

ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS NO MUNICÍPIO DE GUARATINGUETÁ/SP

Thiago Bazzan

E-mail: thiagobaz@yahoo.com.br

Resumo: As ocorrências de movimentos de massa em áreas urbanas podem provocar prejuízos econômicos para a administração pública, perdas de bens e de vidas. Este estudo tem por objetivo determinar e analisar a suscetibilidade a escorregamentos no município de Guaratinguetá, localizado no estado de São Paulo. Os procedimentos metodológicos envolveram as etapas de levantamento, análise, síntese e integração dos dados obtidos em ambiente de geoprocessamento. Os resultados obtidos indicam que os registros de escorregamentos apresentam correlação com litologias associadas a migmatitos e granitos, solos argissolos e latossolos, padrões de relevo associados a morros baixos, classes de declividade entre 5 e 30 graus. No município predominam classes de alta e muito alta suscetibilidade correspondendo a 64% da área total. As técnicas de geoprocessamento aplicadas ao estudo constituíram ferramentas eficazes para organização e integração das informações, permitindo a realização de análises espaciais relativas a suscetibilidade a escorregamentos.

Palavras-chave: escorregamentos, geoprocessamento, análise espacial.

1. Introdução

As ocorrências de movimentos de massa em áreas urbanas podem provocar prejuízos econômicos para a administração pública, perdas de bens e de vidas. De acordo com o CRED (2018), no ano de 2017 ocorrem 318 desastres naturais no mundo, atingindo 122 países. O impacto destes desastres resultou em 9.503 mortes, 96 milhões de pessoas afetadas e US\$ 314 bilhões em danos econômicos. No ano de 2017 os movimentos de massa representaram 8,2% do total de ocorrências. Em relação ao número de mortes, os movimentos de massa representaram 24,4% do total, com base nos dados do CRED (2018).

Os movimentos de massa são reconhecidos como os mais importantes processos geomorfológicos modeladores da superfície terrestre. Constituem-se no deslocamento de material (solo e rocha) vertente abaixo sob influência da gravidade, desencadeado pela interferência direta de outros agentes independentes (BIGARELLA, 2003). Os movimentos de massa, conforme

Augusto Filho (1992), podem ser classificados em rastejo (creep), escorregamentos (slides), quedas (falls) e corridas (flows).

Com base em Augusto Filho (1992), os escorregamentos podem ser classificados em planares (solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza), circulares (solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas) e em cunha (solos e rochas com dois planos de fraqueza). Conforme Infanti Junior e Fornasari Filho (1998) os escorregamentos consistem no movimento rápido de massa de solo ou rocha, geralmente bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora de um talude (natural, de corte ou de aterro).

No município de Guaratinguetá, estado de São Paulo, predominam movimentos de massa associados a escorregamentos planares de acordo com os estudos apresentados por Benessiuti (2011) e pelo Instituto Geológico de São Paulo (2012). As ocorrências de escorregamentos no município estão associadas às características geomorfológicas e geológicas e são potencializadas pelo processo de urbanização ou de intervenções nas encostas como construção de rodovias e estradas.

Dessa forma, a identificação e análise das áreas com suscetibilidade à ocorrência de escorregamentos é importante para subsidiar o planejamento adequado e o monitoramento das áreas ocupadas. Neste sentido, o objetivo deste estudo é determinar e analisar a suscetibilidade a escorregamentos no município de Guaratinguetá com técnicas de geoprocessamento e análise espacial.

1. 2. Área de estudo

O município de Guaratinguetá está localizado na porção leste do estado de São Paulo (Figura 1), aproximadamente entre as coordenadas 45°1'40" e 45°26'35 " de longitude oeste e 22°37'00" e 23°1'10" de latitude sul. Limita-se com os municípios de Campos do Jordão, Delfim Moreira e Piquete à norte, com os municípios de Cunha e Lagoinha à sul, Pindamonhangaba, Potim e Aparecida à oeste e Lorena à leste. Geograficamente pertence à mesorregião Vale do Paraíba Paulista, abrangendo uma área de 752 km². A população do município de Guaratinguetá, de acordo com as informações do Censo (IBGE, 2010), é de 112.072 habitantes. Destes, 95% residem em área urbana.

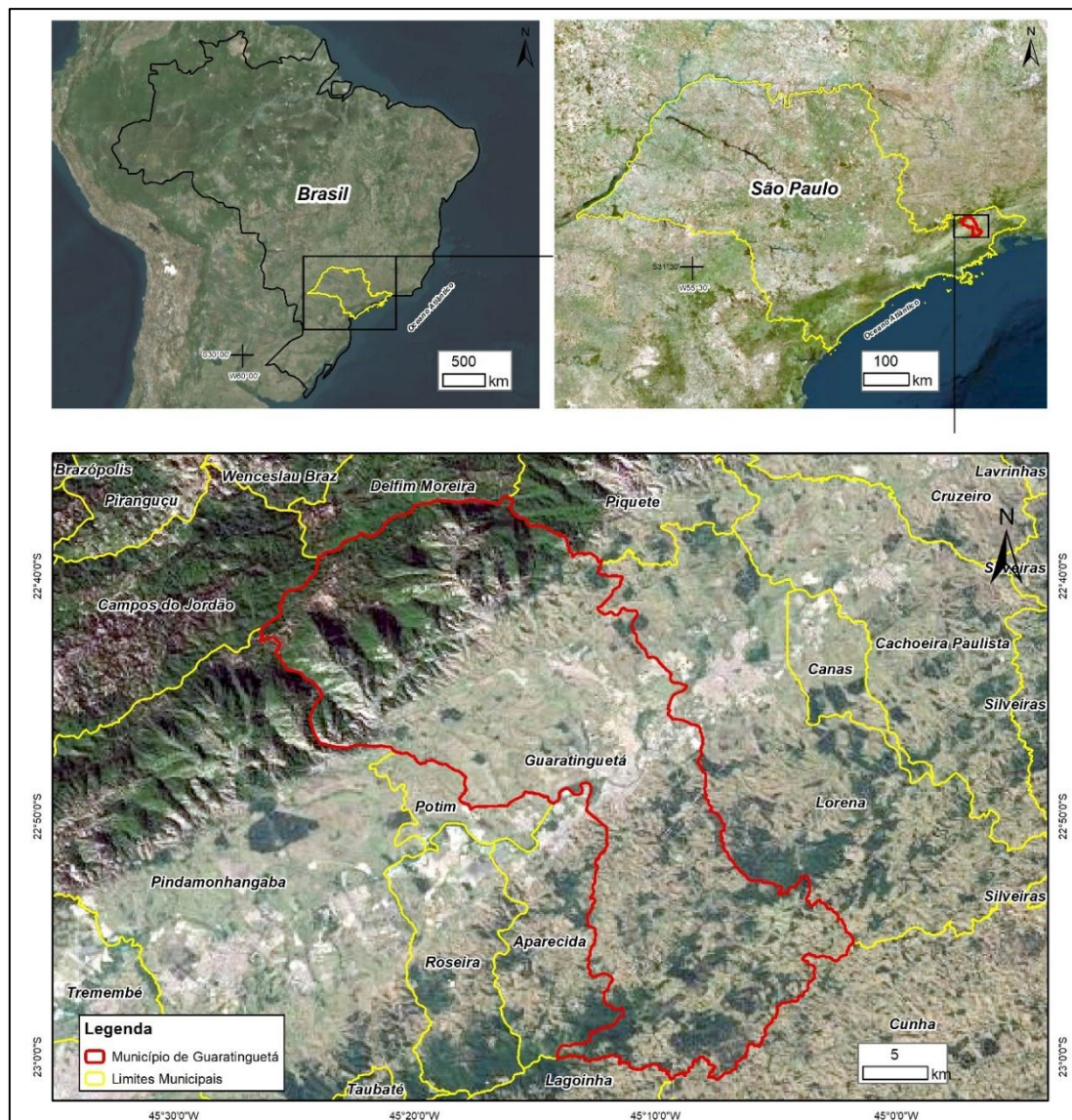


Figura 1: Localização do município de Guaratinguetá/SP.

O município, conforme a classificação apresentada por Nimer (1989), está localizada em uma região cujo regime de chuvas é tipicamente de ritmo tropical. As maiores precipitações ocorrem na porção norte do município, junto à Serra da Mantiqueira, com 1700 mm anual. Na porção sul do município são registrados os menores índices de precipitação, em torno de 1400 mm anual.

