinguetá/SP



Declividades de até 8 graus são suficientes para dar início a escoamentos difusos ou laminares e formação de sulcos. Para declividades entre 8 a 20 graus (relevo ondulado) podem ocorrer movimento de massa (creep e escorregamentos), escoamento laminar, sulcos e ravinas. Acima de 20 graus de declividade pode ocorrer erosão linear, perda considerável de solo e movimentos de massa como creep e escorregamentos (SILVA e MACHADO, 2014).

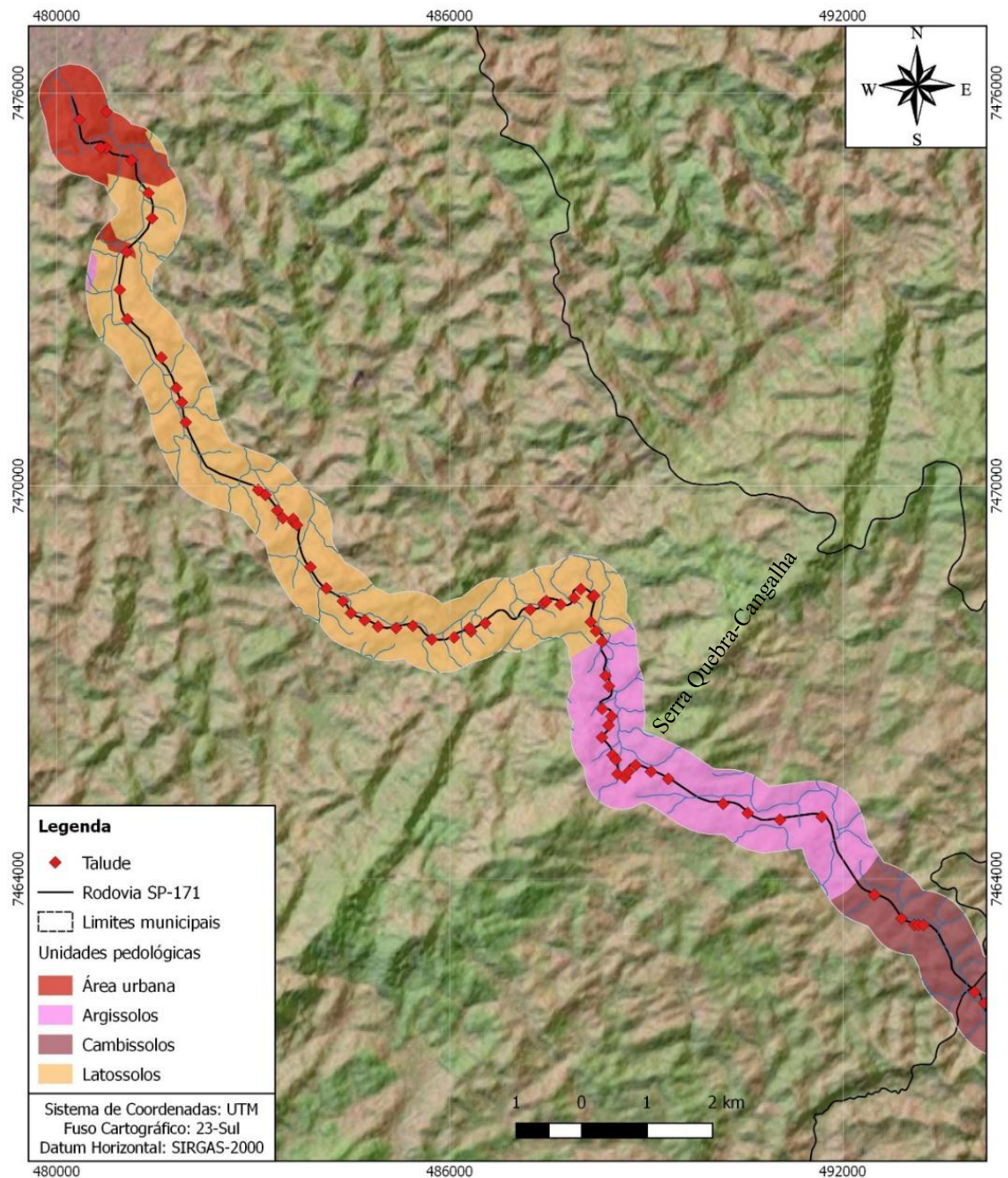
Figura 51- Declividade SP-171 – Município de Cunha/SP.



5.5.4 Solos

Os solos ao longo da Rodovia SP-171, Figura 52, ocorrem com predomínio para os latossolos, cerca de 25,6 km². Os latossolos que ocorrem em relevo plano e suave ondulado, ondulado, forte ondulado, montanhoso e escarpado, em termos geotécnicos constituem-se de solos não saturados com argilas de baixa atividade. Atenção especial deve-se dispensar quando esses solos ocorrem em relevo forte ondulado e montanhoso devido ao elevado potencial aos movimentos de massa (ANTUNES et al., 2013).

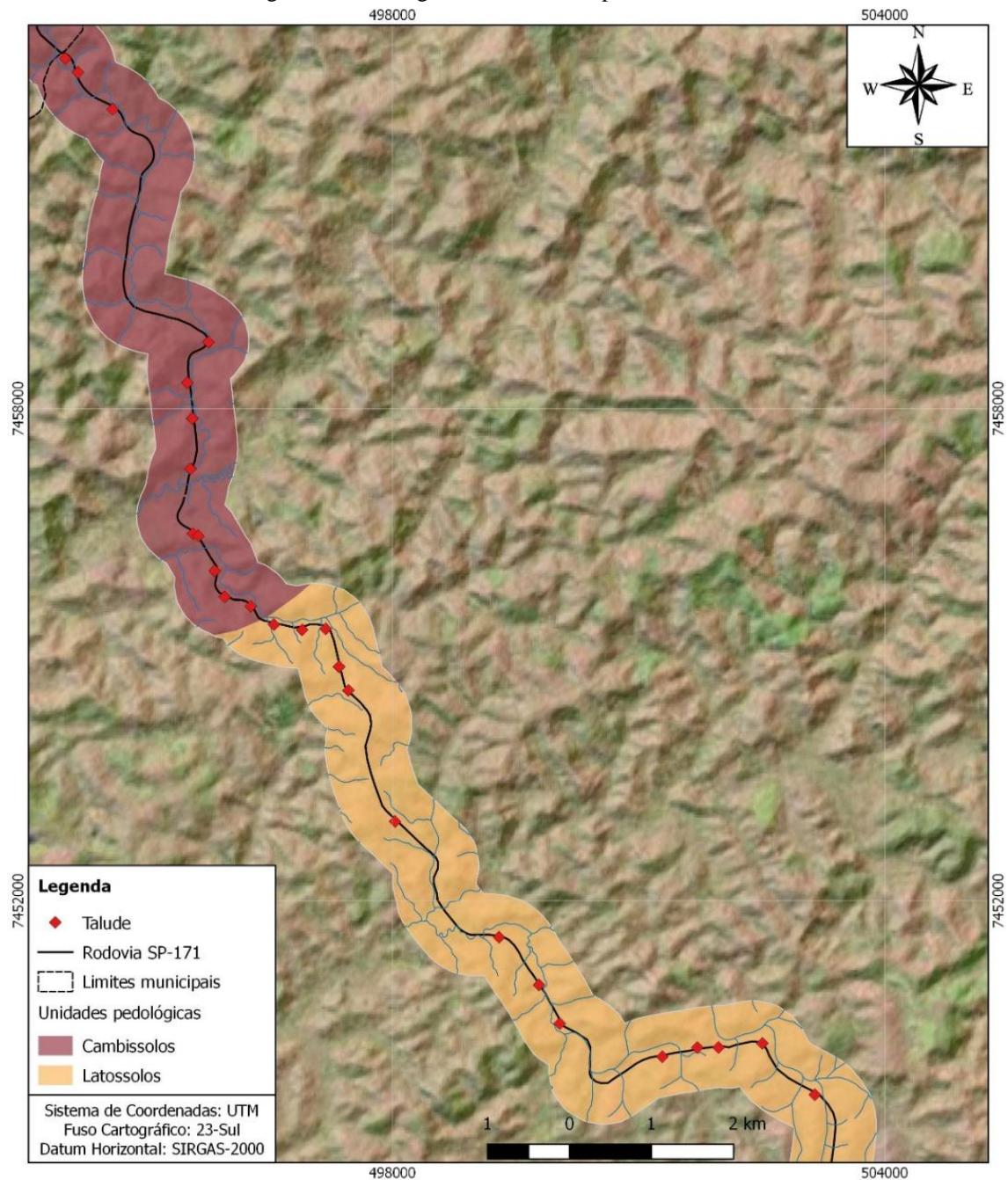
Figura 52- Pedologia da SP-171- Município de Guaratinguetá/SP



Os argissolos apresentam menor ocorrência ao longo da rodovia, trecho de Guaratinguetá/SP. São solos que possuem elevada erodibilidade (SOARES, 2005). Nestes solos, quando da ocorrência em relevo forte ondulado podem estar associados a afloramentos de rochas o que de fato confere com o levantamento de campo realizado.

Os cambissolos ocorrem em 11, 2 km² da rodovia, com predominância no trecho da rodovia no município de Cunha/SP, Figura 53. Em relevos acidentados indicam áreas potenciais de movimentos de massa (ANTUNES et al., 2013).

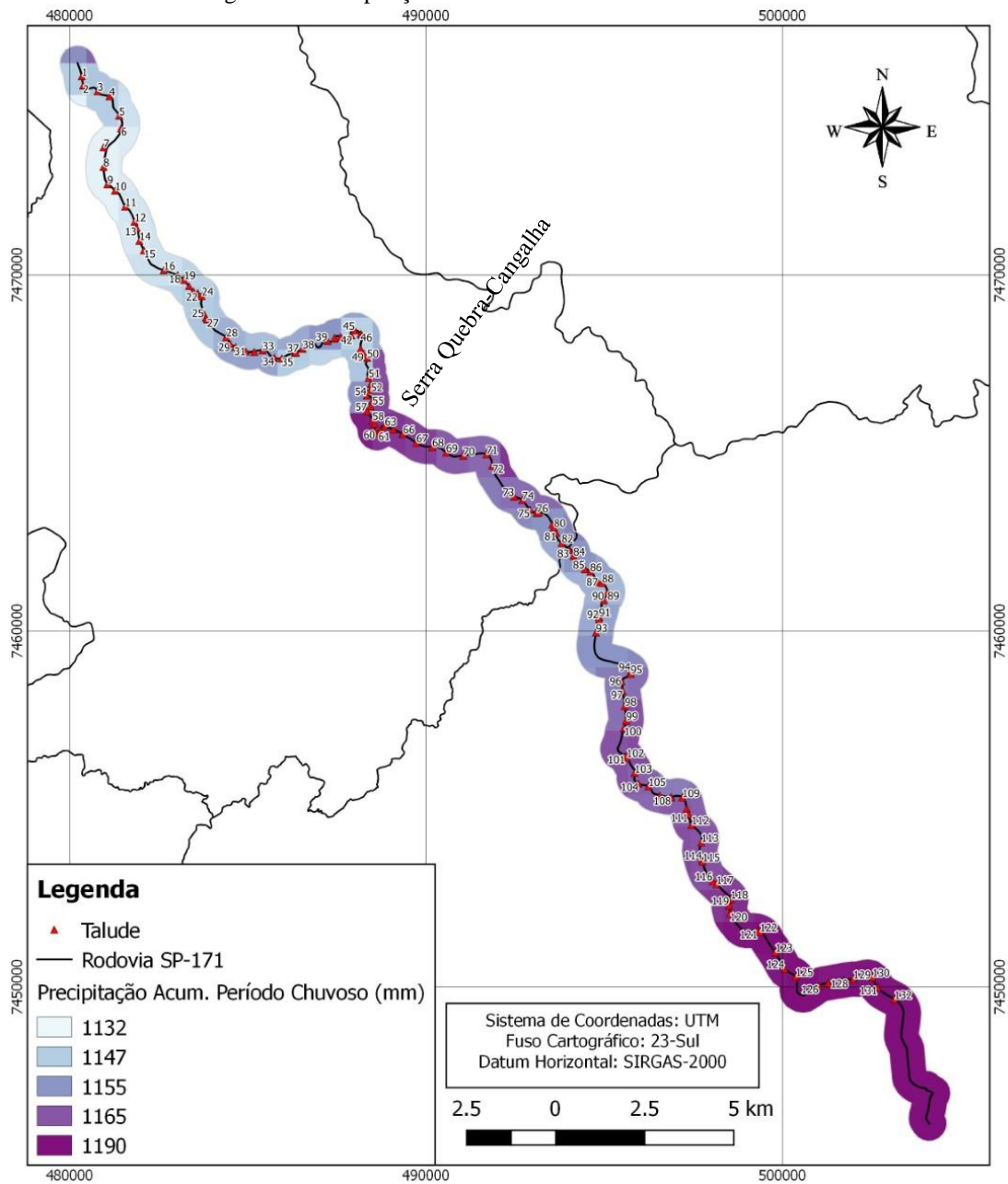
Figura 53- Pedologia SP-171- Município de Cunha/SP.



