

# ELABORAÇÃO DA CARTA GEOTÉCNICA DE SUSCETIBILIDADE DE UM TRECHO DA RODOVIA MARECHAL RONDON - SP-300 (SP, BRASIL)

Francely Martinelli FERNANDES <sup>1</sup> & Leandro Eugenio da Silva CERRI <sup>2</sup>

- (1) Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900– Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: francely@gmail.com
- (2) Departamento de Geologia Aplicada, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900– Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: lescerri@rc.unesp.br

Introdução  
Área de Estudo  
Procedimentos Metodológicos  
Resultados e Discussão  
Conclusões e Recomendações  
Referências Bibliográficas

**RESUMO** – As rodovias são empreendimentos de grande extensão longitudinal que atravessam diversos tipos de terrenos, que possuem condições geológicas, geomorfológicas, pedológicas e vegetacionais diferenciadas. A utilização de Cartas Geotécnicas de Suscetibilidade é de grande importância na gestão ambiental de rodovias, por serem documentos que inter-relacionam diversas informações do meio físico. Desta forma, esta pesquisa objetivou a elaboração da carta geotécnica de suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial e a indicação de diretrizes para a conservação da Rodovia Marechal Rondon – SP-300. Para sua elaboração foram utilizados o Mapa de Declividade, as Unidades Fisiográficas Homogêneas delimitadas, os processos da dinâmica superficial mapeados e o uso do solo. Sua elaboração evidenciou sua importância para a gestão ambiental de rodovias, tendo em vista a prevenção, o monitoramento e a correção dos processos adversos que podem ocorrer neste tipo de empreendimento.

**Palavras-chave:** cartografia geotécnica, erosão, movimentos de massa, gestão ambiental.

**ABSTRACT** – *F.M. Fernandes & L.E. da S. Cerri - Susceptibility Engineering Geological Map Elaboration of Marechal Rondon Road Stretch - SP-300 (SP, Brazil).* The highways are enterprises of great longitudinal extension that cross several types of lands, that possess different geologic, geomorphologic, pedologic and vegetation conditions. In the environmental management of highways the importance of the use of Engineering Geological Maps of Susceptibility was noticed, for being documents that inter-relates several information of the environment. This way, this research objectified the elaboration of this type of map and the indication of lines of direction for the conservation of the Highway Marechal Rondon - SP-300. For its elaboration the Map of Declivity, the delimited Homogeneous Physiographic Units, the processes of the superficial dynamics mapped and the use of the ground was used. Its elaboration evidenced its importance for the environmental management of highways, in view of the prevention, the monitoring and the correction of the adverse processes that can occur in this type of enterprise.