De acordo com informações sobre a precipitação do município (EMBRAPA, 2018) nos meses de maio a setembro ocorrem os menores índices de precipitação (inferiores a 50 mm mensais). Já no período de dezembro a fevereiro são registrados os maiores índices de precipitação, superiores a 200 mm mensais. A Figura 2 apresenta o gráfico com a distribuição mensal do regime de precipitação pluviométrica.

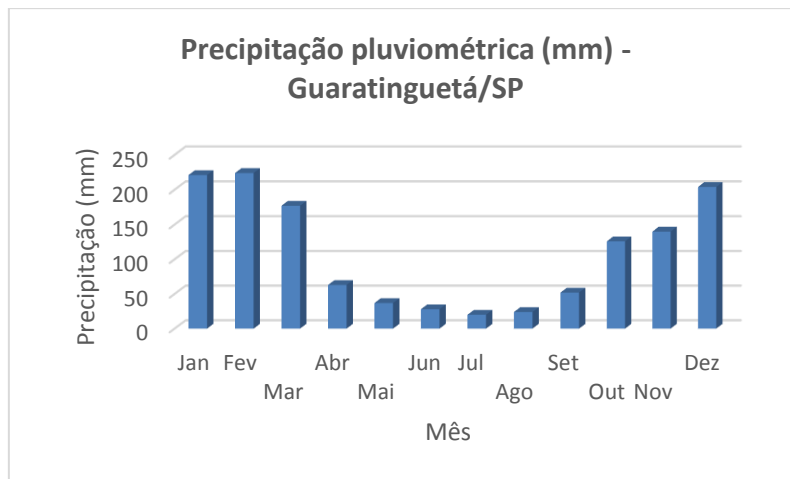


Figura 2: Precipitação média mensal – Guaratinguetá/SP.
Fonte: EMBRAPA (2018).

2. Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos envolveram 4 etapas: levantamento dos dados, organização dos dados, análise dos dados, correlação e integração das informações.

2.1. Levantamento de dados

Para a análise da suscetibilidade a escorregamentos foram obtidos arquivos no formato Esri Shapefile de pontos com registros de escorregamento, solos (escala 1:25.000), padrões de relevo (escala 1:25.000), geologia (escala 1:250.000), Modelos Numéricos de Terreno (MNT) com resolução espacial de 10 metros. Os arquivos foram obtidos nos endereços eletrônicos da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e do Instituto Geológico de São Paulo (IG).

2.2. Organização dos dados no SIG

Para a organização do banco de dados geográficos foi utilizado o programa SPRING 5.5.3 disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os arquivos foram importados e associados a modelos de dados: Temático (matriz e vetor) e MNT (amostras, grade e imagem). A categoria temática de cada mapa (escorregamentos, geologia, solos, padrões de relevo) foi convertida para matriz para realização dos demais processamentos. O Quadro 1 apresenta as categorias e modelos de dados utilizados na representação computacional.

Quadro 1: Categorias, modelos de dados e representação.

Categoria	Modelo de Dado	Representação
Escorregamentos	Temático	Vetorial (ponto) e Matriz
Geologia	Temático	Vetorial (polígonos) e Matriz.
Solos	Temático	Vetorial (polígonos) e Matriz.
Padrões de relevo	Temático	Vetorial (polígonos) e Matriz.
Altimetria	MNT	Grade regular

A partir do MNT correspondente a altimetria foi gerada uma grade de declividade (em graus). Em seguida, foram criadas categorias de dados do modelo temático para conter as classes de declividade de interesse. Posteriormente, foi efetuado o fatiamento da grade de declividade em intervalos de valores por meio da utilização da ferramenta fatiamento, com a respectiva geração do mapa temático de declividade (matriz com resolução espacial de 10 metros).

2.3. Análise dos dados

A primeira etapa de análise espacial consistiu em verificar a correlação entre registros de escorregamento e as variáveis de cada mapa temático. O objetivo foi verificar a relação de cada variável com os registros de escorregamento para a determinação dos pesos e valores. Os pontos (vetorial) de escorregamento foram convertidos para matriz (resolução de 10 metros) para realizar a tabulação cruzada, que permite verificar a interseção entre as classes temáticas dos mapas de cada plano de informação.

2.4. Correlação e integração das informações

Para realizar o cruzamento dos planos de informação para a elaboração do mapa de suscetibilidade a escorregamentos foi necessário atribuir pesos aos mapas considerados na análise. A atribuição dos pesos aos mapas foi realizada utilizando a ferramenta *Analytic Hierarchy Process* (AHP) como apoio para à tomada de decisão. A AHP pondera todos os critérios através de uma comparação e calcula um valor de Razão de Consistência (RC) entre 0 e 1. Foram escolhidas quatro categorias temáticas: geologia, solos, formas de relevo e declividade. Os pesos foram escolhidos de forma que a razão de consistência

não ultrapassasse 0,1. A Razão de Consistência (CR) foi calculada em 0,097. O Quadro 2 apresenta os pesos de cada mapa/plano de informação.

Quadro 2: Pesos para cruzamentos dos mapas.

Categoria	Modelo de Dado	Representação	Peso
Padrões de relevo	Temático	Matriz.	0.106
Geologia	Temático	Matriz.	0.179
Solos	Temático	Matriz.	0.268
Declividade	Temático	Matriz.	0.394

Além dos pesos de cada mapa, também foram determinadas notas para cada variável de cada mapa, com o objetivo de realizar a ponderação dos pesos e o cruzamento dos planos de informação no LEGAL do SPRING. Considerou-se que quanto maior o valor atribuído, maior a suscetibilidade a escorregamento da variável. Nos Quadros 3, 4, 5 e 6 são apresentados os valores para cada variável. No Anexo I consta a programação em LEGAL utilizada.

Quadro 3: Geologia.

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

Quadro 4: Padrões de relevo.

Variável	Valor
Planícies e terraços fluviais	1
Colinas	2
Morrotes	3
Morros baixos	4
Morros altos	4
Serras	5

Quadro 5: Declividade.

Variável	Valor
0 – 5°	1
05 - 17°	2
17 - 30°	3
30 - 45°	4
>45°	5

Quadro 6: Solos.

Variável	Valor
Gleissolos	1
Argissolos	3
Cambissolos	4
Latossolos	5

A Figura 3 apresenta a correlação das variáveis analisadas para a integração e cruzamento dos planos de informação para a obtenção das classes de suscetibilidade a escorregamentos.

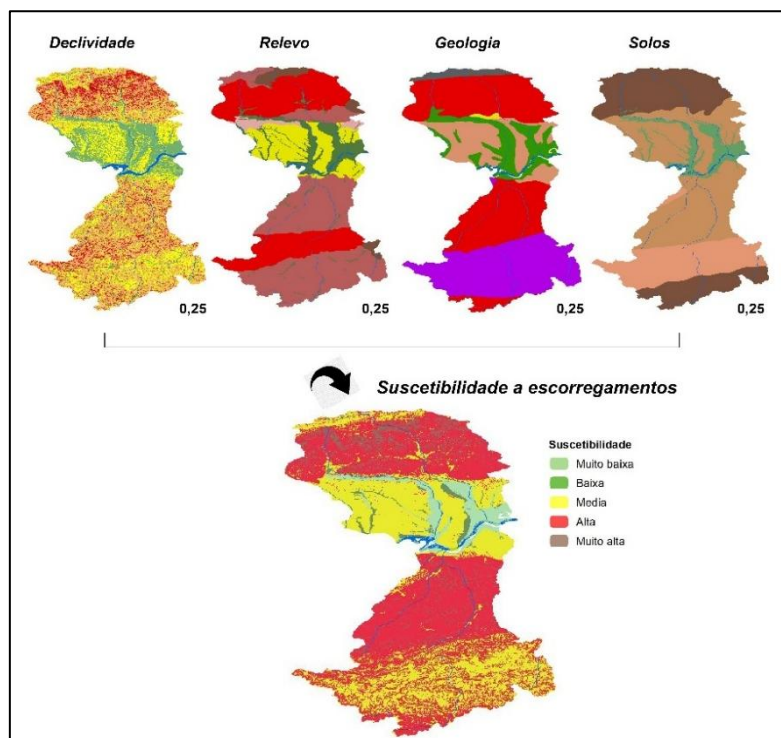


Figura 3: Cruzamento dos planos de informação para determinação da suscetibilidade a escorregamentos.