5.5.5 Pluviometria

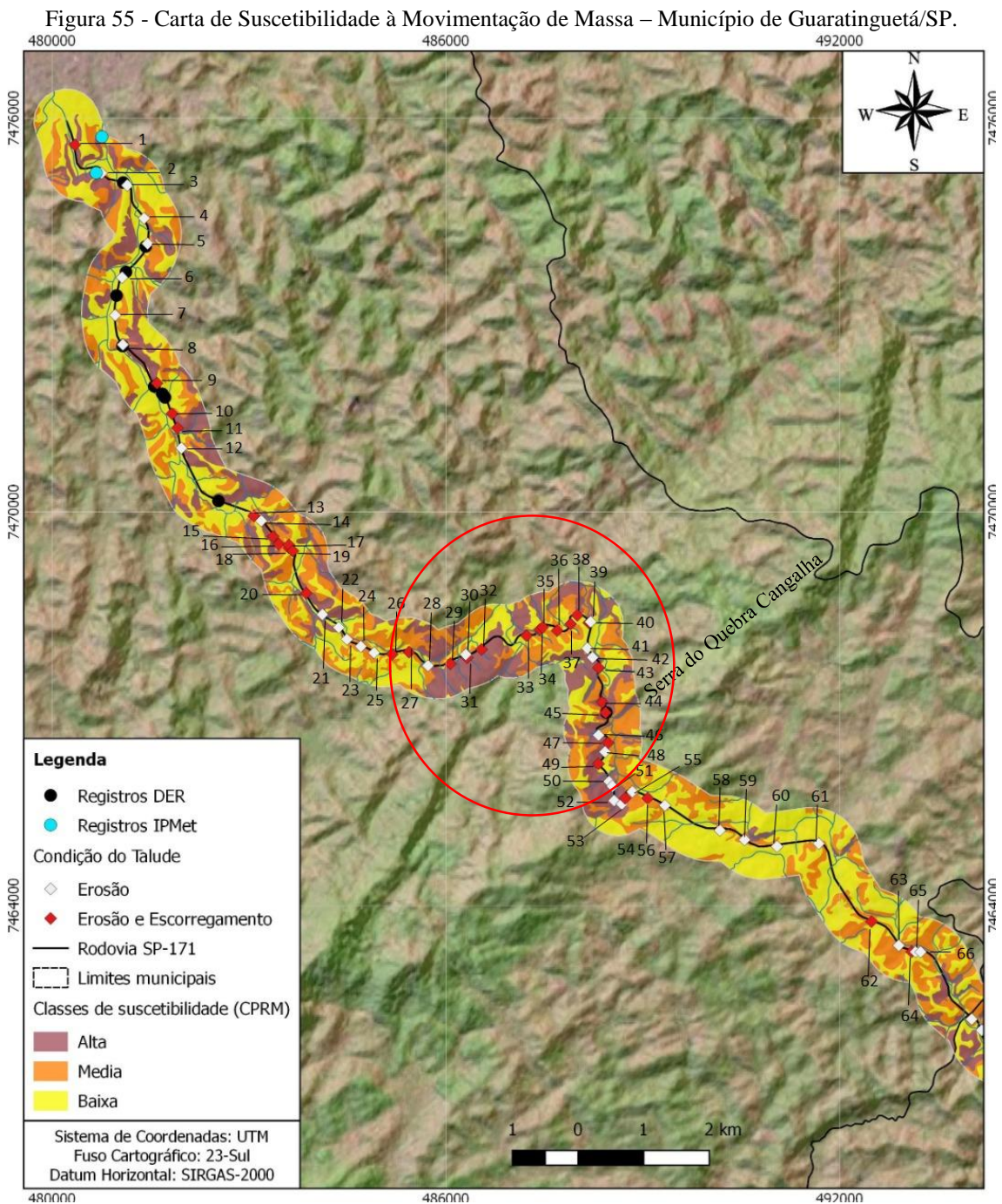
Pela distribuição das chuvas ao longo do ano da Rodovia SP-171, Figura 54, percebeu-se que as chuvas não são uniformemente distribuídas. A maior incidência de chuva ocorre próximo a Serra do Quebra Cangalha (do ponto 34 ao 63), com declividades acima de 20 graus. Nesse trecho foram levantados 29 (vinte e nove) taludes os quais apresentaram a condição mais crítica, ou seja, com pontos com escorregamentos e erosões.

Figura 54- Precipitação acumulada - Período Chuvoso SP-171



5.6 Informações das cartas do IPT (2015a e 2015b) e trabalho de campo

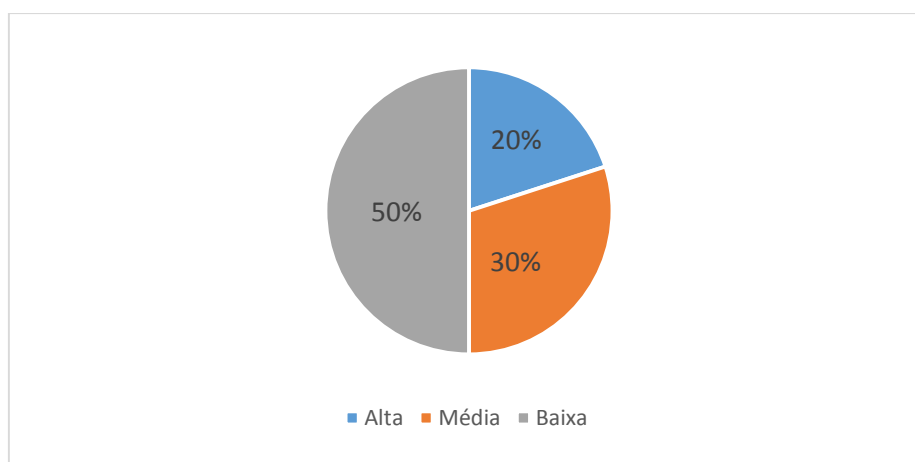
Os taludes com cicatrizes de deslizamentos, processos ativos de erosão e queda de blocos levantados no campo foram inseridos na Carta de Suscetibilidade à Movimentação de Massa do IPT (2015a), Figura 55, de forma a identificar a correspondência entre as classes de suscetibilidade trazidas pelas Cartas do IPT (2015a e 2015b) com os movimentos de massa observados em campo e pelos registros oficiais do IPMet e DER/SP.



Destaca-se pelo círculo em vermelho na Figura 56 o trecho mais crítico da Rodovia, sendo o trecho do ponto 28 (vinte e oito) ao 53 (cinquenta e três), local esse com presença de bacias de drenagem com alta suscetibilidade à geração de enxurrada, induzindo, ainda, solapamento de talude marginal. Pela observação de campo notou-se que os taludes dessa região estão em estado crítico necessitando de intervenções imediatas.

No trecho da Rodovia SP-171 localizado no município de Guaratinguetá/SP ocorreram dez das dezessetes intervenções da pista registradas pelo DER-SP nos últimos dez anos devido a quedas de barreiras. Dos dezessetes registros, 3 (três) estão localizados na classe de alta suscetibilidade, 5 (cinco) na classe de média suscetibilidade e 9 (nove) para classe de baixa suscetibilidade. Observou-se que a região de baixa suscetibilidade não refletiu o observado em campo. Pelos 3 (três) registros do IPMet, 2 (dois) estão localizados também no trecho da rodovia localizado no município de Guaratinguetá/SP na classe de alta suscetibilidade. A Figura 56 apresenta em termos percentuais os registros do DER-SP e do IPMet para movimentação de massa na SP-171.

Figura 56- Registros do DER e IPMet

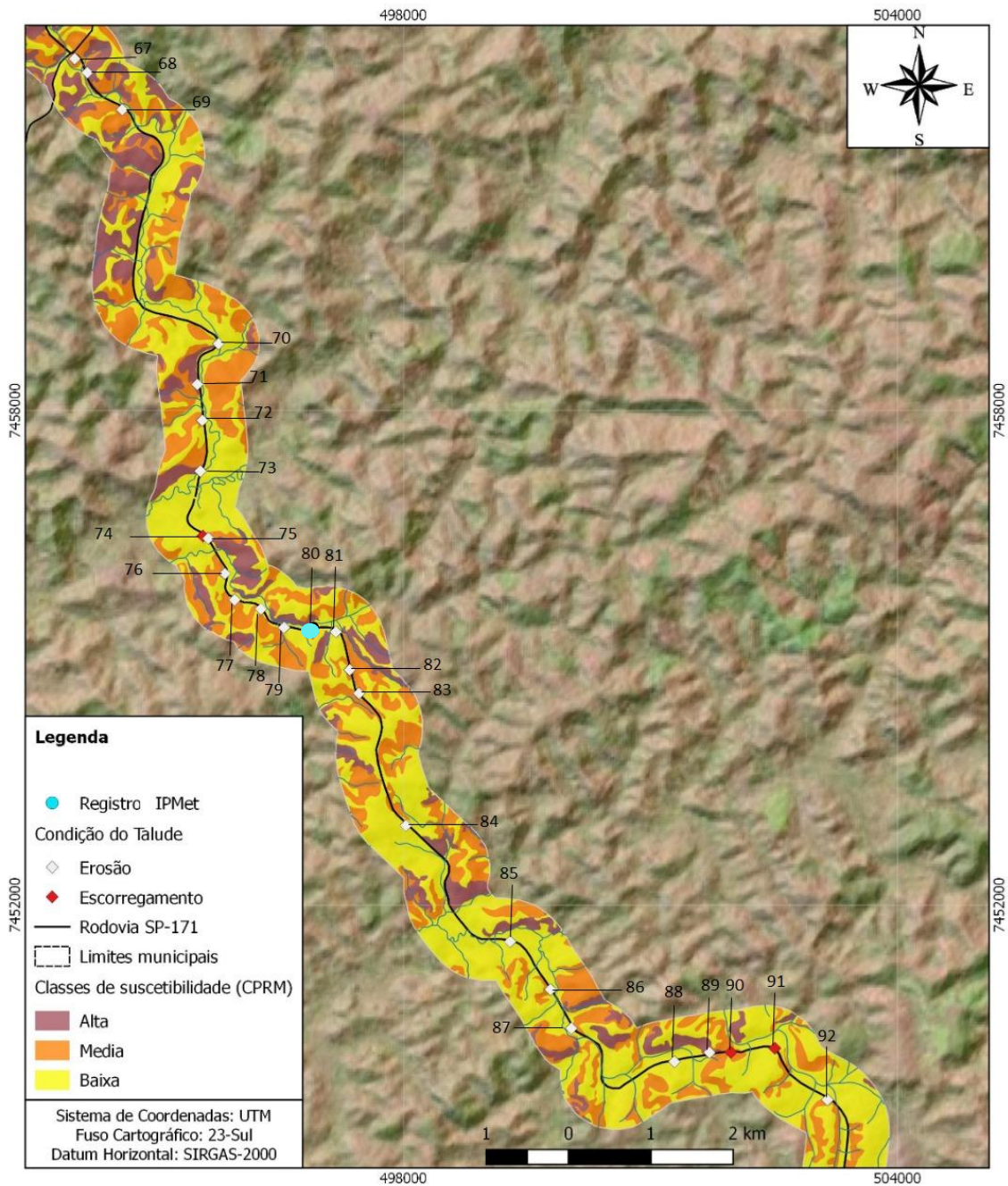


Fonte: Autora (2020).

O trecho da Rodovia SP-171 localizado no município de Cunha/SP, Figura 57, apresenta relevo mais suavizado com morrotes e morros baixos. Nesse trecho localiza-se o talude rompido em novembro de 2017, sob número 80. O rompimento deste talude consta nos registros cedidos pela defesa civil do município de Cunha/SP ao IPMet. Este talude, encontra-se numa região classificada como de baixa suscetibilidade à movimentação de massa pela Carta do IPT (2015b). Importante ressaltar que as Cartas de Suscetibilidade à Movimentação de Massa do IPT (2015a e 2015b) consideram apenas a suscetibilidade natural dos terrenos e não compreende locais onde houve ações antrópicas

como no caso dos cortes realizados nos taludes em decorrência da implantação de rodovias como a SP-171.

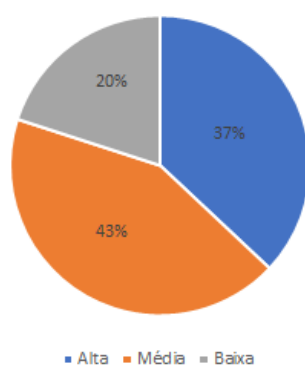
Figura 57 - Carta de Suscetibilidade à Movimentação de Massa IPT SP-171 – Município de Cunha/SP.



Fonte: Adaptado de IPT (2015b).

Pela inserção dos taludes levantados em campo nas respectivas cartas, têm-se que dos 92 (noventa e dois) taludes levantados em campo, 34 (trinta e quatro) estão classificados com alta susceptibilidade à movimentação de massa, 40 (quarenta) com média susceptibilidade e 18 (dezoito) com baixa susceptibilidade, a Figura 58 apresenta esses valores em termos percentuais.

Figura 58- Percentuais para cada classe de suscetibilidade.



Fonte: Autora (2020).

As características dos 92 taludes levantados em campo podem ser observadas na Tabela 29. De acordo com a numeração do talude segue sua respectiva suscetibilidade pela carta da do IPT (2015a e 2015b) e sua condição em campo.