**Keywords:** engineering geological mapping, erosion, mass movements, environmental management.

## INTRODUÇÃO

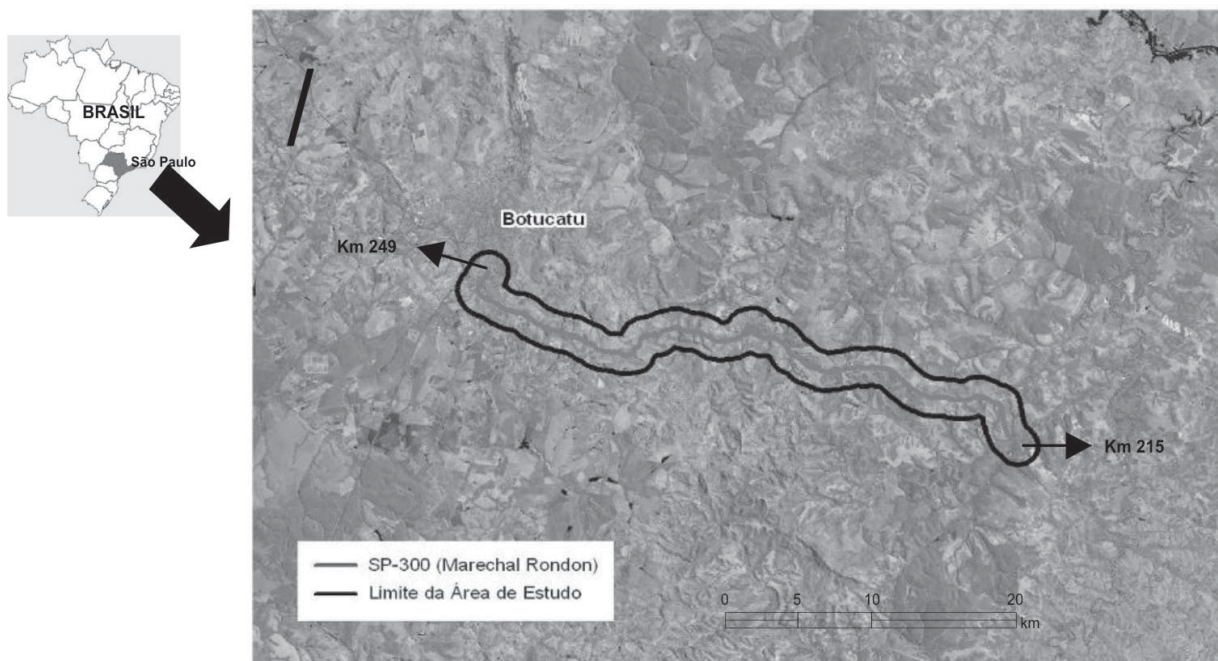
Os problemas de origem geológico-geotécnica podem afetar as rodovias de diversas formas. Estes problemas geram vários tipos de instabilização nos taludes de corte e de aterro, nas encostas naturais, e em outros locais da via, tanto em solo como em rocha (Rodrigues & Lopes, 1998).

Escorregamento, rastejo e queda de blocos são os processos da dinâmica superficial mais observados em locais de instabilidade tectônica, como a região de Cuestas Basálticas, onde está inserida, nas proximidades do município de Botucatu, São Paulo, a Rodovia

Marechal Rondon – SP-300, área de estudo desta pesquisa (Figura 1).

O trecho selecionado para este estudo tem início no km 215 e fim no km 249, envolvendo regiões com características ambientais específicas, vez que atravessa duas diferentes províncias geomorfológicas: Depressão Periférica e Cuestas Basálticas (Serra de Botucatu) (Almeida, 1964). Desta forma, os processos da dinâmica superficial atuantes nesta área possuem diferente formação, intensidade e abrangência.

Devido às fragilidades do quadro geológico



**FIGURA 1.** Área de estudo (imagem orbital ETM+, Landsat 7, 03/10/2002, composição colorida 3B 4G 5R).

regional, esta área está classificada como sendo de alta criticidade em relação aos processos erosivos (IPT, 1995). As cabeceiras de drenagem, principalmente, encontram-se deterioradas pela instalação de processos erosivos avançados, agravados pelo avanço indiscriminado da agricultura e da pastagem, que promovem a remoção da vegetação nativa, expondo o solo e permitindo seu carreamento para outros locais.

Estes problemas são causados essencialmente pela falta do necessário conhecimento do meio físico, principalmente referente à gênese dos processos da dinâmica superficial. Esta falta de conhecimento leva a projetos construtivos inadequados e construções deficientes. Os problemas geotécnicos característicos das rodovias são ainda agravados quando não há boa manutenção das obras (Rodrigues & Lopes, 1998).

Dentro deste contexto, o conhecimento das características e comportamentos de elementos do meio físico e suas inter-relações, tornam-se fundamentais para o bom desempenho da gestão ambiental e manutenção das rodovias.

Estas características e comportamentos, bem como as suas inter-relações podem ser analisadas, interpretadas, sintetizadas e representadas em documentos cartográficos, como são as cartas geotécnicas; que classificam e representam os atributos que compõem o meio físico (Zuquette & Nakazawa, 1998).