A Figura 4 apresenta o diagrama do OMT-G (*Object Modeling Technique for Geographic Applications*) com os modelos de dados utilizados e os procedimentos metodológicos para elaboração do mapa de suscetibilidade a escorregamentos do município de Guaratinguetá/SP.

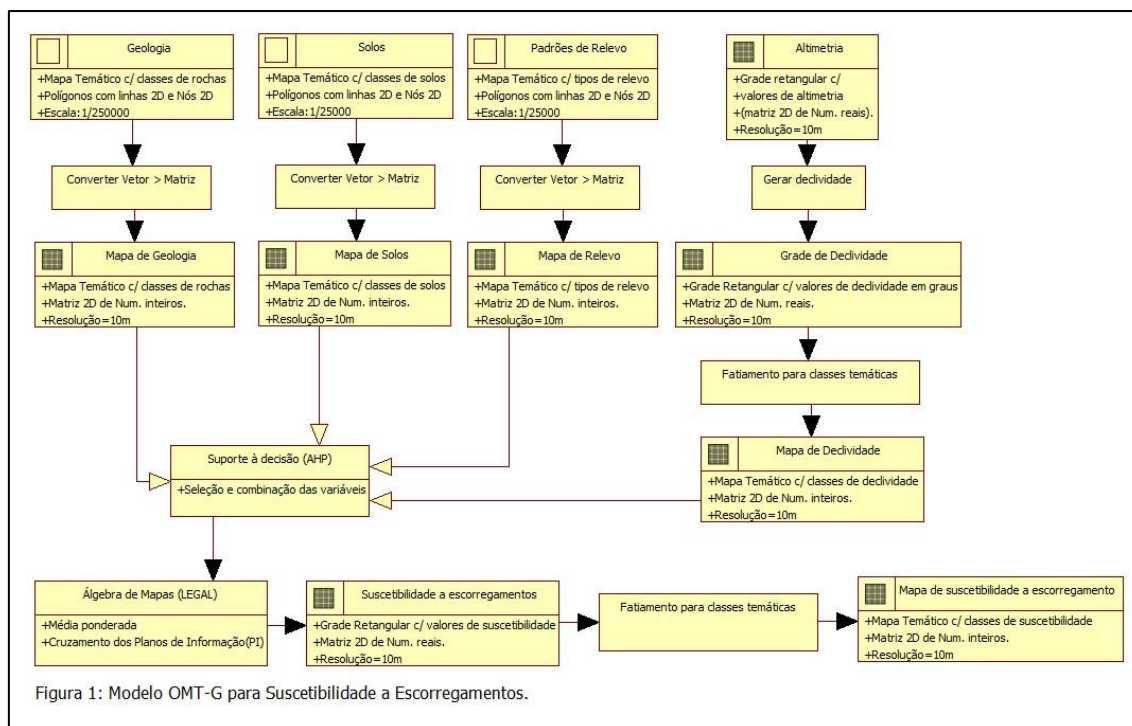


Figura 4: Modelo OMT-G para determinação da suscetibilidade.

3. Resultados

Os resultados obtidos apresentam a correlação entre os registros de escorregamentos e as variáveis analisadas: geologia, solos, formas de relevo e declividade das vertentes.

3.1. Registros de ocorrências

A partir da consulta ao banco de dados do Instituto Geológico de São Paulo foram verificados 13 registros de áreas que apresentaram escorregamentos no município de Guaratinguetá. A localização dos registros de escorregamentos consta no mapa da Figura 5 onde observa-se maior número de ocorrências na área urbana do município, assim como, dois registros na porção sul do município junto à rodovia SP-171.

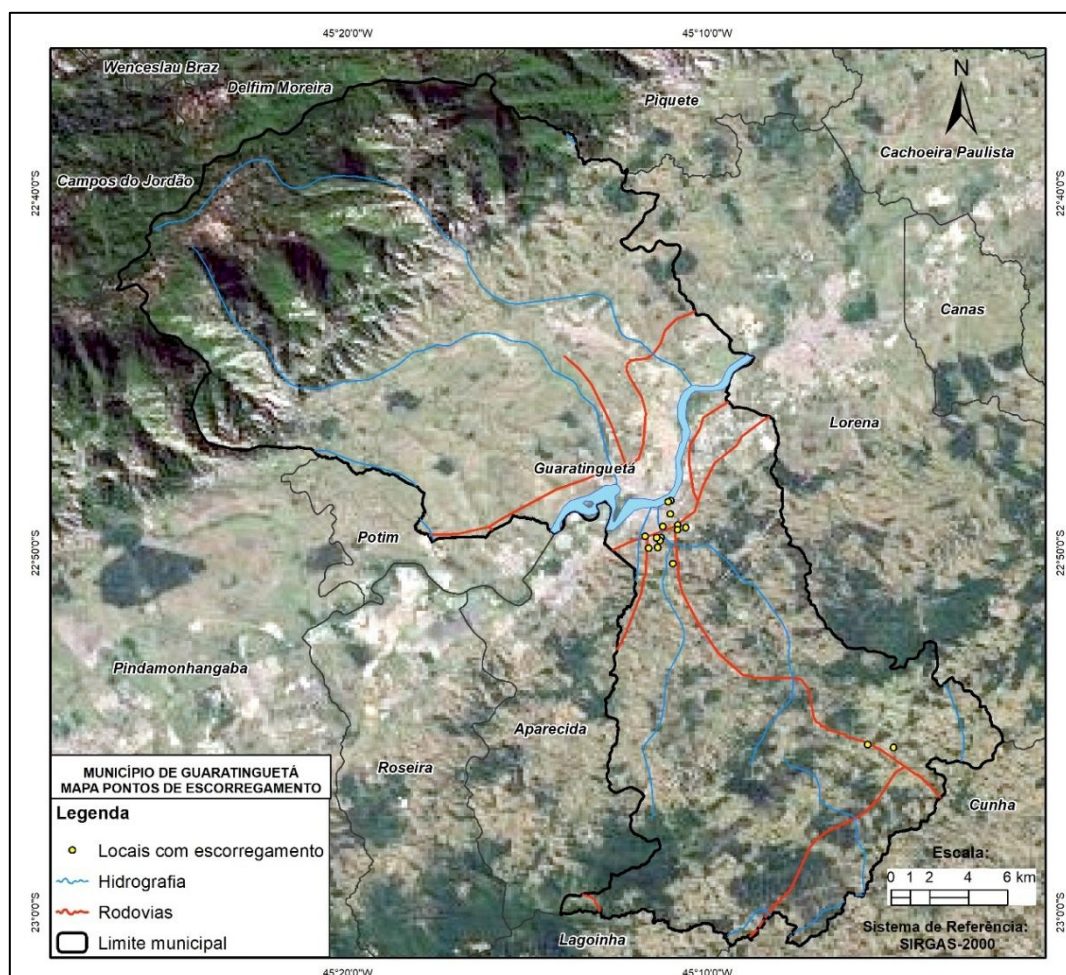


Figura 5: Locais com registro de escorregamento no município de Guaratinguetá/SP.

Na Figura 6 está indicada uma ocorrência de escorregamento atingindo a malha viária do município e na Figura 7 consta um registro de escorregamento que atingiu moradias na área urbana.



Figura 6: Escorregamento em rodovia.
Fonte: Instituto Geológico de SP (2012).



Figura 7: Escorregamento em moradias.
Fonte: Instituto Geológico de SP (2012).

3.2. Geologia

No município de Guaratinguetá, de acordo com o mapeamento do Instituto Geológico de São Paulo (2012), ocorrem 5 unidades litológicas: Depósitos aluviais, Formação Caçapava, Depósitos coluviais, Gnaisses embrechíticos, Suítes granitóides e Migmatitos. As litologias associadas a Migmatitos e Suítes granitóides predominam e representam 48% e 19% da área do município, respectivamente (Figura 8).