Tabela 29- Relação dos taludes observados em campo com as Cartas do IPT

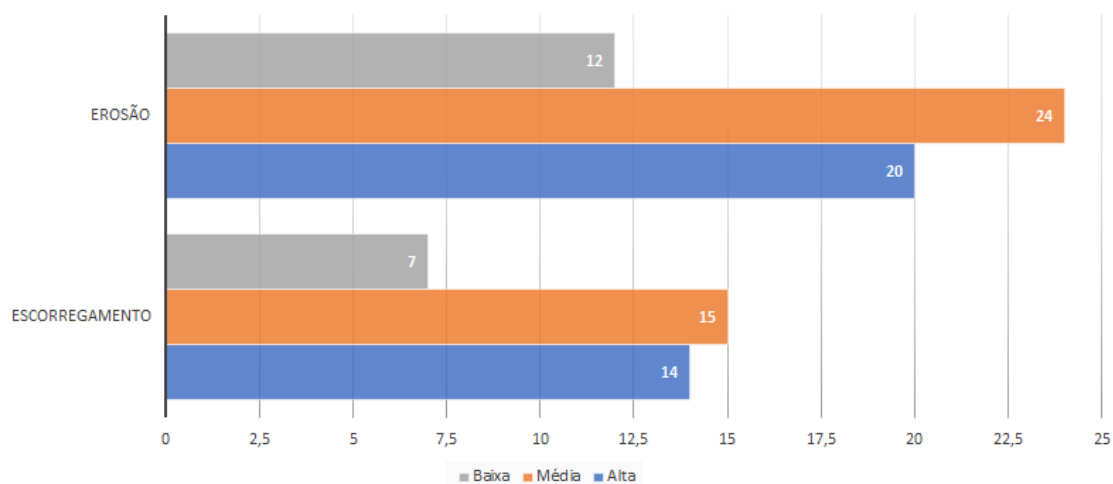
Ponto	IPT	Campo	Ponto	IPT	Campo	Ponto	IPT	Campo
1	Alta	Erosão e escorregamento	32	Alta	Escorregamento	63	Média	Erosão
2	Alta	Erosão	33	Alta	Erosão e escorregamento	64	Média	Erosão e escorregamento
3	Baixa	Erosão	34	Média	Erosão e escorregamento	65	Média	Erosão
4	Média	Erosão	35	Média	Erosão e escorregamento	66	Média	Erosão
5	Média	Erosão	36	Baixa	Erosão e escorregamento	67	Alta	Erosão
6	Baixa	Erosão	37	Baixa	Erosão e escorregamento	68	Alta	Erosão
7	Média	Erosão	38	Baixa	Erosão e escorregamento	69	Média	Erosão
8	Alta	Erosão	39	Baixa	Erosão e escorregamento	70	Baixa	Erosão
9	Alta	Escorregamento	40	Alta	Erosão	71	Alta	Erosão
10	Alta	Erosão e escorregamento	41	Baixa	Erosão	72	Média	Erosão
11	Alta	Erosão e escorregamento	42	Alta	Erosão	73	Alta	Erosão
12	Alta	Erosão	43	Alta	Erosão e escorregamento	74	Média	Erosão e escorregamento
13	Média	Escorregamento	44	Alta	Escorregamento	75	Alta	Erosão, voçorocas
14	Alta	Erosão	45	Alta	Escorregamento	76	Média	Erosão
15	Alta	Erosão e escorregamento	46	Alta	Erosão (rochas soltas)	77	Média	Erosão e Rocha soltas
16	Média	Erosão e escorregamento	47	Alta	Escorregamento	78	Média	Erosão
17	Média	Erosão e escorregamento	48	Alta	Erosão	79	Baixa	Erosão
18	Média	Erosão e escorregamento	49	Baixa	Erosão e escorregamento	80	Baixa	Erosão e escorregamento
19	Média	Erosão e escorregamento	50	Alta	Erosão	81	Baixa	Erosão
20	Alta	Erosão e escorregamento	51	Alta	Erosão	82	Média	Erosão
21	Alta	Erosão	52	Alta	Erosão (rochas soltas)	83	Média	Erosão
22	Alta	Erosão	53	Alta	Erosão (rochas soltas)	84	Baixa	Erosão
23	Média	Erosão	54	Alta	Erosão e escorregamento	85	Baixa	Erosão
24	Média	Erosão	55	Média	Erosão	86	Média	Erosão
25	Baixa	Erosão	56	Média	Erosão e escorregamento	87	Baixa	Erosão
26	Baixa	Erosão e escorregamento	57	Baixa	Erosão	88	Baixa	Erosão
27	Média	Erosão e escorregamento	58	Média	Erosão	89	Média	Erosão
28	Média	Erosão	59	Média	Erosão	90	Média	Erosão e escorregamento
29	Alta	Erosão e escorregamento	60	Média	Erosão	91	Média	Erosão e escorregamento
30	Média	Escorregamento	61	Média	Erosão	92	Média	Erosão
31	Alta	Erosão	62	Média	Escorregamento			

Fonte: Autora (2020).

As Cartas do IPT (2015a e 2015b) para a movimentação de massa apresentaram relativa conformidade com o observado em campo para as classes de alta e média suscetibilidade uma vez que 80% (oitenta) dos casos de movimentação de massa em campo ocorrem nas referidas classes.

Para a classificação de baixa suscetibilidade houve uma divergência entre a situação dos taludes observados em campo com as Cartas do IPT (2015a e 2015b), pois 18 (dezoito) taludes inseridos em localidades de baixa suscetibilidade apresentam cicatrizes de deslizamento e erosão. Como no caso do talude detalhado nesta pesquisa que veio a romper-se causando a interdição da Rodovia SP-171. A Figura 59 apresenta a quantidade de taludes levantados em campo para cada classe de suscetibilidade do IPT (2015a e 2015b), de acordo com a presença de processos ativos de erosão e cicatrizes de escorregamentos.

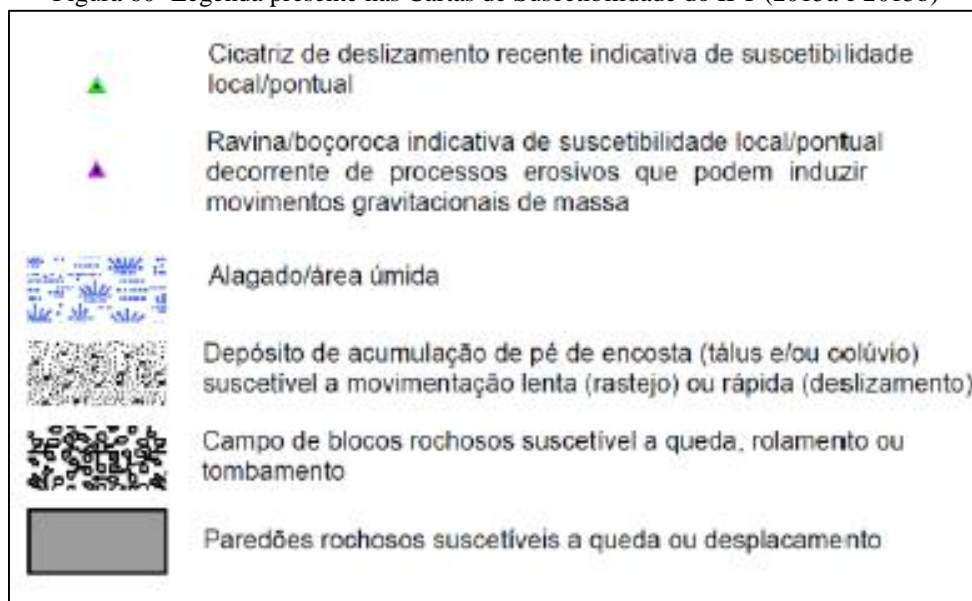
Figura 59- Relação entre as condições dos taludes observados em campo com as Cartas do IPT (2015a e 2015b).



Fonte: Autora (2020).

A Figura 60, mostra a legenda trazida nas cartas de suscetibilidade elaboradas pelo IPT (2015a e 2015b) para diversos municípios. Nota-se que nenhum dos itens presentes na legenda constam ao longo do trecho da Rodovia SP-171 nessa escala de abordagem, o que não condiz com o observado em campo. Por meio da observação de campo e dos registros do DER-SP e IPMet têm-se inúmeros casos indicativos de suscetibilidade à movimentação de massa, como escorregamentos, erosões do tipo ravinas e blocos de rochas suscetíveis a quedas e rolamentos.

Figura 60- Legenda presente nas Cartas de Suscetibilidade do IPT (2015a e 2015b)



Fonte: IPT (2015a e 2015b).

A estabilidade de um talude pode variar com o tempo devido à vários fatores, como pela interação solo/atmosfera e pelas intervenções humanas. Dessa forma, nenhuma carta de suscetibilidade à movimentação de massa é imutável, necessitando revisão e aprimoramento para atingir o que ocorre de fato no local.

5.7 Cenários de Suscetibilidade à Movimentação de Massa SP-171

Para os cinco cenários de volumes de chuva identificados nesta pesquisa, têm-se que o trecho da SP-171 localizado no município de Guaratinguetá/SP é o mais crítico. Esse fato deve-se, entre outros fatores, à elevada declividade. De acordo com Silva (2011), a declividade exerce um papel fundamental na infiltração e no escoamento superficial. Este, somado ao comprimento das vertentes, resulta em processos erosivos superficiais de maior ou menor intensidade. Jesus (2013) percebeu que a maior parte das erosões do tipo voçoroca no município de Anápolis- GO ocorria em declividades superiores a 15 graus.

Como o desencadeamento e a evolução dos movimentos de massa numa determinada declividade estão intimamente ligados aos volumes de água, é necessária uma maior reflexão sobre essa variável como agente deflagrador dos movimentos de massa em taludes rodoviários considerando não apenas o volume de chuva mas também a intensidade das chuvas num determinado intervalo de tempo.

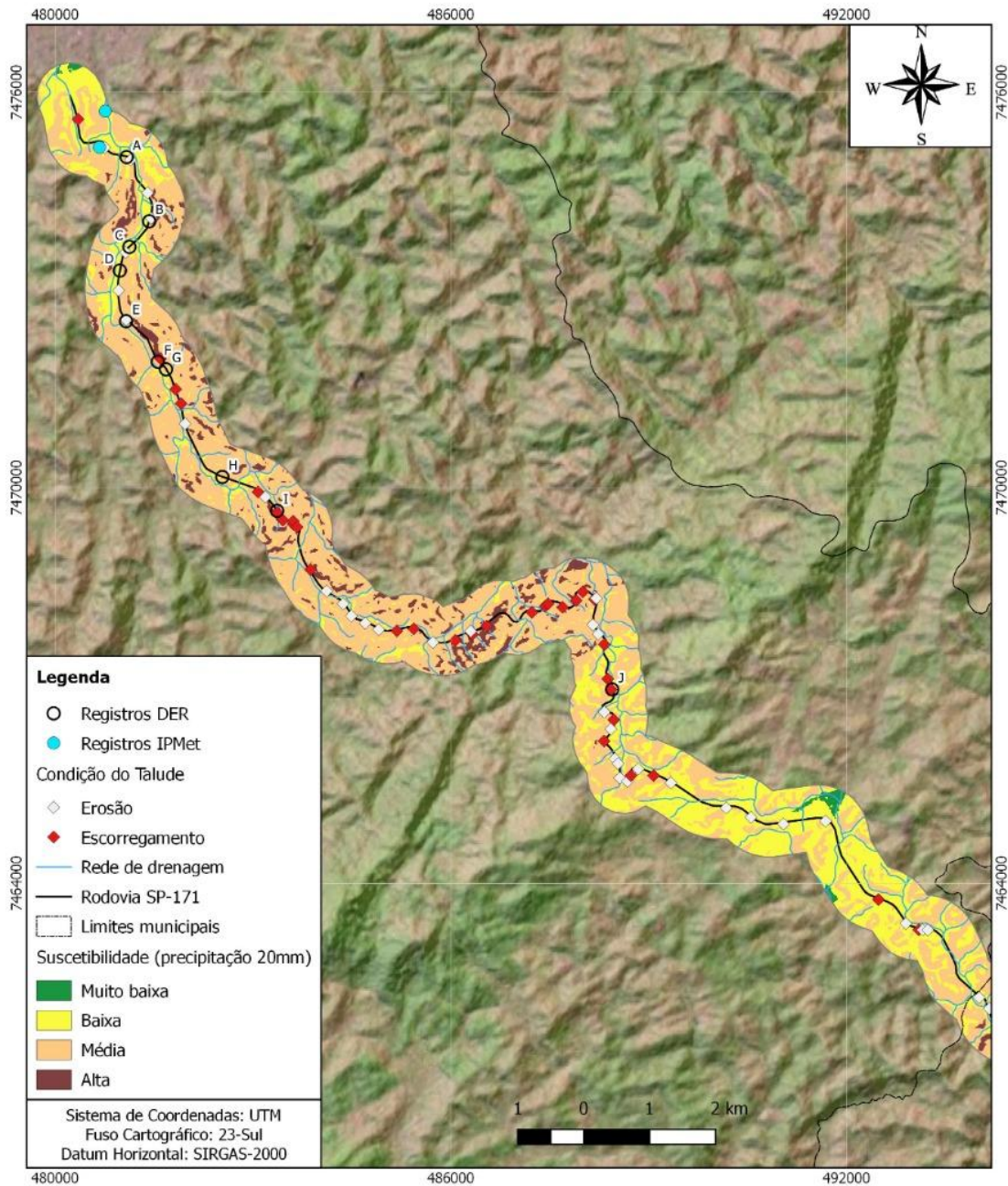
Outros fatores devem ser considerados ao analisar os impactos das chuvas nos movimentos de massa, sendo estes: velocidade e direção dos ventos, cobertura vegetal tamanho das gotas e qualidade da água da chuva (SALES, FÁZIO e FRANCISCO, 2006). Dessa forma maior reflexão deve-se fazer em relação à atuação da ação das chuvas nas encostas da SP-171 além da realizada nesta presente pesquisa. Considerou-se o volume de chuva recorrentes na SP-171 sendo de 20, 50, 100, 250, e para um cenário mais catastrófico futuro de 500 milímetros.

5.7.1 Chuvas de 20 milímetros

Entre os anos de 2009 a 2010 os municípios de Cunha/SP e Guaratinguetá/SP foram atendidos pelo Instituto Geológico durante a operação do Plano Preventivo de Defesa Civil relacionado a deslizamentos de encostas registrando eventos de deslizamento de terra para chuva na faixa de 20 mm/d na região (SANTORO et al., 2008).