Com o intuito de garantir a efetividade das exigências ambientais, a carta geotécnica de suscetibilidade é fundamental subsídio para a gestão ambiental de empreendimentos rodoviários, na medida em que

apresenta os parâmetros de suscetibilidade a processos da dinâmica superficial, principal problema nas rodovias do país, agravados/deflagrados pela ação antrópica.

No Brasil, as denominações Cartografia Geotécnica e Mapeamento Geotécnico têm sido usadas com o mesmo sentido (Vedovello, 2000). Com relação às formas de apresentação do mapeamento, Zuquette e Nakazawa (1998), no entanto, diferenciam mapas de cartas geotécnicas. Eles afirmam que os mapas são utilizados para efetuar apenas o registro de informações não interpretadas do meio físico, enquanto que as cartas apresentam interpretações das informações contidas no mapa, com o objetivo de uma aplicação específica. Desta forma, é possível a coexistência dos dois produtos.

Cerri (1990) afirma que as cartas geotécnicas no Brasil podem ser divididas em quatro grandes grupos: (a) cartas geotécnicas clássicas, desenvolvidas a partir de unidades de análise, ensaios de campo e mapas temáticos, resultando em compartimentos geológico-geotécnicos, analisados em conjunto com o uso e ocupação do solo; (b) cartas de suscetibilidade, desenvolvidas a partir de um processo geológico que é analisado através de mapas temáticos levando-se em consideração o uso e ocupação do solo como fator que potencializa o processo; (c) cartas de risco, desenvolvidas por meio da carta de suscetibilidade levando-se em consideração o uso e ocupação do solo como consequência social e econômica e; (d) cartas de conflito de uso, desenvolvidas através do diagnóstico do meio físico com o uso e ocupação atual do solo, analisando-se problemas de ordem geológico-geotécnica.

O documento cartográfico focado na presente pesquisa é a carta geotécnica de suscetibilidade; especificamente, suscetibilidade a processos da dinâmica superficial, cuja lógica é apresentar a compilação dos dados de declividade e tipo de solo, amparados nos dados do mapeamento dos processos deflagrados e uso do solo.

A carta de suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial é resultado do estudo da tipologia e da distribuição dos processos da dinâmica superficial que ocorrem na área. Tipos de solo e declividade do

terreno, ou seja, comportamento geotécnico do terreno, são analisados em conjunto com os fatores naturais intrínsecos que condicionam a ocorrência destes processos (Salomão, 1994).

Tendo isso em vista, o objetivo geral da presente pesquisa foi a elaboração da Carta Geotécnica de Suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial, na escala 1:50.000, do km 215 ao km 249, da Rodovia Marechal Rondon – SP-300, entre os municípios paulistas de Botucatu e Anhembi.

## ÁREA DE ESTUDO

Segundo Almeida (1964) e Ponçano et al. (1981), a área abrange duas das cinco grandes províncias geomorfológicas do Estado de São Paulo: Depressão Periférica e Cuestas Basálticas.

No Estado de São Paulo a Depressão Periférica corresponde à faixa de ocorrência de sequências sedimentares infra-basálticas paleozóicas e mesozóicas incluindo áreas descontínuas de corpos intrusivos, sob a forma de diques e soleiras de diabásio (Almeida et al., 1981). Este relevo transgride os limites das litologias sedimentares e avança sobre rochas graníticas, metamórficas e migmatíticas do embasamento (Ponçano et al., 1981).

Ross & Moroz (1997) identificam as Cuestas Basálticas, no interflúvio Tietê/Paranapanema como Planalto Residual de Botucatu (ou, genericamente Serra de Botucatu), caracterizando-se por colinas com topos amplos convexos e tabulares. Nesta área predominam altimetrias entre 600-900m e as vertentes apresentam declividades entre 10-20%.