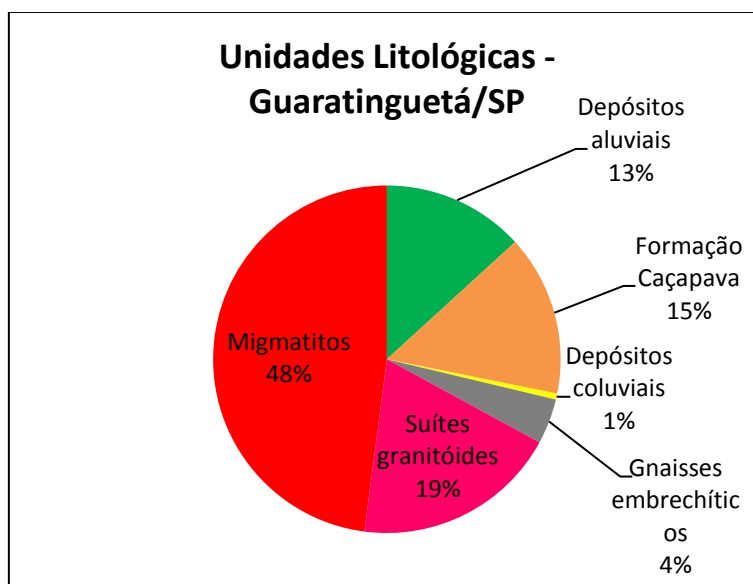


Figura 8: Unidades litológicas – Guaratinguetá/SP.

Na porção norte do município predominam Migmatitos e Gnaisses embrechíticos associados a Serra da Mantiqueira, arenitos da Formação Caçapava, depósitos aluviais e coluviais associados a margem esquerda do Rio Paraíba do Sul. Na porção sul predominam Migmatitos e suítes granitóides.

A partir da correlação espacial entre os registros de escorregamentos e as unidades litológicas do mapa geológico verificou-se que do total de 13 eventos, 11 ocorreram em Migmatitos e 2 ocorreram em suítes granitóides. A Figura 9 apresenta o mapa geológico com a distribuição das unidades litológicas e os registros de escorregamentos na área de estudo.

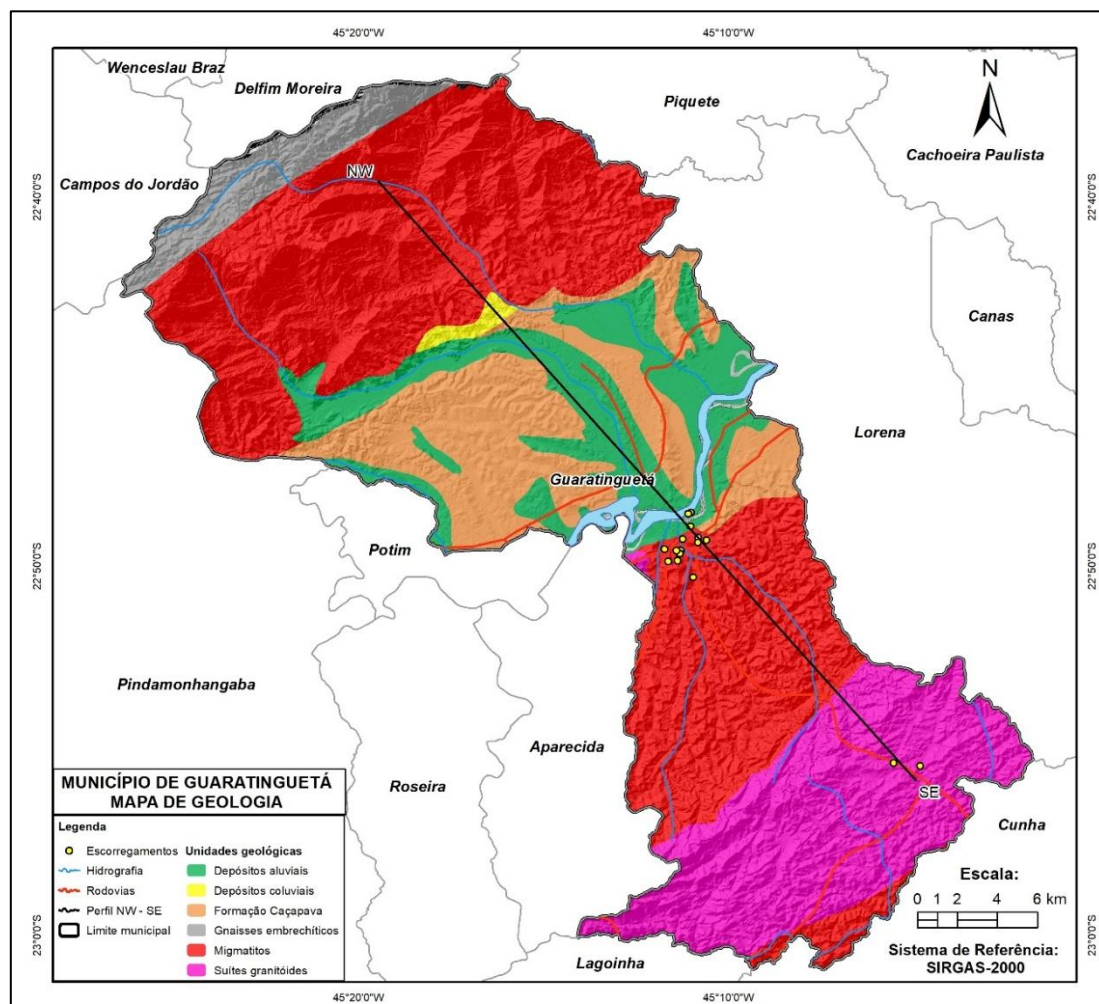


Figura 9: Mapa de unidades geológicas do município de Guaratinguetá/SP.

O perfil geológico da Figura 10, no sentido NW para SE, apresenta a conformação geológica com o relevo da área de estudo.

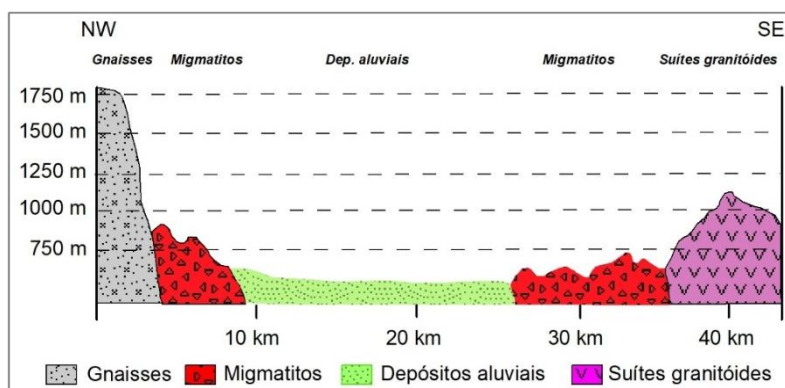


Figura 10: Perfil geológico NW-SE de Guaratinguetá/SP.

3.3. Solos

No município de Guaratinguetá ocorrem 4 classes de solos: Gleissolos, Cambissolos, Argissolos e Latossolos. Os Latossolos e Cambissolos são predominantes e representam 41% e 36% do município, respectivamente. Já os Gleissolos ocorrem em apenas 9% da área do município. O gráfico da Figura 11 apresenta as áreas ocupadas pelas classes de solos na área de estudo.

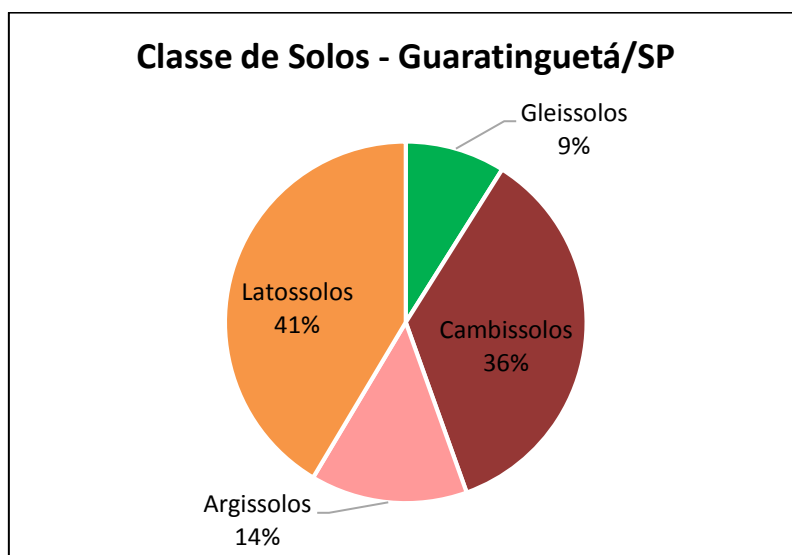


Figura 11: Classes de solos – Guaratinguetá/SP.