Nos registros do DER-SP, constam dez interdições por queda de barreira cujos valores de chuva estão abaixo, ou próximos aos 20 mm/d. Em 08/01/2017 ocorreram três interdições na Rodovia SP-171. Nesses eventos o acumulado de chuva registrado em 24 horas foi de 12,68 milímetros, totalizando um acumulado de 16,07 milímetros em 96 horas. Outro registro com limiars de chuva nessa faixa de 20 mm/d ocorreu em 22/01/2018, com dois pontos interditados da SP-171, conforme ANEXO. Os taludes que romperam com dessa intensidade de chuva estão apresentados na Figura 61 com as seguintes letras: D, G, H, I, J, K, L, M, N e Q.

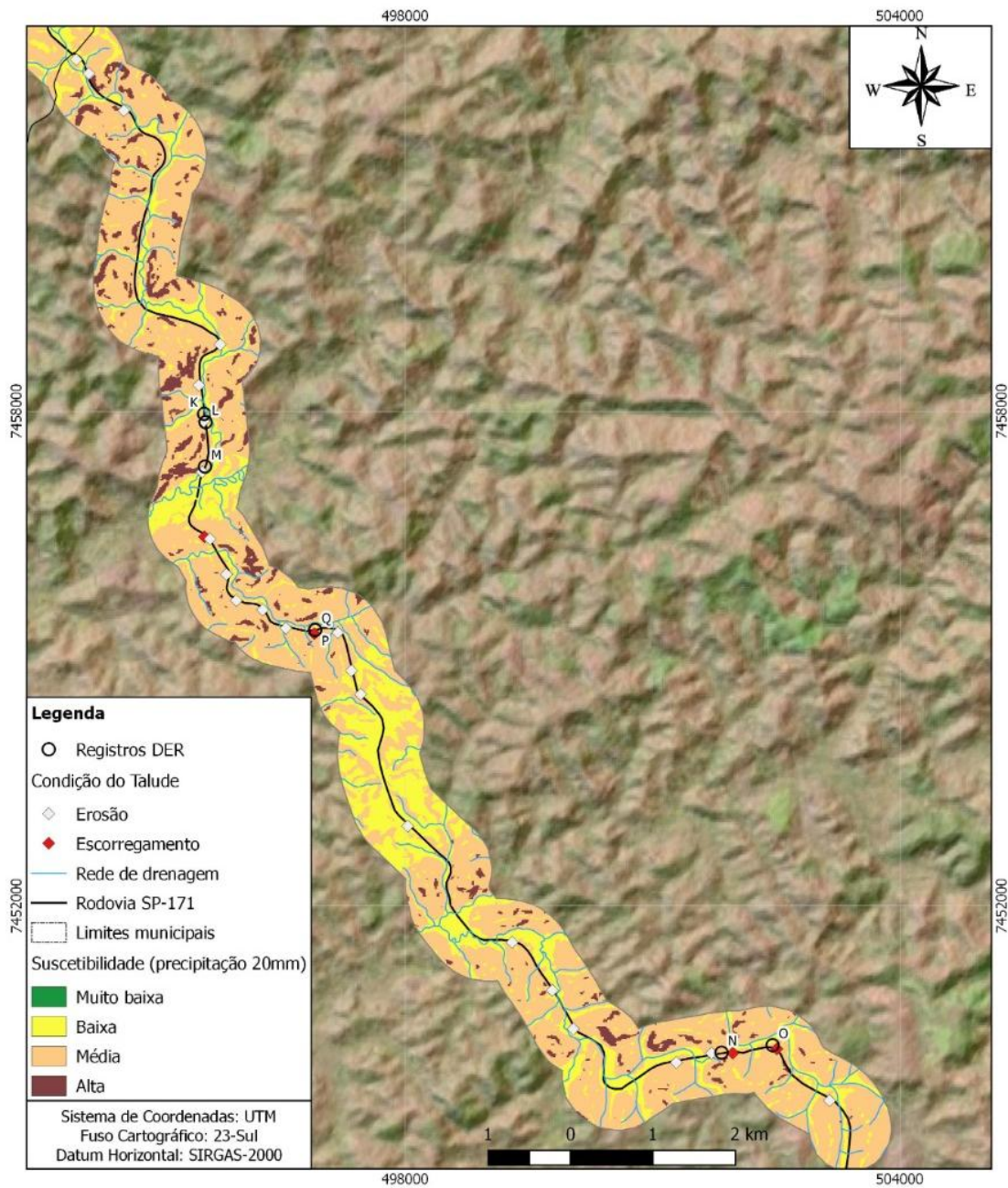
Figura 61- Cenário de suscetibilidade para 20 milímetros de chuva- Trecho SP-171- Município de Guaratinguetá/SP



Fonte: Autora (2020).

Destacam-se as interdições da SP-171 por queda de barreiras ocorridas com valores pluviométricos nulos ou próximos a zero no período de 24 horas, pontos D e J, Figura 61 e pontos N e Q, Figura 62. Esses eventos apresentaram chuvas de 20 milímetros em 96 horas. De acordo com Gerscovich (2016 p. 61) “processos de fluxo interno continuam a ocorrer após as chuvas terem cessado.”, fato este que justificaria a ocorrência dessas rupturas na ausência de chuva.

Figura 62- Cenário de suscetibilidade para 20 milímetros de chuva- Trecho SP-171- Município de Cunha/SP.



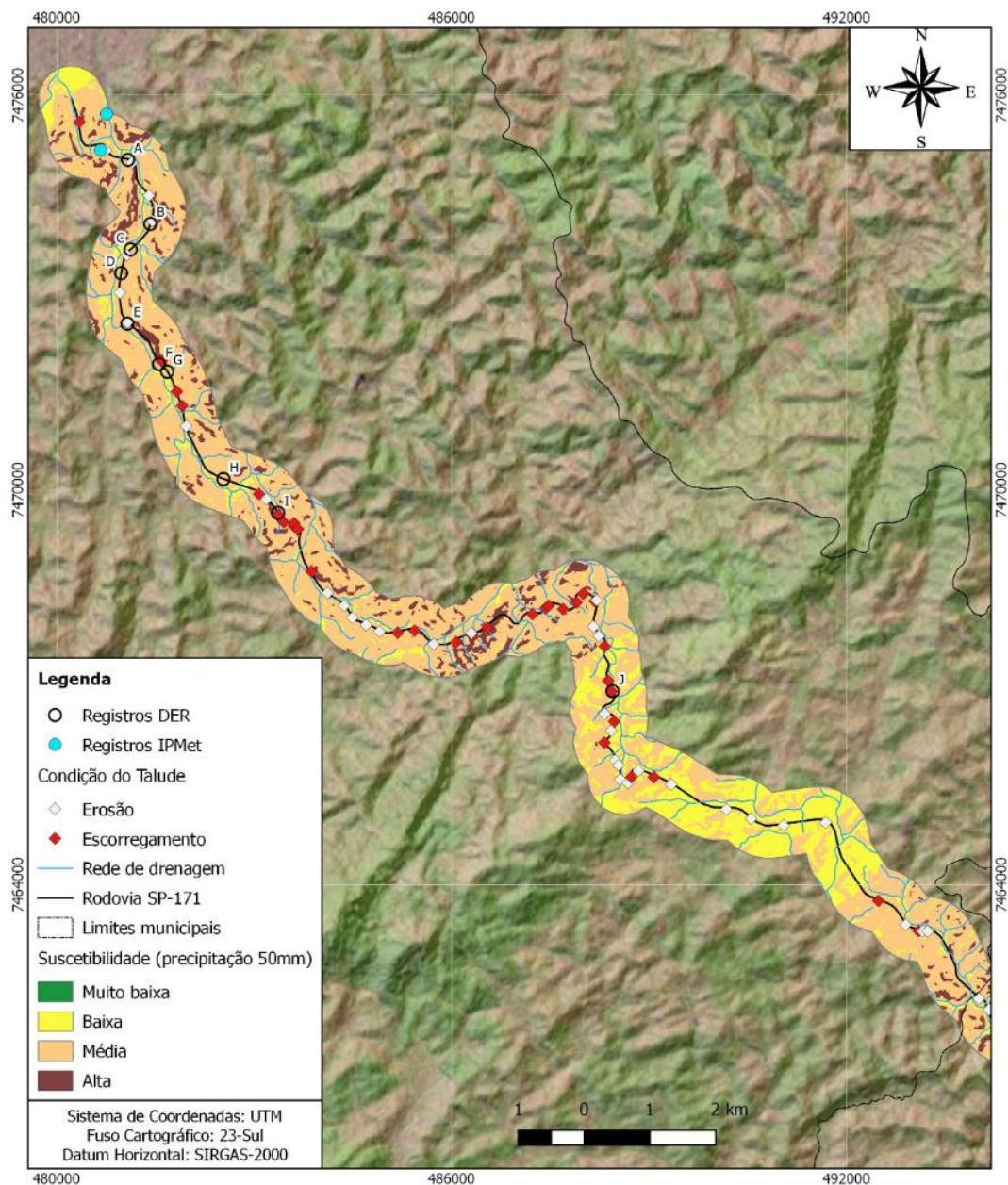
Fonte: Autora (2020).

Todos os dez taludes rompidos com acumulado de precipitação na faixa de 20 mm/d estão localizados na classe de média suscetibilidade pelo cenário proposto. Trechos que apresentam baixa e muito baixa suscetibilidade à movimentação de massa para chuvas de 20 mm, são trechos que apresentam declividades abaixo de 5 graus.

5.7.2 Chuvas de 50 milímetros

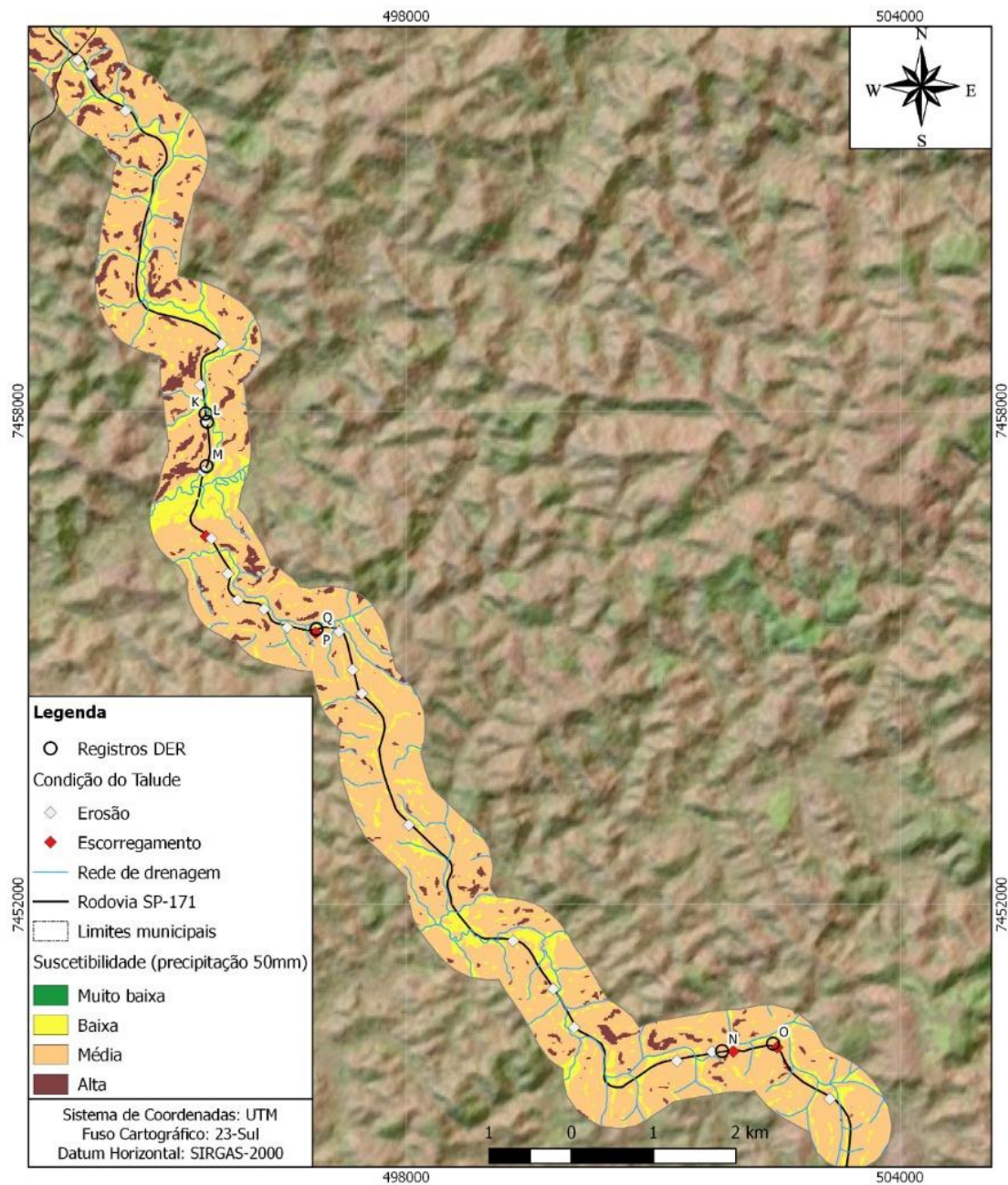
No dia 10/01/2013 ocorreram três eventos de deslizamento de terra que resultaram em interdição da SP-171, de acordo com os registros do DER-SP. Para esses eventos o acumulado de chuva ocorrido foi de 35, 81 mm/d. Outros dois eventos foram deflagrados nessa faixa de precipitação no dia 14/12/2015 com chuvas de 34,58 mm/d. Os pontos supracitados apresentam-se com as letras A, C, E, O e P nos cenários de suscetibilidade à movimentação de massa, Figura 63 e 64.