O relevo das cuestas é sustentado por rochas basálticas, mas também se encontra a Formação Itaqueri, onde predominam os arenitos coexistindo com folhelhos e conglomerados (Almeida et al., 1981). Podem ocorrer Latossolos Vermelho-Amarelos local e regionalmente, e, em regiões de relevo suave ocorre, tanto o Latossolo Vermelho quanto o Argissolo Vermelho-Amarelo, preferencialmente (Oliveira et al., 1999).

Em relação à geotecnia Nakazawa et al. (1994) afirmam que os terrenos da Depressão Periférica e do

reverso da cuesta possuem alta a muito alta suscetibilidade à erosão. Boçorocas se desenvolvem a partir do aprofundamento dos sulcos e ravinas quando interceptam o nível d'água ou diretamente de surgências d'água por reativação de cabeceiras por meio do piping.

Os terrenos da Serra de Botucatu, são caracterizados por Nakazawa et al. (1994) como de muito alta suscetibilidade a escorregamentos. Os tipos de movimento de massa mais comuns são: escorregamentos planares, envolvendo solo e rocha (cujas superfícies de ruptura não ultrapassam 2m de profundidade); quedas de blocos (a partir de paredões e afloramentos rochosos); rolamento de blocos e matacões situados preferencialmente em encostas de alta declividade; instabilização de depósitos de tálus (feições que já possuem estabilidade natural precária) e; corridas de blocos, cujos fatores mais importantes são a alta declividade, a amplitude das vertentes e a maior disponibilidade de materiais.

Os terrenos com média suscetibilidade aos processos de colapso dos solos, no reverso da Cuesta, podem apresentar recalques na fundação de edificações e obras civis (pavimento do viário) quando submetidos ao umedecimento, através da redução brusca no volume dos vazios internos do solo, com ou sem carga adicional. Estes processos podem ser agravados pelo vazamento de sistemas subterrâneos de distribuição de água e de saneamento, pois esta vazão pode reagir com o solo, atuando como dispersante de argila.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A elaboração da Carta Geotécnica de Suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial foi realizada por meio da execução de algumas etapas seqüenciais, que podem ser observadas no fluxograma apresentado na Figura 2.

A base cartográfica foi executada a partir da utilização das cartas topográficas Anhembi e Botucatu, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística –

IBGE, na escala 1:50.000. Estas cartas, adquiridas gratuitamente no site do IBGE: <http://www.ibge.gov.br>, foram vetorizadas e criou-se um banco de dados geográficos no formato *Geodatabase*, com auxílio do aplicativo ArcGIS, versão 9.2.

A partir dos dados das curvas de nível e dos pontos cotados, extraídos das cartas topográficas e armazenados no banco de dados, foi obtido o Modelo Numérico