Na porção norte do município de Guaratinguetá predominam Cambissolos e Latossolos associados a Serra da Mantiqueira e Depressão do Paraíba, respectivamente. Os Gleissolos ocorrem predominantemente na margem esquerda da planície do Rio Paraíba do Sul. Na porção sul predominam Latossolos, Argissolos e Cambissolos associados à Serra do Mar.

A partir da correlação espacial entre os registros de escorregamentos e as classes de solos do mapa pedológico verificou-se que do total de 13 eventos, 11 ocorreram em Latossolos e 2 em Argissolos, indicando maior ocorrência de escorregamentos associados a solos de maior espessura. A Figura 12 apresenta o mapa pedológico com a distribuição das classes de solos e os registros de escorregamentos na área de estudo.

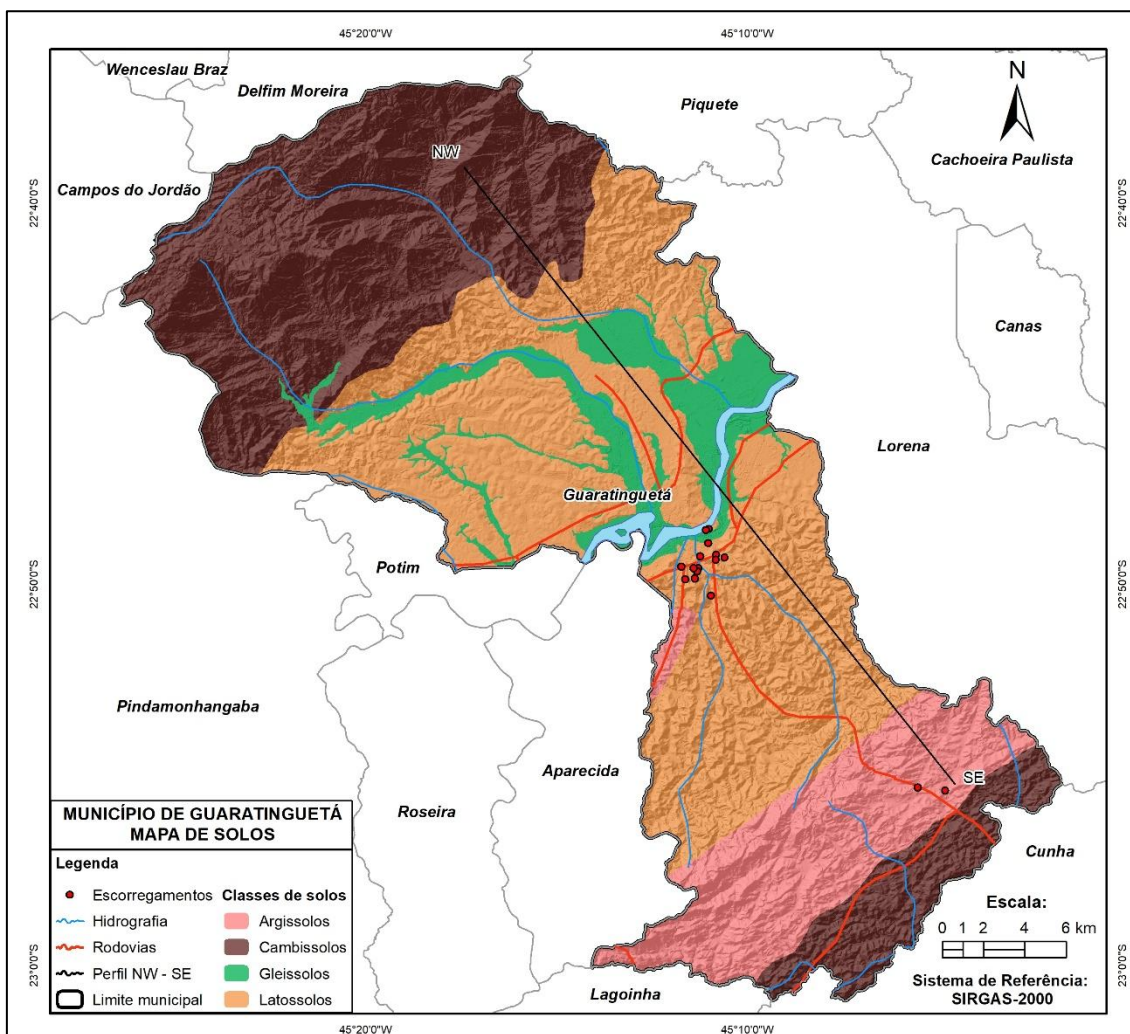


Figura 12: Mapa de unidades geológicas do município de Guaratinguetá/SP.

O perfil pedológico da Figura 13, no sentido NW para SE, apresenta a conformação dos solos com o relevo da área de estudo.

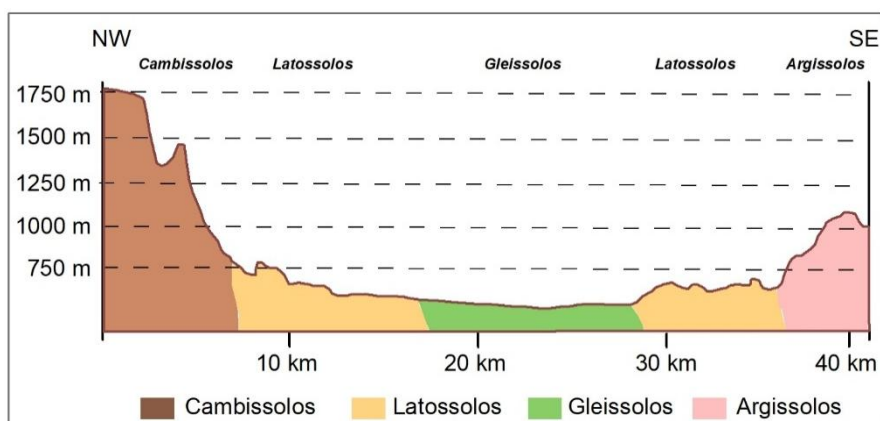


Figura 13: Perfil pedológico NW-SE de Guaratinguetá/SP.

3.4. Padrões de Relevo

A amplitude altimétrica do município de Guaratinguetá é de aproximadamente 1500 metros. As maiores altitudes ocorrem na porção norte onde são superiores a 2000 metros na Serra da Mantiqueira. Na porção sul do município as altitudes são em torno de 1000 metros associadas a Serra do Mar. As menores altitudes, em torno de 510 metros, ocorrem na porção central do município junto ao Rio Paraíba do Sul. O mapa altimétrico da Figura 14 apresenta a distribuição das altitudes na área de estudo.