Figura 63- Cenário de suscetibilidade para 50 milímetros de chuva- Trecho SP-171- Município de Guaratinguetá/SP.



Fonte: Autora (2020).

Figura 64- Cenário de suscetibilidade para 50 milímetros de chuva- Trecho SP-171- Município de Cunha/SP.



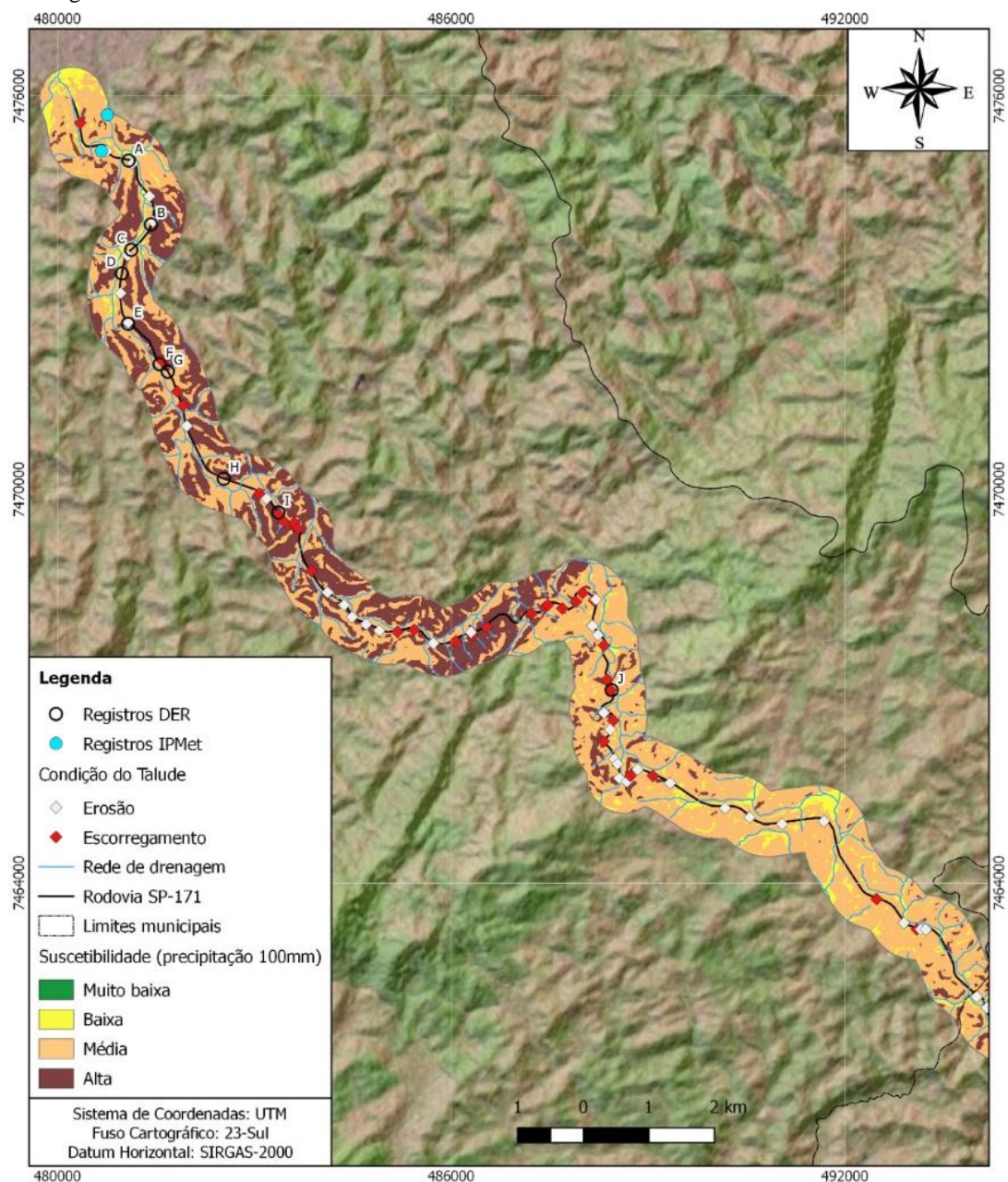
Fonte: Autora (2020).

Observa-se pelo cenário de suscetibilidade à movimentação de massa da SP-171 que chuvas de 50 milímetros eleva de alta para muito alta a suscetibilidade em locais com declividades superiores a 20 graus.

5.7.3 Chuvas de 100 milímetros

No dia 11/01/2013 ocorreu interdição de um ponto da SP-171 por ruptura de talude devido à chuva de 73,93 mm/d. Este acumulado de precipitação é próximo ao valor considerado crítico pelo Plano Preventivo de Defesa Civil – PPDC, em 72 horas (SANTORO et al., 2008). Nesse evento o acumulado de chuva para 72 horas ultrapassou 110 milímetros, estando esse ponto, sob letra B, Figura 65, localizado em local de alta suscetibilidade à movimentação de massa.

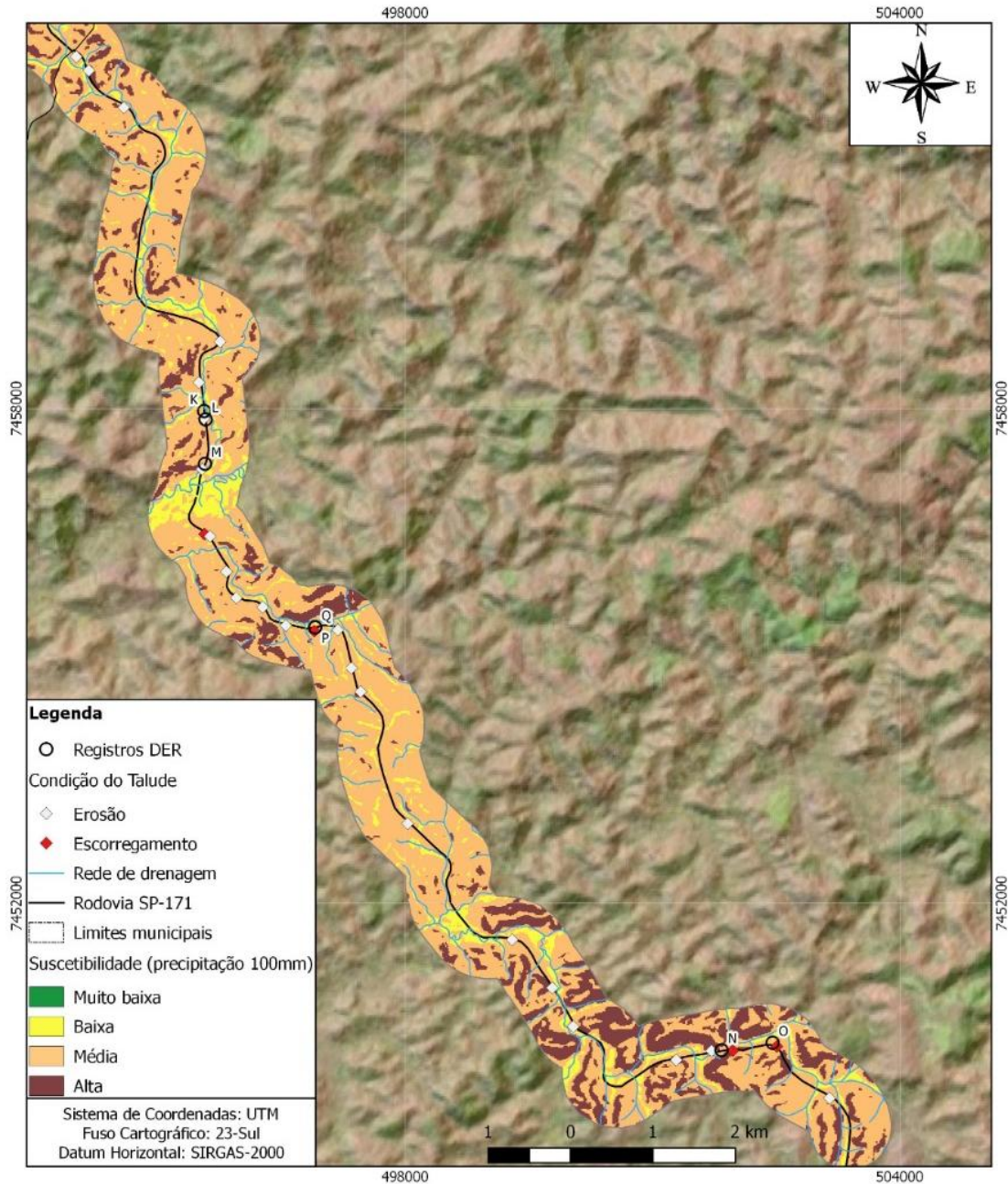
Figura 65- Cenário de suscetibilidade para 100 milímetros de chuva- Trecho SP-171- Município de Guaratinguetá/SP.



Fonte: Autora (2020).

Para chuvas de 100 milímetros somente regiões com declividades abaixo de 5 graus apresenta baixa suscetibilidade à movimentação de massa. A Figura 66 apresenta o trecho da SP-171 no município de Cunha/SP.

Figura 66- Cenário de suscetibilidade para 100 milímetros de chuva- Trecho SP-171- Município de Cunha/SP.



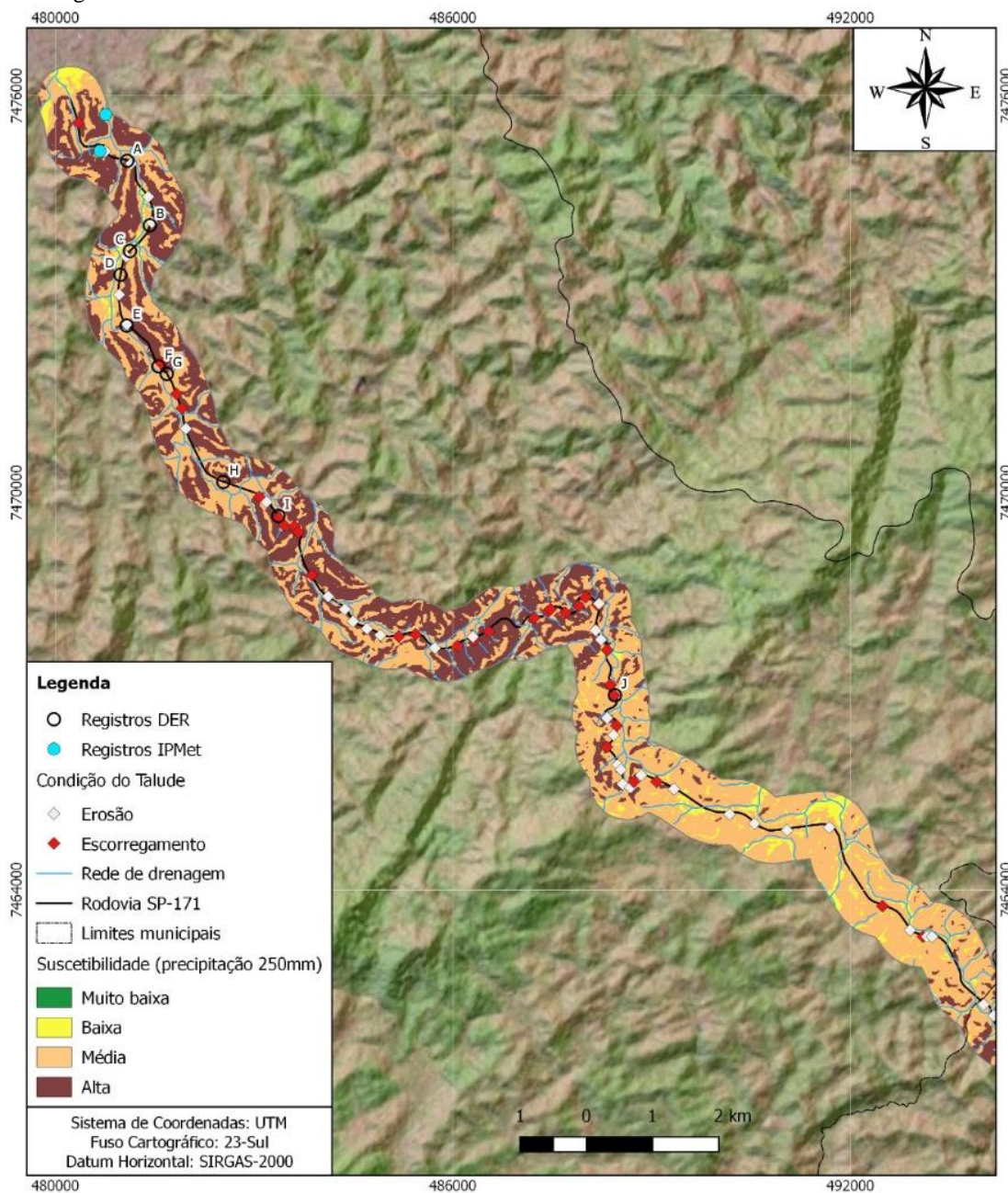
Fonte: Autora (2020).

O PPDC estabeleceu para os municípios localizados no Vale do Paraíba e Serra da Mantiqueira acumulados críticos de precipitação para o período de 72 horas (3 dias) de 100 mm para o Vale histórico e 80 mm para a Serra da Mantiqueira (SANTORO et al., 2008).