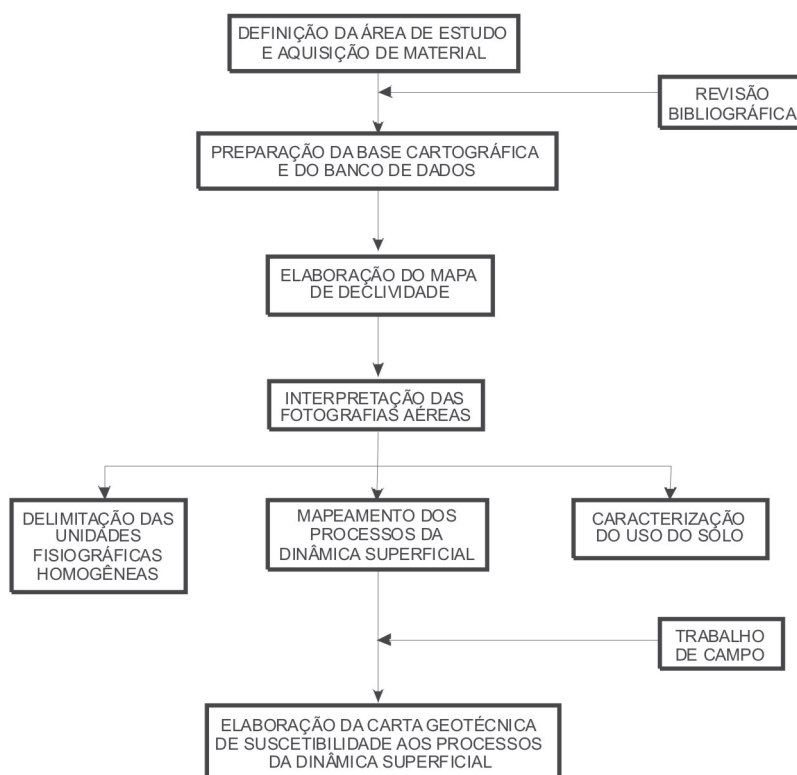


FIGURA 2. Fluxograma das etapas de trabalho.

do Terreno (MNT), que subsidiou a elaboração do Mapa de Declividade, na escala 1:50.000.

O mapa de declividade foi gerado a partir das informações de elevação do MNT, considerando os intervalos: 0-3%; 3-10%; 10-20% e; >20%, definidos com base em trabalhos anteriores que se basearam no comportamento de processos erosivos, tais como: IPT (1994); Salomão (1994); Ridente Jr. et al. (1995) e; Ridente Jr. (2000).

Para a delimitação das Unidades Fisiográficas Homogêneas, para o mapeamento dos processos da dinâmica superficial e para a caracterização do uso do solo, foram utilizadas fotografias aéreas, na escala 1:30.000, interpretadas aos pares com auxílio de estereoscópio de espelho do Laboratório de Fotogeologia das dependências do Departamento de Geologia Aplicada da Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho – UNESP, campus de Rio Claro, SP.

A análise visual das fotografias baseou-se na diferenciação de elementos texturais e estruturais de relevo e drenagem por meio da interpretação de diferenças de cor, textura, rugosidade, rupturas no relevo (positivas e negativas), dentre outras técnicas de interpretação, com base em Soares & Fiori (1976).

Os trabalhos de campo objetivaram, principalmente, a verificação das informações levantadas nas fotografias aéreas. No processo, foi envolvida a confe-

rência e definição dos traçados das unidades, bem como a descrição do perfil geológico-geotécnico típico de cada uma delas.

Os perfis geológico-geotécnicos foram caracterizados para descrever os tipos de solo e de rocha de cada uma das unidades do terreno. O intuito foi relacioná-los com a declividade, com o uso do solo e com os processos mapeados, para gerar a Carta Geotécnica de Suscetibilidade aos Processos da dinâmica superficial. Os perfis foram descritos em taludes da rodovia ou em taludes de estradas menores adjacentes.

O solo superficial orgânico, os horizontes pedológicos, a relação com a rocha de origem e o nível freático foram descritos. Também foi analisada a gênese do solo superficial (saprolítico, laterítico, etc.).

Foi verificada a existência e/ou potencialidade de existência de processos da dinâmica superficial na área. A vegetação, as interferências antrópicas e os indicadores ambientais foram descritos em fichas de campo específicas.

Para a confecção da Carta Geotécnica de Suscetibilidade aos Processos da dinâmica superficial, na escala 1:50.000, foi realizado o cruzamento das informações do mapa de declividade com o uso do solo e as Unidades Fisiográficas Homogêneas delimitadas, tendo como base as cartas topográficas Anhembi e Botucatu do IBGE.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área de estudo foi definida em um raio de abrangência de 1 km para cada lado do trecho da rodovia selecionado, do km 215 até o 249, assinalado pelas coordenadas UTM 761.363/7.464.586 m, 788.658/7.455.666 m, totalizando 34 km de extensão linear e 70,24 km<sup>2</sup> de área.