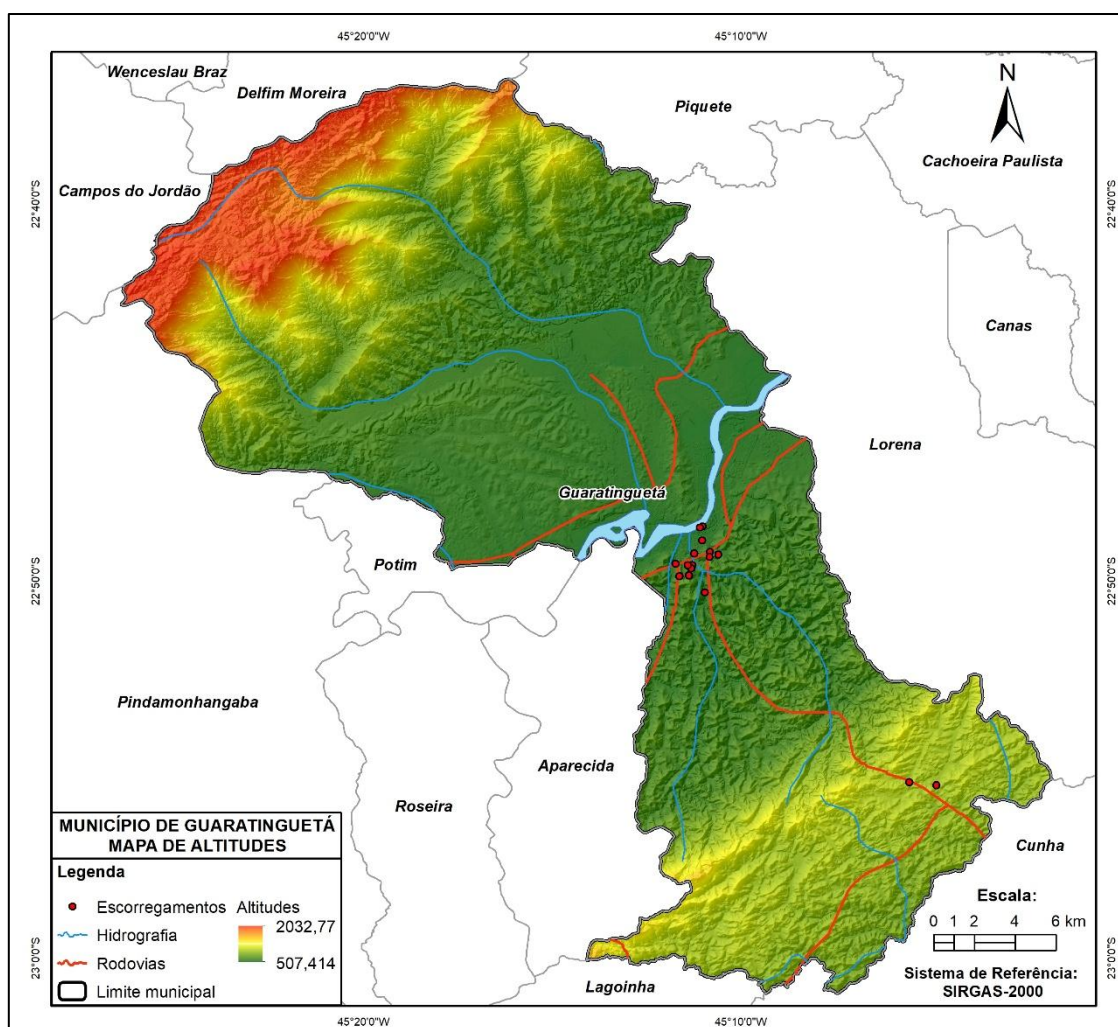


Figura 14: Mapa de altitudes do município de Guaratinguetá/SP.

No município de Guaratinguetá ocorrem 6 padrões de relevo: Planícies e terraços fluviais, Colinas, Morros baixos, Morros altos, Morrotes e Serras. Os padrões de relevo de Serra e Morros Baixos predominam e abrangem 34% e 33% do município, respectivamente. O gráfico da Figura 15 apresenta a extensão das áreas ocupadas pelos padrões de relevo na área de estudo.

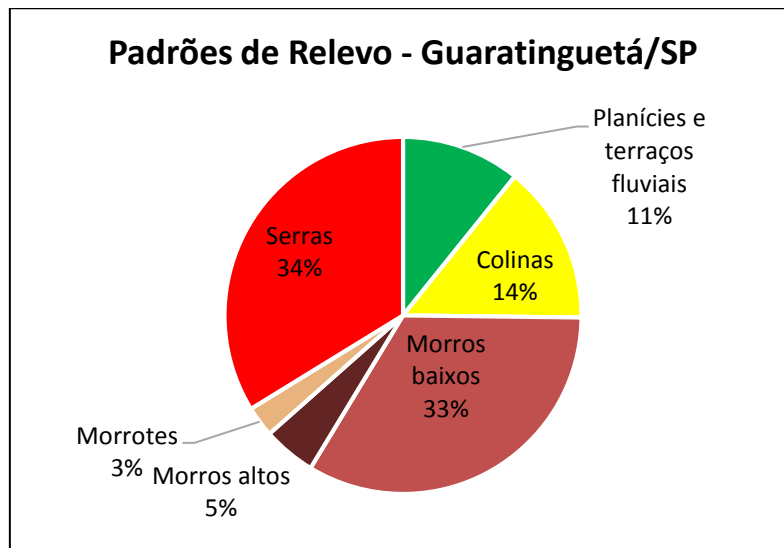


Figura 15: Padrões de relevo – Guaratinguetá/SP.

Na porção norte do município de Guaratinguetá o relevo apresenta uma maior variabilidade com ocorrência de 6 padrões de relevo. Ocorrem padrões de Serra, Morros Altos e Morros Baixos associados a Serra da Mantiqueira. Os padrões de relevo de Colinas e Planícies e Terraços Fluviais ocorrem associados a Depressão do Paraíba e planície da margem esquerda do Rio Paraíba do Sul. A porção sul apresenta padrões de relevo mais homogêneos representadas por Morros Baixos e Serra associadas à Serra do Mar. O perfil da Figura 16, no sentido NW para SE, apresenta a caracterização do relevo da área de estudo.

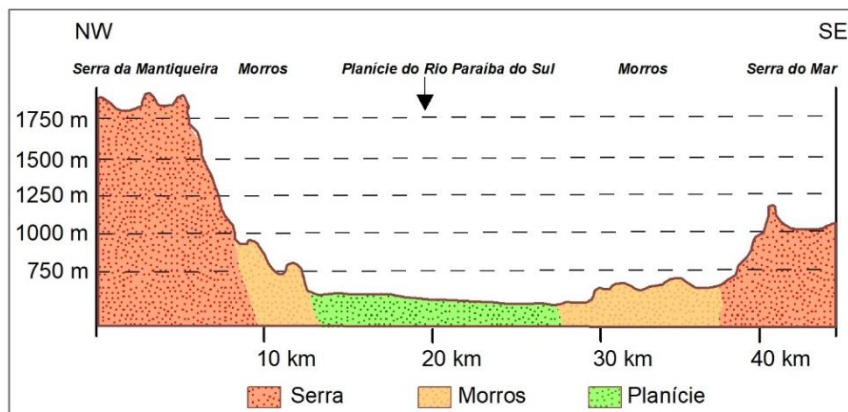


Figura 16: Perfil pedológico NW-SE de Guaratinguetá/SP.

A partir da correlação espacial entre os registros de escorregamentos e os padrões de relevo do mapa de relevo verificou-se que os 13 eventos ocorreram nas formas de relevo de Morros Baixos. A Figura 17 apresenta o mapa com a distribuição dos padrões de relevo e os registros de escorregamentos na área de estudo.

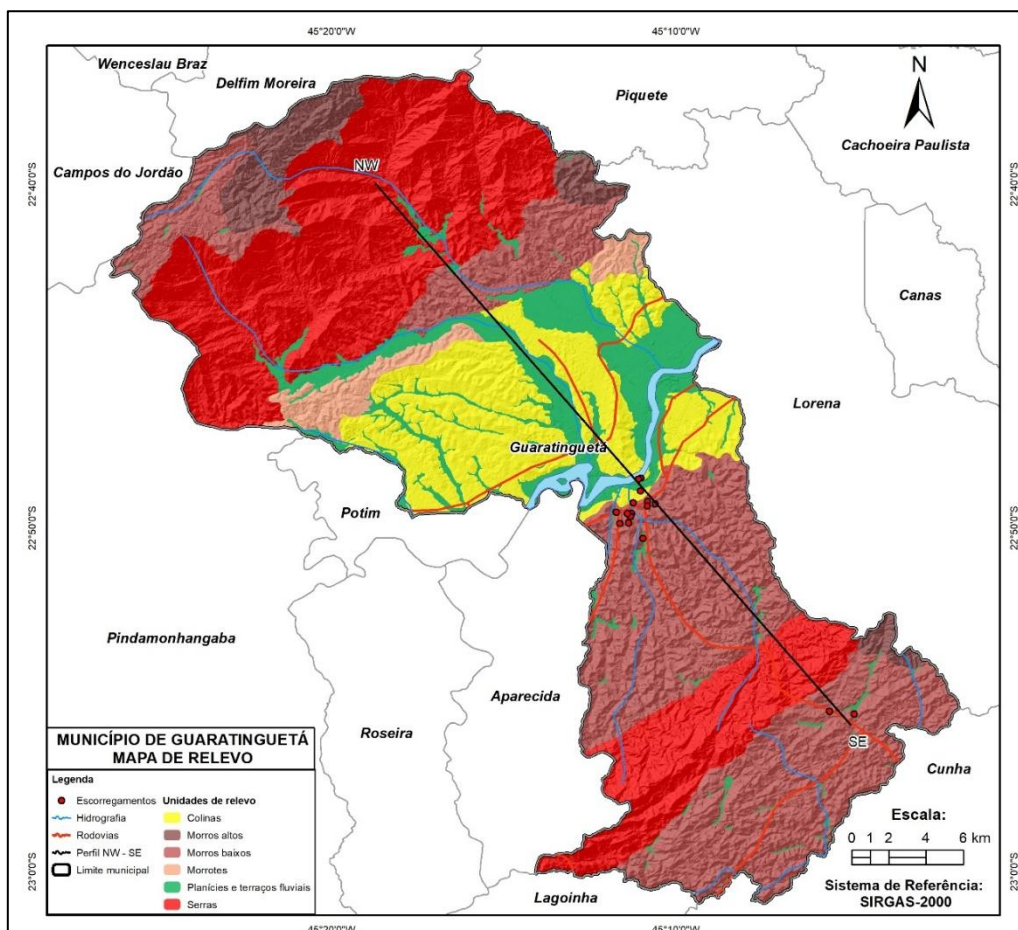


Figura 17: Mapa de geomorfológico do município de Guaratinguetá/SP.