5.7.4 Chuvas de 250 milímetros

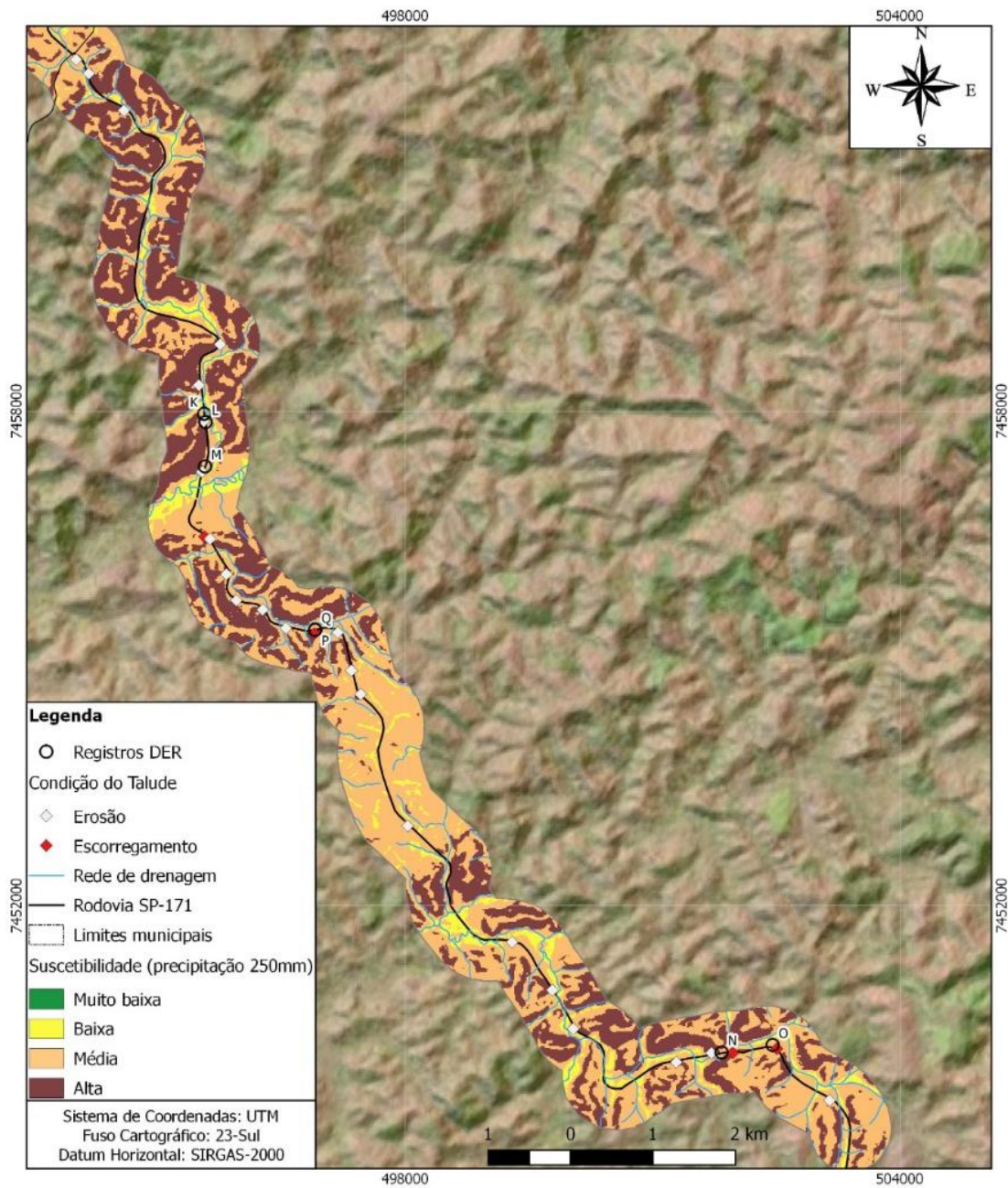
Pelo levantamento dos acumulados de chuva realizado para o período de 30 dias anteriores às rupturas apresentadas nos registros de interdição da SP-171 do DER-SP, tem-se que oito rupturas ocorreram com acumulados próximos aos 250 milímetros. Estes pontos estão apresentados na Figura 67 com as letras, A, B, C, E, e na Figura 68 com as letras K, L, M, e N, estando todos estes pontos localizados em regiões de média e alta suscetibilidade à movimentação de massa.

Figura 67- Cenário de suscetibilidade para 250 milímetros de chuva- Trecho SP-171- Município de Guaratinguetá/SP.



Fonte: Autora (2020).

Figura 68- Cenário de suscetibilidade para 250 milímetros de chuva- Trecho SP-171- Município de Cunha/SP

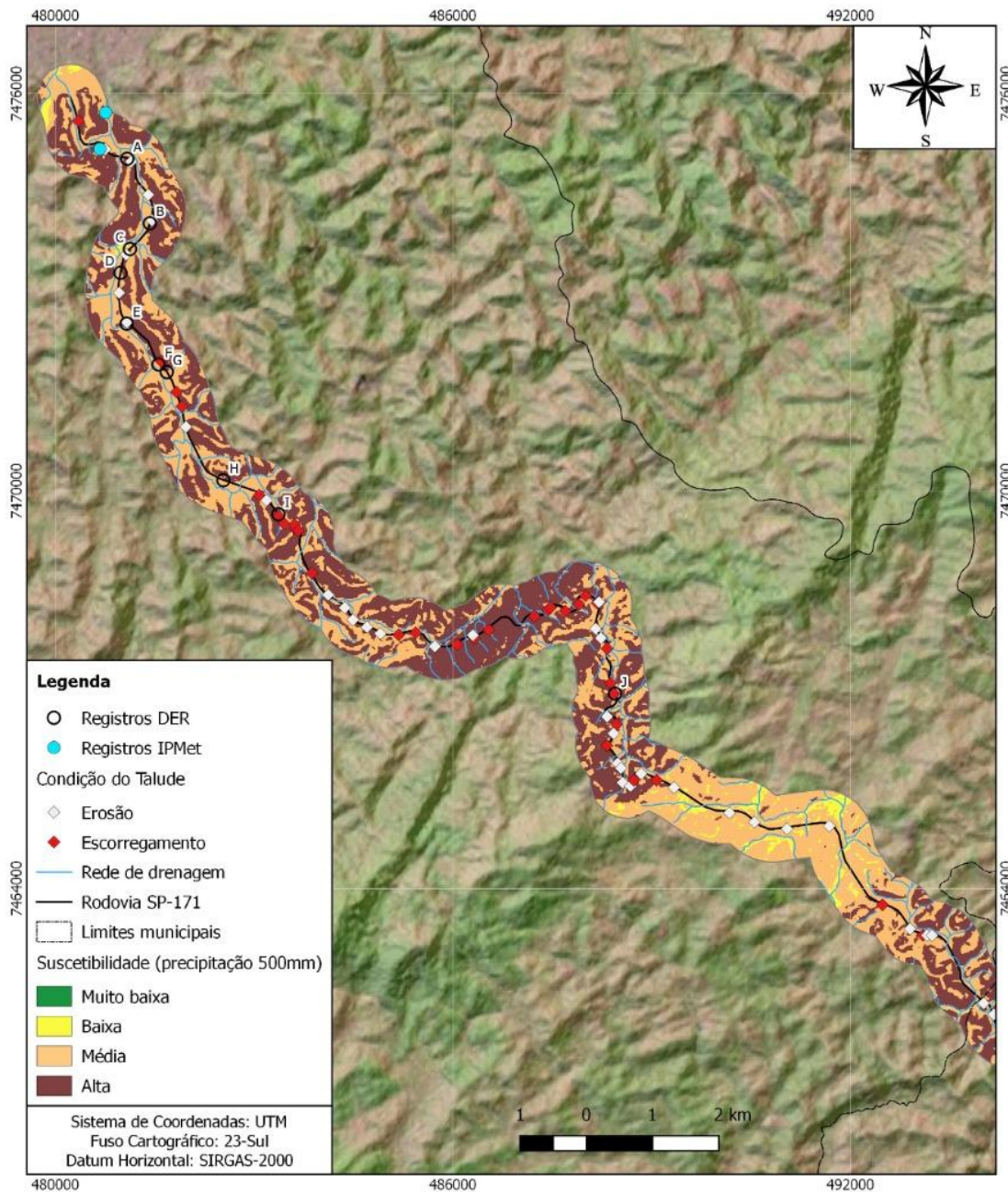


Fonte: Autora (2020).

5.7.5 Chuvas de 500 milímetros

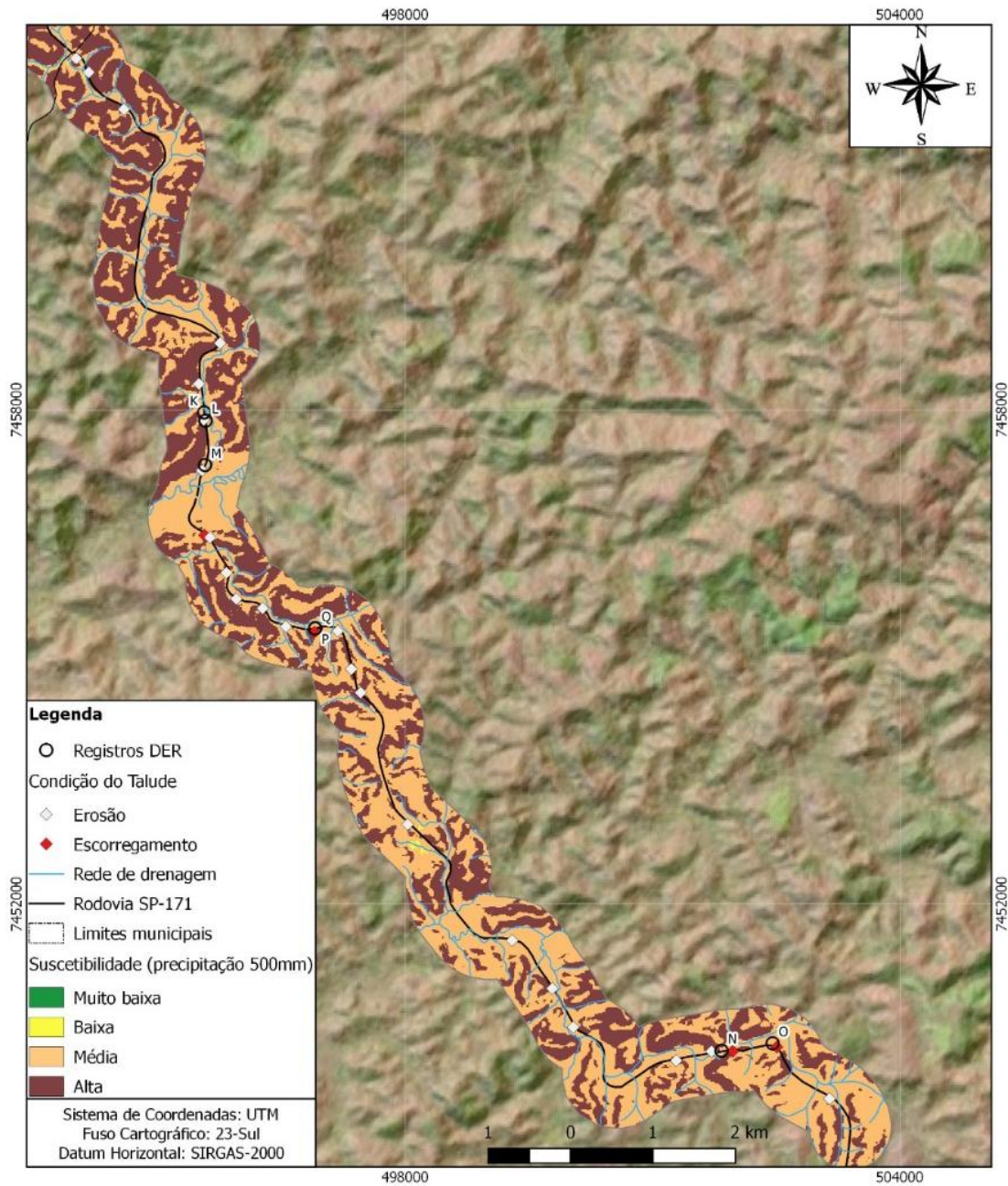
A Rodovia SP-171 estaria em condições de média a alta suscetibilidade à movimentação de massa em praticamente toda sua extensão mediante a chuvas de 500 milímetros, Figuras 69 e 70. Somente para declividades inferiores a 5 graus é que a Rodovia SP-171 estaria em condições de baixa suscetibilidade.

Figura 69- Cenário de suscetibilidade para 500 milímetros de chuva- Trecho SP-171- Município de Guaratinguetá/SP.



Fonte: Autora (2020).

Figura 70- Cenário de suscetibilidade para 500 milímetros de chuva- Trecho SP- 171- Município de Cunha/SP.



Fonte: Autora (2020).

Em janeiro de 2010 a prefeitura de Angra dos Reis /RJ registrou o acumulado de chuva de 417 milímetros para um período inferior a 48 horas, desastre que causou a morte de 9 pessoas e 80 desaparecidas (PREFEITURA MUNICIPAL DE ANGRA DOS REIS / RJ, 2010). Chuvas nessa faixa de 500 milímetros têm ocorrido com certa frequência nos últimos anos no Brasil, como o registrado em João Pessoa em 2019 em quatro dias (JORNAL DA PARAÍBA, 2019). Outro evento recente com extremo de precipitação

ocorreu no Pará em fevereiro de 2020 com 500,9 milímetros de chuva (OLIBERAL.COM, 2020).

Os taludes que em campo apresentaram algum tipo de movimentação de massa, processos erosivos ou cicatrizes de escorregamentos estão todos localizados na faixa de média a alta suscetibilidade de acordo com o cenário de 500 milímetros de chuva. Para todos os cenários de precipitação, o trecho mais crítico da Rodovia SP-171 localiza-se no município de Guaratinguetá/SP por apresentar um relevo mais acentuado com presença de serras. Ressalta-se a mudança nas condições de estabilidade dos taludes após a Serra do Quebra Cangalha cujo trecho passa a apresentar maior estabilidade.