No trecho selecionado, foram delimitadas 5 (cinco) Unidades Fisiográficas Homogêneas, que subsidiaram a inferência dos graus de suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial da área de estudo, baseadas no trabalho de Ridente Jr. (2008).

A Unidade I – Várzeas e fundos de vale, foi caracterizada por apresentar extensas várzeas (planícies fluviais), variando de 20 a 700 m de largura, com declividade entre 0-3%, formadas por sedimentos Terciários, Quaternários e depósitos de assoreamento Quinários, e fundos de vale restritos de drenagens menores, possuindo declividade semelhante às várzeas, porém com formação geológica variada. Nesta Unidade o solo é aluvial do tipo Gleissolo de cor cinza com intercalações de camadas orgânicas (turfa), com espessura variável.

Nestes terrenos, devido à baixa declividade, podem ocorrer inundações e enchentes localizadas, além de assoreamentos provenientes de processos erosivos nas vertentes da bacia hidrográfica. Nas margens dos córregos podem ocorrer solapamentos de margem fluvial, principalmente em locais de retrabalhamento dos terraços fluviais e assoreamentos mais recentes, onde o canal fluvial busca um novo posicionamento devido a uma mudança qualquer imposta em seu regime hídrico.

A Unidade II – Cuesta da Serra de Botucatu, foi definida pelas frentes das escarpas da Serra de Botucatu (cuesta basáltica) e pelo seu reverso, onde ocorrem rochas basálticas e pequenas escarpas, apresentando assim, duas Sub-Unidades: IIa e IIb.

As escarpas da Serra de Botucatu, Sub-Unidade IIa, caracterizam-se por apresentar solo coluvionar, pouco desenvolvido, de textura predominantemente argilosa, com cor escura, que ocorre sobre rochas basálticas, extremamente fraturadas e com grau de intemperismo variado. São Neossolos Litólicos assinados por horizonte orgânico (< 40 cm) assentados diretamente sobre a rocha, ou Cambissolos, que são constituídos por horizonte composto por material mineral abaixo do horizonte orgânico.

A espessura máxima dos solos desta Sub-Unidade é de 1 m. Localmente podem ocorrer diferenciações devido à presença de inter-trap de arenito ou devido à presença de depósitos de tálus.

A erosão ocorre na forma de sulcos e ravinas nas encostas, porém predominam os movimentos gravita-

cionais de massa, como os escorregamentos (escorregamento de solo, rolamento de blocos, queda de blocos, deslocamento de blocos e corrida de blocos).

Nestes locais a gênese dos processos de erosão e escorregamentos está, por vezes, associada. Existem casos em que o escorregamento de encosta ocorre primeiro e deixa o solo desprotegido, favorecendo a instalação de sulcos ou ravinas. Também, existem casos em que ocorrem sulcos e ravinas com maior intensidade e que o seu aprofundamento leva à geração de escorregamentos nas encostas da serra.

No reverso da cuesta, Sub-Unidade IIb, quando o basalto aflora nos fundos de vale, por ser um relevo mais suave, o solo evolui para um Argissolo Vermelho com a formação de um horizonte B textural, argiloso e de espessura da ordem de 1 a 2 m.

Formam-se escorregamentos em pontos isolados, nas proximidades de rupturas do relevo onde existem cachoeiras, e em vertentes mais íngremes.

A Unidade III – Vertentes íngremes dos arenitos foi caracterizada pelas vertentes íngremes dos Arenitos das Formações Pirambóia e Botucatu, na Depressão Periférica.

Nestas áreas predominam declividades acima de 20% e o desnível é de cerca de 40 a 150 m. Os solos são predominantemente rasos (< 1 m), Neossolos Litólicos, com ocorrência de Argissolos Vermelho-Amarelos de textura arenosa em porções mais suaves. São áreas extremamente suscetíveis à erosão, principalmente em cabeceiras de drenagem, onde se formam pequenas manchas de Gleissolos.