3.5. Declividade

No município de Guaratinguetá predominam classes de declividades no intervalo de 7° a 30° associadas a Serra da Mantiqueira na porção Norte e Serra do Mar na porção sul. Declives com intervalo entre 0° e 5°, que constituem áreas planas, ocorrem predominantemente na margem esquerda do Rio Paraíba do Sul. A Figura 18 apresenta a extensão das declividades no município.

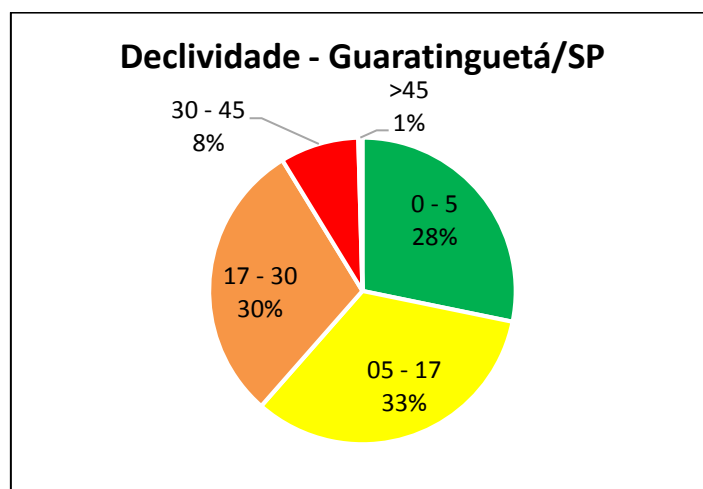


Figura 18: Classes de declividade – Guaratinguetá/SP.

A partir da correlação espacial entre os registros de escorregamentos e as classes de declividade do mapa clinográfico verificou-se que do total de 13 eventos 7 ocorreram em declividades entre 5° a 17° e 6 eventos ocorreram em declividades entre 17° a 30°. Os registros em declividades maiores não ocorrem, uma vez que, a ocupação é realizada na parte inferior da encosta que apresenta menor declividade, sendo nestes locais registrados os danos para a população. A Figura 19 apresenta o mapa de declividade e os registros de escorregamentos na área de estudo.

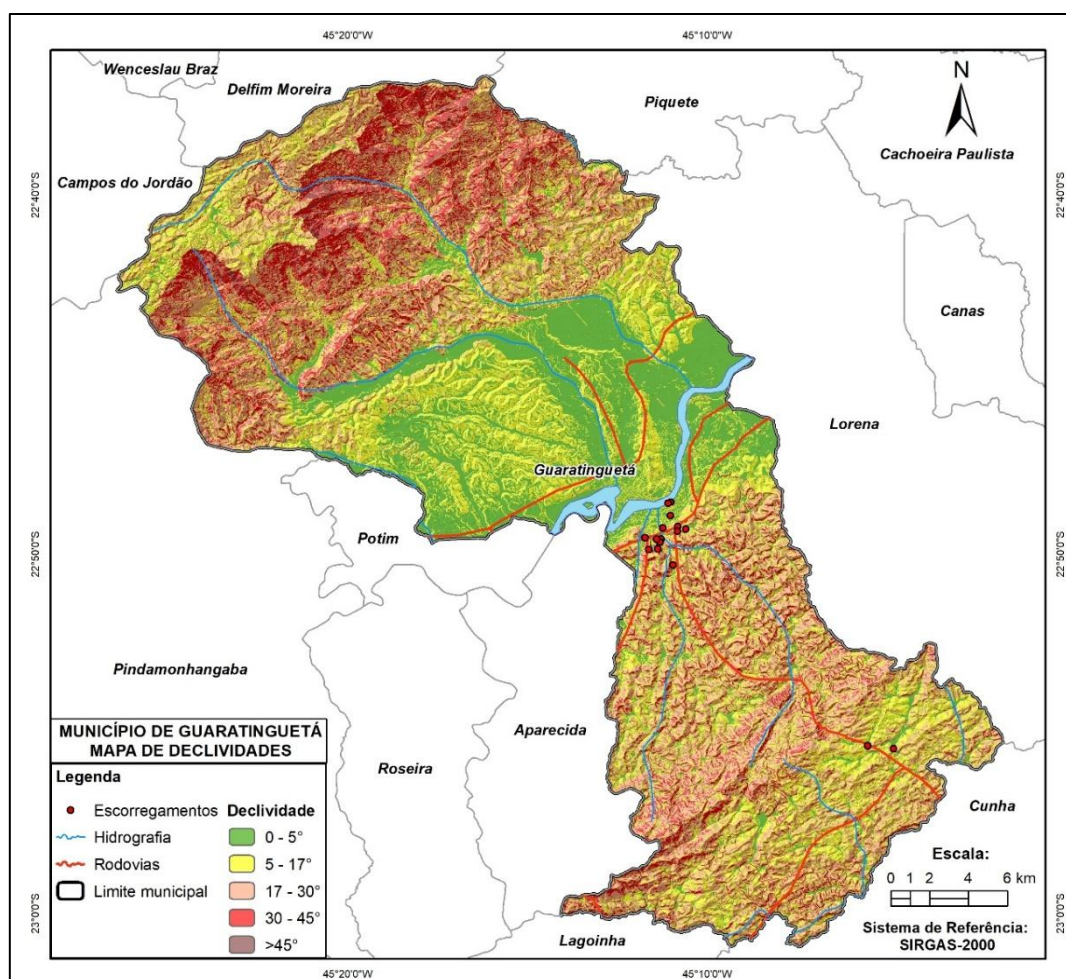


Figura 19: Mapa de declividades do município de Guaratinguetá/SP.

3.6. Suscetibilidade

A partir da correlação espacial entre os registros de escorregamentos e as classes de suscetibilidade verificou-se que do total de 13 eventos, 11 ocorreram em áreas classificadas como alta e 2 em áreas classificadas como média suscetibilidade. A Figura 20 apresenta o mapa de suscetibilidade a escorregamentos com a distribuição dos registros de escorregamentos no município.