Pela análise dos cenários apresentados observou-se que o talude detalhado nessa presente pesquisa, letra Q, cuja ruptura foi registrada pela Defesa Civil do município de Cunha/SP ao IPMet e pelo DER-SP, está inserido numa região de média suscetibilidade para chuvas a partir de 20 milímetros passando para a classe de alta suscetibilidade à movimentação de massa com chuvas de 250 milímetros.

Em termos de áreas a Tabela 30 apresenta os valores obtidos para cada cenário proposto.

Tabela 30- Área de suscetibilidade a movimentação de massa.

Cenários de pluviosidade	Classe de suscetibilidade			
	Alta (Km ²)	Média (Km ²)	Baixa (Km ²)	Muito Baixa (Km ²)
20 milímetros	2.607656	29.094844	12.820313	0.161094
50 milímetros	3.148750	32.829531	8.705625	-
100 milímetros	10.775313	30.274219	3.634375	-
250 milímetros	16.222959	25.687031	2,773906	-
500 milímetros	20.148281	23.805469	0.730156	-

Fonte: Autora (2020).

Para todos os cenários ocorreram regiões com alta suscetibilidade à movimentação de massa, fato justificado pelas características de solo da região com alto potencial de erodibilidade e pela baixa capacidade de infiltração (SOARES, 2005). Os cenários obtidos apresentam boa representatividade das condições observadas em campo.

Importante salientar que movimentações de massa na SP-171 demonstram estarem associadas à acumulados de chuvas próximos a 20 mm/d de acordo com os registros do DER-SP, como a ruptura do talude rodoviário ocorrido em 29 de novembro detalhado nessa presente pesquisa, ruptura esta ocorrida num acumulado de chuva de aproximadamente 130 milímetros em 30 dias e com valor próximo a zero para o

acumulado de 24 horas. Baixos volumes pluviométricos tem menor tempo de retorno e, portanto, ocorrem com maior frequência evidenciando a necessidade de medidas de correção a fim de evitar desastres e interdições recorrentes. Para a segurança dos usuários da SP-171 sistemas de alertas deveriam ser implantados como o Protocolo de Segurança da Rodovia Tamoios o qual determina que, ao atingir 100 mm, o trecho seja interditado devido ao risco de queda de barreiras.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Neste trabalho foi feito um estudo sobre a suscetibilidade aos movimentos de massa que ocorrem ao longo da Rodovia SP- 171, trecho Guaratinguetá/SP a Cunha/SP, partindo da ruptura de um talude em 29 de novembro de 2017, por ser considerado representativo dos problemas geológico-geotécnicos que ocorrem na área. Para os demais taludes da Rodovia SP-171 fez-se a classificação de acordo com a condição do talude verificada em campo. Por meio de técnicas cartográficas de sobreposição de mapas temáticos e estudo do meio físico no campo, obteve-se cinco cenários para chuvas de 20, 50, 100, 250 e 500 milímetros.

Pelas cartas de suscetibilidade à movimentação de massa do IPT (2015a e 2015b), que considera apenas a suscetibilidade natural dos taludes, observa-se que a Rodovia SP-171 está inserida numa região que apresenta diversos pontos em regiões de alta e média suscetibilidade à movimentação de massa. Como o deslizamento de terra estudado nessa presente pesquisa encontrava-se numa região de baixa suscetibilidade à movimentação de massa segundo a carta do IPT (2015b), atentou-se para a questão de que outros taludes pudessem estar sob a mesma condição fato este que foi confirmado pelo trabalho de campo.

Por meio das observações de campo conclui-se que, devido à fragilidade da Rodovia SP-171 frente aos movimentos de massa, é necessário um constante monitoramento e manutenção para que os sedimentos oriundos dos taludes com erosão possam não comprometer as galerias e sistemas de drenagem. Observou-se também que muitos taludes em campo apresentavam problemas de movimentação de massa como escorregamentos, erosões e blocos soltos instáveis.

Os cenários apresentados neste estudo deram-se na tentativa de abordar a fragilidade da Rodovia SP-171 frente aos movimentos de massa. Procurou-se demonstrar a importância das chuvas na estabilidade dos taludes nesta região, fato esse observado em campo e pelos registros de interdições da Rodovia SP-171 fornecidos pelo DER-SP. O cenário de 100 milímetros de chuva foi o que mais se aproximou das condições de instabilidade observadas no campo e com os registros do DER - SP. Tais resultados indicaram que os movimentos de massa ocorreram para acumulados próximos a 100 milímetros em dez dias e para a ocorrência de três dias consecutivos de chuva. As chuvas diárias (24h) demonstram não serem preponderante na ocorrência dos processos de movimentos de massa estudados.

Importante destacar o aumento da suscetibilidade à movimentação de massa para chuvas de 500 milímetros no trecho da Rodovia SP-171 localizado no município de Cunha / SP. Também é importante destacar as condições das encostas próximas à Serra do Quebra Cangalha devido à presença de rochas soltas instáveis, intenso processo de erosão e grande número de encostas com marcas de deslizamentos.

Estudos futuros sobre limites de precipitação que considerem não apenas o volume de chuva, mas também a questão temporal são recomendados para a continuidade desse trabalho. Também, a região onde se encontra a Rodovia SP-171 é promissora para realização de estudos sobre a geometria das encostas e a influência da vegetação na sua estabilidade.

REFERÊNCIAS

ALTRICHTER, G & GRAMANI, M. F. **Deslizamentos e Corrida de Lama no Km 52 da Rodovia dos Imigrantes**. Cobranseg, 2014.

ANTUNES, F. dos S. CAMPOS, T. M. P de. POLIVANOV, Helena. CALDERANO, S. B. ANDRADE, A. G de. **Desenvolvimento de classes e unidades geo-pedológicas a partir da interação entre a pedologia e a geotecnia**. Revista Luso-Brasileira de Geotecnia n.º 127 – Março 13 – pp. 61-79, 2013.

ARRAIS, L. de S. **Estudo geológico e geotécnico dos solos residuais do pré-cambriano da região da rodovia SP 171**. Monografia do Curso de Engenharia Civil UNESP – Guaratinguetá, 2000.

BANCO DE DADOS CLIMÁTICOS DO BRASIL. Embrapa Monitoramento por Satélite, 2003.

Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/bdclima/index.html>

Acesso em: 11-10-2020

BANDEIRA, A.P.N. **Mapa de risco de erosão e escorregamento das encostas com ocupações desordenadas no município de Camaragibe-PE**. Universidade Federal de Pernambuco, 2003.

BAZZAN, T. **Análise da Suscetibilidade a Escorregamentos no Município de Guaratinguetá/SP**. Monografia do Curso de Introdução ao Geoprocessamento (SER-300). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 2018.

BENESSIUTI, M. F. **Estudo dos mecanismos de instabilidade em solos residuais de biotita-gnaiss da Bacia do Ribeirão Guaratinguetá**. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia – UNESP/Bauru, 2011.

BITAR, O. Y. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações : 1:25.000** (livro eletrônico): nota técnica explicativa / coordenação Omar Yazbek Bitar. -- São Paulo : IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo ; Brasília, DF : CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014.

BITAR, O. Y. **Guia Cartas geotécnicas: orientações básicas aos municípios** / autores e organizadores Omar Yazbek Bitar, Carlos Geraldo Luz de Freitas, Eduardo Soares de Macedo. -- São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2015.

BORMA, L. de S.; JÚNIOR, G. de F. N. G.; LUIZ, G.C. **Interação solo-planta-atmosfera e o papel dos solos não saturados**. In: CAMAPUM de Carvalho, J. *et al.* Solos não saturados no contexto geotécnico. 2015. 759p. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2015.

BRADY, N.C; WEIL, R.R. **The nature and properties of soils**. 12th ed. Upper Saddle River, N.J.: Prentice-Hall, 1999.881p.

BRASIL, Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm

Acesso em: 02-10-2019

CAMARINHA, P. I. M. **Mapeamento do potencial de infiltração como subsídio ao planejamento de microbacias de cabeceira: Uma proposta metodológica utilizando geotecnologias** / Pedro Ivo Mioni Camarinha, 2011.

CARVALHO, J.C. de. BARBOSA, M.C. MENDONÇA, R.M.G. FARIAS, W. M. CARDOSO, F. B. da F. **Propriedades químicas, mineralógicas e estruturais de solos naturais e compactados**. In: CAMAPUM de Carvalho, J. *et al.* Solos não saturados no contexto geotécnico. 2015. 759p. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2015.

CEMADEN- Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. São José dos Campos, 2017.

CHAVES, F. L. **Proposta de correlação chuva vs escorregamento aplicada à cidade do Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia, 2016.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo, Edgard Blucher, 2ª edição, 1980.

CLARK, M.; SMALL, J. **Slopes and weathering**. Cambridge: Cambridge University Press. 112 p.1982.

CICCO, V.; ARCOVA, F.C.S.; RANZINI, M.; SANTOS, J.B.A dos.; FORTI, M. C.; **Recursos hídricos na Mata Atlântica: estudo de caso do Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, Cunha - SP**. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL: O EUCALIPTO E O CICLO HIDROLÓGICO, 1., 2007, Taubaté, Brasil. **Anais...** Taubaté: IPABHi, 2007. p. 25- 33, 2007.

CONCIANI, W. BURGOS, P.C, BEZERRA, R L. **Origem e formação dos solos, perfil de intemperismo**. In: CAMAPUM de Carvalho, J. *et al.* Solos não saturados no contexto geotécnico. 2015. 759p. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2015.

CORDEIRO, J.P; BARBOSA, C.C.F; CÂMARA, G. **Álgebra de campos e objetos**. Análise Espacial de Dados Geográficos, 2007. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap8-algebra.pdf>
Acesso em: 12-11-2019

COUTINHO, S. V. **“A precipitação e sua influência na movimentação de massa: estudo de um caso”**. In: Health and Environment Journal, v. 3, n. 2, 2002

COUTINHO, G. R. **Mapeamento geológico da folha Guaratinguetá 1:50.000, leste de São Paulo**. Rio de Janeiro, 2012. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Geologia) - Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

DADOS CLIMÁTICOS PARA CIDADES MUNDIAIS. Disponível em :
<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo/cunha-32648/>
Acesso em: 19/10/2019

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. *Parecer Técnico – Processo nº 000427/07/DER/2.017*. Engenheiro Hiromiti Nakao CEE/DE – Projetos. 2017.

DINIZ, N. C.; FREITAS, C.G.L de.; NETTO, A.L.C.; MORETTI, R.; ZUQUIM, L.; SOUZA, N.M. de.; MACEDO, E. S. de.; ALHEIROS, M. Capítulo 3 **Cartografia Geotécnica**. Coordenação: Noris Costa Diniz Carlos Geraldo Luz de Freitas- 2012
Disponível em: <https://gestaorisco.files.wordpress.com/2012/11/capitulo-3-cartografia-geotecnica.pdf>

D'ORSI, R.N. **Correlação entre pluviometria e escorregamentos no trecho da serra dos órgãos da rodovia federal BR-116 RJ (Rio –Terésópolis). 2011**. Tese (Doutorado) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós- Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

FICK, S.E.; HIJMANS, R.J. Worldclim 2: **New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas**. International Journal of Climatology, 2017.

FLÓREZ-GÁLVEZ, J. H. **Condicionantes geotécnicos e análise de quedas de blocos rochosos da rodovia RS-471-BR153, lote 2**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

FUTAI, M.M.; ALMEIDA, M.S.S.; LACERDA, W.A. **Evolução de uma voçoroca por escorregamentos retrogressivos em solo não saturado**. In: CONF. BRASILEIRA DE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 4., Salvador, 2005. Anais...Salvador, 2005. P.443-452.

FUTAI, M. M.; MELO, D. F, M de; JÚNIOR, C. R. C.; ZAMBRANA, V. D. **Infiltração e estabilidade de encostas em condições não saturadas**. In. **Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais**. / José Camapum de Carvalho, Gilson de Farias Neves Gitirana Junior, Eufrosina Terezinha Leão Carvalho, organizadores. – Brasília : Faculdade de Tecnologia, 2012.

GEOBRUGG, W. Catálogo de produtos. Romanshorn, Suíça, 2012. Disponível em: https://www.geobrugg.com/pt/Estabilizacao-de-taludes-77504,7858.html?branche_id=59494 Acesso em: 29-10-2019

GERSCOVICH, D. M.S. **Estabilidade de Taludes**/ Denise M.S. Gerscovich.—2.ed.—São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

GERSCOVICH, D. M.S; JUNIOR, E. do A. V; CAMPOS, T. M. P. De. **Estabilidade de Taludes**. In: CAMAPUM de Carvalho, J. *et al*. Solos não saturados no contexto geotécnico. 2015. 759p. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2015.

GOMES, G. J. C. **Avaliação do perigo relacionado à queda de blocos em rodovias**. 2009,136 f. Dissertação (mestrado em Geotecnia)- Programa de Pós-Graduação em Geotecnia. Universidade Federal de Ouro Preto, 2009.

GUIDICINI, G.; IWASA, O.Y. **Tentative correlation between rainfall and landslides in a humid tropical environment**. Bullin of the International Associations of Engineering Geology, Krefeld, v.16, p. 13-20,1977.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo, Edgard Blucher, 1983.

INSTITUTO GEOLÓGICO. **Relatório de atendimento técnico - PPDC operação 2009/2010**. Decreto nº 42585 de 01.12.97 que dispõe sobre o Plano Preventivo da Defesa Civil-PPDC, 2010.

INSTITUTO DE PESQUISA METEOROLÓGICAS- IPmet. Disponível: https://www.ipmet.unesp.br/index2.php?menu_esq1=&abre=ipmet_html/institucional/IPMet_Historia.htm. Acesso em: 12/10/2017

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981. 2 v. Escala 1:500.000. (Publicação, 1 184; Monografias, 6), 1981.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. “**Parecer Técnico no.18.745 - 301 - i/122,**” 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: município de Guaratinguetá - SP**. Rio de Janeiro, 2015a. 1 mapa, color. Escala 1:50.000.

Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/15176?show=full>
Acesso em: 20/04/2020.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: município de Cunha - SP**. Rio de Janeiro, 2015b. 1 mapa, color. Escala 1:75.000.

Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/15169>
Acesso em: 20/04/2020.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Reavaliação do Mapeamento das Áreas de Risco no Município de Cunha, SP**. Relatório Técnico Nº 154.612-205 SDECTI / PATEM Prefeitura Municipal de Cunha, 2018.

JESUS, A.S. **Investigação Multidisciplinar de Processos Erosivos Lineares: Estudo de caso da Cidade de Anápolis- GO**. Tese de Doutorado em Geotecnia. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, 340 p. (2013)

JESUS, A.S de, OLIVEIRA, M.C de, LIMA, C.V de, CARVAJAL, H. E. M, MONSALVE, L, LONDOÑO, R. D. CARVALHO, J.C. de. **Influência de aspectos geológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos e da cobertura vegetal no estado de saturação do solo**. In: CAMAPUM de Carvalho, J. *et al*. Solos não saturados no contexto geotécnico. 2015. 759p. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2015.

JORNAL DA PARAÍBA, 2019

Disponível em: https://www.jornaldaparaiba.com.br/vida_urbana/joao-pessoa-registra-quase-500-mm-de-chuvas-em-quatro-dias.html Acesso em: 04/04/2020

LEMES, M. R. T. **Revisão dos efeitos da vegetação em taludes**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação- Programa de pós-graduação em engenharia civil PPGEC, 2001.

LOPPES TRILHO, G. **Control de la Erosión y Obras de desagüe.** Manual de Estabilización y Revegetación de Taludes. Entorno Gráfico S.L., Madrid, (1999)

MACHADO, S. L. VILAR, O. M. **Potenciais da água no solo.** In: CAMAPUM de Carvalho, J. *et al.* Solos não saturados no contexto geotécnico. 2015. 759p. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2015.

MANDAI, P. R. **Avaliação da aptidão à urbanização com uso de inferência fuzzy em dados geomorfométricos: subsídios para o planejamento territorial em torno do Anel viário do Distrito Federal.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas. Brasília: DF 2012.

MANUAL DE GEOTECNIA: TALUDES DE RODOVIAS: ORIENTAÇÃO PARA DIAGNÓSTICO E SOLUÇÕES DE SEUS PROBLEMAS. / Pedro Alexandre Sawaya de Carvalho (coordenador). – São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991. – (Publicação IPT; n.1843).

NERY, T. D; VIEIRA, B. C. **Susceptibility to shallow landslides in a drainage basin in the Serra do Mar, São Paulo, Brazil, predicted using the SINMAP mathematical model.** Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014.

OLIBERAL.COM, 2020.

Disponibilizado em:

<https://www.oliberal.com/belem/fevereiro-teve-47-mais-chuva-do-que-o-previsto-para-omes-1.245490> Acesso em: 04/04/2020

OLIVEIRA, J.B. de; CAMARGO, M.N.de; ROSSI, M. & CALDERANO FILHO, B. 1999. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida. Escala 1:500.000.** Campinas: Instituto Agrônomo/EMBRAPA Solos, 1999

PEREIRA, J. O. **Avaliação das condições dos taludes ao longo da rodovia SP-171 que liga as cidades de Guaratinguetá e Cunha/SP.** Relatório das atividades desenvolvidas. UNESP, 1998.

PERROTTA, M. M. et al. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000.** São Paulo: CPRM, 2005. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil).

PRANDINI F.L.; NAKAZAWA, V.A.; FREITAS, C.G.L. DINIZ, N.C. **Cartografia geotécnica nos planos diretores regionais e municipais.** In: BITAR, O.Y. (Coord.). Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), cap.4.4,p.187D202, 1995.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ANGRA DOS REIS / RJ, 2010.

Disponível em :

https://www.angra.rj.gov.br/noticia.asp?vid_noticia=30386&IndexSigla=imp

Acesso em 04/04/2020

RAMOS, L.M.; BERNARDES, G. de P. MOTTA, M.F.B.; SILVA, T.L. de C. TOGEIRO, N.G. **Retroanálise da Ruptura de um Talude Rodoviário na SP-171: Cunha-SP.** IX Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental. VIII Congresso Brasileiro de Geossintéticos. São Carlos, São Paulo, Brasil © IGS-Brasil/ABMS, 2019

RITCHIE, A.M. Evaluation of Rockfall and its Control. Highway Research Record, Washington, D.C., v.17, p. 13-28, 1963.

ROSS, J.; MOROZ, I. MAPA GEOMORFOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 10, p. 41-58, 6 nov. 2011.

ROSS, J. L. S. JUNQUEIRA, L. S. SANTOS, R. P. **Morfodinâmica: Serra do Mar – Brasil**. VI Congresso Iberoamericano de Estudios Territoriales y Ambientales. ISBN: 978-85-7506-232-6, São Paulo, 2014.

ROZANTE, J. R.; MOREIRA, D. S.; GONÇALVES, L. G. G.; VILA, Daniel A. **Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation: Technique and Validation Over South America**. Weather and Forecasting, v. 25, p. 885-894, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/2010WAF2222325.1>

SANTORO, Jair; MENDES, R. M; PRESSINOTTI, M. M. N; MANOEL, G.dos R. **Correlação entre chuvas e deslizamentos ocorridos durante a operação do plano preventivo de defesa civil em São Paulo**. Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 2008.

SENTHILKUMAR, V; CHANDRASEKARAN, I S.S; MAJI, I V.B. **Geotechnical characterization and analysis of rainfall—induced 2009 landslide at Marappalam area of Nilgiris district**, Tamil Nadu state, India. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10346-017-0839-2>
Acesso em: 19-11-17

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM, **Relatório de Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes, Inundações e Movimentos de Massa, Cunha – SP**, Maio, 2017.

SILVA, L.T da. **Vulnerabilidade ao escorregamento de terras estudo de caso: Bacia do Rio Bengalas**. Sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/02.24.18.39-TAE, 2011.

SILVA, V. C. B; MACHADO, P. de S. **SIG na análise ambiental: susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais**. Revista de Geografia (UFPE), 2014.

SIMÕES, S. J. C.; BERNARDES, G. de P.; TRANNIN, I. C. de B.; PEREIRA, S. Y.; SOARES, P. V. **Relação do meio físico com o manejo sustentável de plantio de eucalipto em áreas de terrenos Acidentados – a fazenda Santa Edwirges, Vale do Paraíba, sudeste do Brasil**. Geociências, v. 31, n. 3, p. 431-445, 2012

SOARES, P. V. **As interrelações de elementos do meio físico natural modificado na definição de áreas potenciais de infiltração na bacia do rio Paraíba do Sul (porção paulista) / Paulo Valladares Soares**. Campinas, SP.: [s.n.], 2005

SOUSA, P.S. **Comportamento mecânico e hidráulico de um solo residual do granulito-gnaiss de Salvador e sua aplicação no estudo de mecanismos de instabilização de taludes**. Dissertação de mestrado, Engenharia Ambiental Urbana, Escola Politécnica da Universidade da Bahia, Salvador , BA.187p., 2006.

TATIZANA, C., OGURA, A. T., CERRI, L. E. S. **Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos, Serra do mar, Município de Cubatão.** Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo – IPT, 1987.

TEIXEIRA, E. K. da C. **Estudo da influência da infiltração de águas pluviais na estabilidade de um talude de solo residual.** Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, 2014.

TOLEDO, M.C.M.; OLIVEIRA, S.M.B. de; MELFI, A.J. **Da rocha ao Solo – Intemperismo e pedogênese.** Cap 8 p.128-239 In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.R.; TOLEDO, M.C.M.; TAIOLI, F. Decifrando a Terra. 2ª ed. São Paulo: IBEP Editora Nacional-Conrad, 2009. 620p.

TOLEDO, M. C. M. de. **Intemperismo e pedogênese.** In: *Geologia* [S.l: s.n.], 2014.

TOMLIN, D. **Geographic information systems and cartographic modeling.** Prentice Hall, New York, 1990.

VARNES, D.J. **Landslides, analysis and control.** Special Report 176, National Academy of Sciences, cap. II, 1978.

VERVLOET, R.; ROSS, J. **Revisão dos conhecimentos sobre o relevo do Planalto Atlântico brasileiro: incógnitas que ainda persistem.** Revista do Departamento de Geografia, v. 23, p. 187-216, 18 jul. 2012.

VICTORINO, M.M.; SESTREM, L. P; KORMANN, A. C. M. **Definição de uma faixa pluviométrica crítica para deflagração de movimentos de terra em taludes rodoviários localizados no trecho da serra do mar da rodovia BR-376/PR.** TRANSPORTES v. 25, n. 1. ISSN: 2237-1346 (online). DOI:10.14295/transportes.v25i1.1038, 2017.

ZUQUETTE, L.V. **Cartografia geotécnica.** Lázaro Zuquette, Nilson Gandolfi.—São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

ANEXO



SECRETARIA DOS TRANSPORTES
DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM

Relatório de Interdição de Pista

Evento	UBA	Rodovia	Km	Sentido	Nome Rodovia	Início	Fimino	Faixa	Tempo	Ocorrência
777 - 3/2011	Taubaté - DR.06	171	5.000	Norte	Paulo Virgínio	07/03/2011 05:40	07/03/2011 17:10	1	11h 30m	Queda de Barreira
1345 - 1/2013	Taubaté - DR.06	171	4.200	Norte/Sul	Paulo Virgínio	10/01/2013 15:00	14/01/2013 17:30	1	4 DIA(S) 1h	Queda de Barreira
1359 - 1/2013	Taubaté - DR.06	171	3.000	Norte/Sul	Paulo Virgínio	10/01/2013 16:50	10/01/2013 20:13	1	3h 23m	Queda de Barreira
1360 - 1/2013	Taubaté - DR.06	171	1.500	Norte	Paulo Virgínio	10/01/2013 16:30	10/01/2013 19:40	1	3h 10m	Queda de Barreira
1478 - 1/2013	Taubaté - DR.06	171	2.500	Norte	Paulo Virgínio	11/01/2013 08:10	11/01/2013 13:00	1	4h 50m	Queda de Barreira
548 - 12/2015	Taubaté - DR.06	171	43.000	Norte	Vice-Pref. Salvador Pacetti	12/12/2015 03:00	12/12/2015 17:15	1	14h 15m	Queda de Barreira
683 - 12/2015	Taubaté - DR.06	171	43.500	Sul	Vice-Pref. Salvador Pacetti	14/12/2015 11:40	14/12/2015 19:30	1	7h 50m	Queda de Barreira
694 - 12/2015	Taubaté - DR.06	171	34.500	Norte	Vice-Pref. Salvador Pacetti	14/12/2015 13:31	15/12/2015 12:00	1	22h 29m	Queda de Barreira
1690 - 3/2016	Taubaté - DR.06	171	16.000	Norte	Paulo Virgínio	29/03/2016 19:20	30/03/2016 16:10	1	20h 30m	Queda de Barreira
982 - 1/2017	Taubaté - DR.06	171	8.200	Sul	Paulo Virgínio	08/01/2017 16:47	09/01/2017 16:00	1	23h 13m	Queda de Barreira
983 - 1/2017	Taubaté - DR.06	171	7.050	Norte	Paulo Virgínio	08/01/2017 16:56	09/01/2017 16:00	1	23h 4m	Queda de Barreira
984 - 1/2017	Taubaté - DR.06	171	5.150	Norte	Paulo Virgínio	08/01/2017 17:03	09/01/2017 16:00	1	22h 57m	Queda de Barreira
1962 - 11/2017	Taubaté - DR.06	171	34.500		Vice-Pref. Salvador Pacetti	29/11/2017 06:37	19/04/2018 11:00	1	141 DIA(S) 4h	Queda de Barreira
825 - 1/2018	Taubaté - DR.06	171	31.100	Sul	Vice-Pref. Salvador Pacetti	08/01/2018 22:11	08/01/2018 22:40	1	0h 29m	Queda de Barreira
2026 - 1/2018	Taubaté - DR.06	171	31.000	Sul	Vice-Pref. Salvador Pacetti	22/01/2018 20:10	27/01/2018 12:00	1	4 DIA(S) 15h	Queda de Barreira
2027 - 1/2018	Taubaté - DR.06	171	31.500	Sul	Vice-Pref. Salvador Pacetti	22/01/2018 20:20	27/01/2018 12:00	1	4 DIA(S) 15h	Queda de Barreira
1193 - 3/2018	Taubaté - DR.06	171	3.400	Norte	Paulo Virgínio	16/03/2018 16:25	22/03/2018 14:55	1	5 DIA(S) 22h	Queda de Barreira
552 - 1/2019	Taubaté - DR.06	171	65.100	Sul	Vice-Pref. Salvador Pacetti	04/01/2019 23:00	05/01/2019 12:00	1	13h 0m	Queda de Barreira
1956 - 3/2019	Taubaté - DR.06	171	34.800	Sul	Vice-Pref. Salvador Pacetti	18/03/2019 09:10	18/03/2019 17:00	1	7h 50m	Queda de Barreira

Relatório gerado em: 04/11/2019 16:54