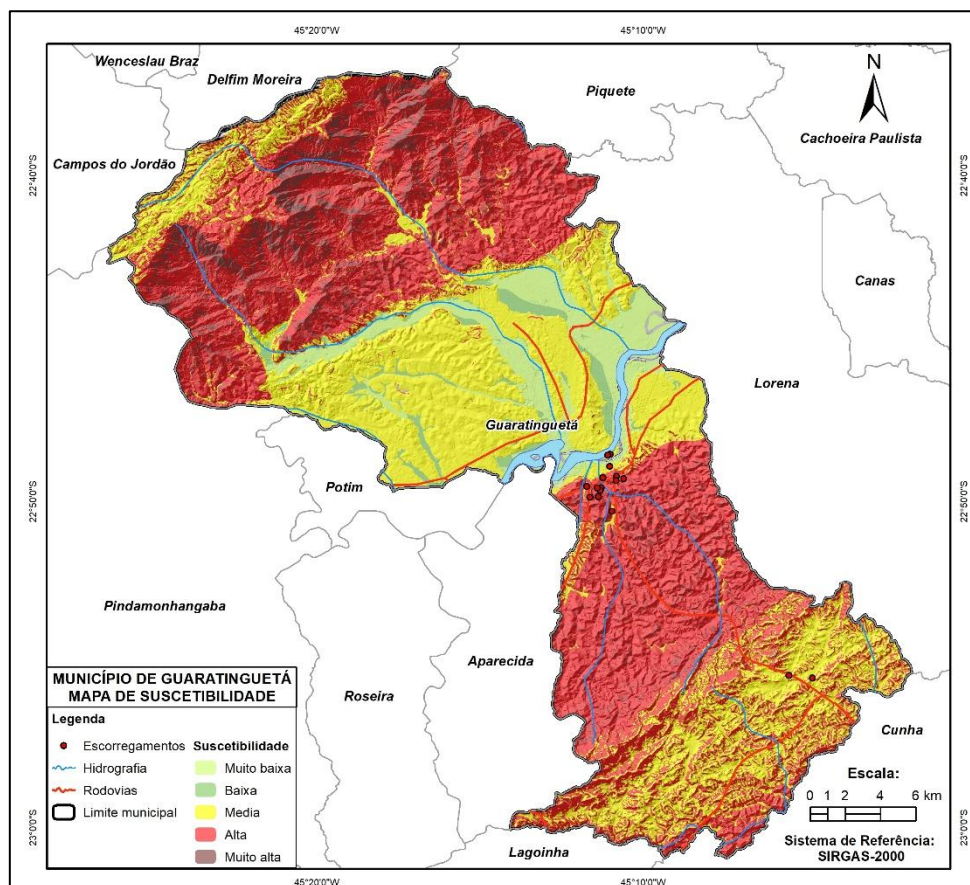


Figura 20: Mapa de suscetibilidade a escorregamentos - Guaratinguetá/SP.

No município de Guaratinguetá predominam classes de suscetibilidade a escorregamentos classificadas como alta e média suscetibilidade que ocupam 51% e 34% da área de estudo, respectivamente. Estas classes ocorrem na porção norte associadas a Serra da Mantiqueira e na porção sul associadas a Serra do Mar. O gráfico da Figura 21 apresenta a distribuição das classes de suscetibilidade da área de estudo.

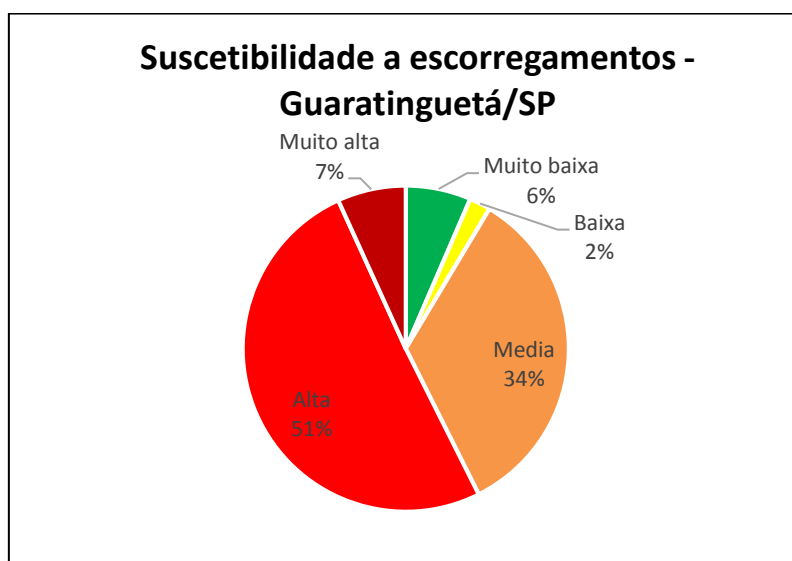


Figura 21: Classes de suscetibilidade a escorregamentos – Guaratinguetá/SP.

4. Conclusões

A partir do estudo realizado verificou-se que a suscetibilidade a escorregamentos no município de Guaratinguetá está associada aos locais com declividades entre 5 e 30°, constituídas por formas de relevo de morros, onde as litologias são migmatitos e granitos os solos são do tipo latossolos e argissolos.

As classes de alta e muita suscetibilidade a escorregamentos são predominantes, abrangendo mais de 70% da extensão territorial do município. As classes com muito baixa e baixa suscetibilidade, que apresentam baixo potencial de serem atingidas por escorregamentos, abrangem menos de 10% do município.

As técnicas de geoprocessamento aplicadas ao estudo constituíram ferramentas eficazes para organização e integração das informações, permitindo a realização de análises espaciais relativas a suscetibilidade a escorregamentos no município de Guaratinguetá.

5. Referências bibliográficas

AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geológica-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica**. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 1, 1992, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PCRJ. V.2, p.691-704.

BENESSIUTI, M., F. **Estudos dos mecanismos de instabilidade em solos residuais de biotita-gnaiss da bacia do ribeirão Guaratinguetá**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2011, 128 f.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. v 3. Florianópolis. Ed: da UFSC, 2003.

CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M; GARRIDO, J. **SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling**. Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Banco Climático do Brasil**. Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/bdclima/>. Acesso em 5 de jun. de 2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**. 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. 2010. Acesso em 3 maio. 2018.

CRED - Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. **Natural disasters in 2017: Lower mortality, higher cost**. March, 2018. Disponível em: <https://cred.be/sites/default/files/CredCrunch50.pdf>. Acesso em 1 de jun. de 2018.

INFANTI JUNIOR N.; FORNASARI FILHO, N. **Processos de dinâmica superficial**. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Ed.). Geologia de engenharia. São Paulo: ABGE, 1998. p. 131-152.

INSTITUTO GEOLÓGICO DE SÃO PAULO. **Mapeamento de riscos associados a escorregamentos, inundações, erosão, solapamento, colapso e subsidência do município de Guaratinguetá, SP**. 2012.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. IBGE. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 422 p.

ANEXO 1:

```
{
// Pesos a ser aplicados
// Clinografia = 0.394
// Formas_relevo = 0.106
// Geologia = 0.179
// Solos = 0.268

// Razao de consistência
// CR = 0.097

// Programa em LEGAL
// Este programa deve ser completado
// pelo usuario para incluir os dados
// apresentados entre os sinais de <>

// Definicao dos dados de entrada

Tematico var1 ("Clinografia");
Tematico var2 ("Formas_relevo");
Tematico var3 ("Geologia");
Tematico var4 ("Solos");

Tabela tab1 (Ponderacao);
tab1 = Novo (CategoriaIni = "Clinografia" ,
"0 - 5":1,
"5 - 17":2,
"17 - 30":3,
"30 - 45":4,
">45":5);

Tabela tab2 (Ponderacao);
tab2 = Novo (CategoriaIni = "Formas_relevo" ,
"Colinas":2,
"Morros_altos":4,
"Morros_baixos":4,
"Morrotes":3,
"Plan?cies e terra?os fluviais":1,
"Serras":5);

Tabela tab3 (Ponderacao);
tab3 = Novo (CategoriaIni = "Geologia" ,
"Dep?sitos aluviais":1,
"Gnaisses embrech?ticos":4,
"Migmatitos":5,
"Su?tes granit?ides":4,
"Forma??o Ca?apava":2,
"Dep?sitos coluviais":3);

Tabela tab4 (Ponderacao);
tab4 = Novo (CategoriaIni = "Solos" ,
```



```
"Cambissolos":4,  
"Latossolos":5,  
"Argissolos":3,  
"Gleissolos":1);
```

```
// Definicao do dado de saida
```

```
Numerico var5 ("Suscetibilidade");
```

```
// Recuperacao dos dados de entrada
```

```
var1 = Recupere (Nome="Mapa_declividade_1");  
var2 = Recupere (Nome="Tipos_relevo");  
var3 = Recupere (Nome="Unidades_geologicas");  
var4 = Recupere (Nome="unidades_solos");
```

```
// Criacao do dado de saida
```

```
var5 = Novo (Nome="Grade_suscetibilidade5", ResX=10, ResY=10, Escala=50000,  
Min=0, Max=1);
```

```
// Geracao da media ponderada
```

```
var5 = 0.394*(Pondere(var1, tab1)) + 0.106*(Pondere(var2, tab2))+  
0.179*(Pondere(var3, tab3))+ 0.268*(Pondere(var4, tab4));  
}
```