A Unidade IV – Topos de colinas dos arenitos é caracterizada por Arenitos das Formações Pirambóia, Botucatu e de Formações Terciárias em topos de colinas com declividade predominante entre 0-10%. Encontram-se na região da Depressão Periférica (abaixo da cuesta), onde ocorrem Latossolos Vermelho-Amarelos arenosos e, ocasionalmente, Neossolos Quartzarênicos. Tratam-se de solos lateríticos de origem coluvionar, com espessura variando de 2 a 15 m. São extremamente suscetíveis à erosão, principalmente nas cabeceiras de drenagem, onde localmente podem ocorrer Gleissolos ou Neossolos Flúvicos.

Quando o processo erosivo ocorre, atinge grandes proporções devido à textura arenosa do solo e à sua grande espessura. Nos limites com a Unidade III, existe um grande potencial de formação de erosão devido à ruptura positiva e mudança brusca do relevo, aumentando a declividade, principalmente nas cabeceiras de drenagem.

A Unidade V – Arenitos no reverso da cuesta foi delimitada pelos Arenitos da Formação Marília e de

Formações Terciárias em topos de morro com declividade predominante entre 0-20%, onde formam-se, predominantemente, solos lateríticos do tipo Latossolos Vermelho-Amarelos com textura arenosa-argilosa e com textura argilosa-arenosa. Também ocorrem Latossolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-Amarelos.

A espessura desses solos varia de 2 a 8 m, aproximadamente; sendo mais espessos nos topos das colinas e menos espessos nas suas vertentes. A espessura do solo também é variável em função da espessura do pacote sedimentar sobre o basalto. Existem locais em que a cobertura do basalto é de somente 3 a 4 m de rocha arenosa. Esta proximidade das rochas basálticas eleva a presença de argila no solo.

Quando o processo erosivo ocorre, pode atingir grandes proporções devido à textura do solo e à sua grande espessura, que varia de 2 a 8 m e ao lençol freático que em alguns locais é bastante raso, cerca de 2 m de profundidade. A presença do lençol freático raso deve-se à interferência do basalto que funciona como uma camada impermeável abaixo do arenito. Nas situações em que existe um talude corte da rodovia e o lençol freático é interceptado, criam-se condições favoráveis ao desenvolvimento de processos erosivos.

No total da área de estudo, foram interpretadas 63 (sessenta e três) feições de erosão, das quais 27 (vinte e sete) estão relacionadas à rodovia; 1 (um) solapamento; 3 (três) evidências de rastejo; 7 (sete) quedas, que incluem rolamento e tombamento; 7 (sete) escorregamentos; 2 (dois) depósitos de assoreamento e; 1 ocorrência de enchente, totalizando 84 processos deflagrados (Tabela 1).

**TABELA 1.** Processos da dinâmica superficial mapeados na área de estudo.

UNIDADE	Erosão	Solapamento	Rastejo	Queda de Blocos	Escorregamento	Assoreamento	Enchente	TOTAL
I Várzeas e fundos de vale	04	01	-	-	-	-	01	06
II Cuesta da Serra de Botucatu	IIa	09	-	02	06	07	-	24
	IIb	-	-	-	-	-	-	0
III Vertentes íngremes dos arenitos	33	-	01	01	-	02	-	37
IV Topos de colinas dos arenitos	17	-	-	-	-	-	-	17
V Arenitos no reverso da cuesta	-	-	-	-	-	-	-	0
<b>TOTAL</b>	<b>63</b>	<b>01</b>	<b>03</b>	<b>07</b>	<b>07</b>	<b>02</b>	<b>01</b>	<b>84</b>

A partir destes dados foi possível analisar que 76% das ocorrências de processos deflagrados na Rodovia Marechal Rondon foram processos erosivos, seguidos pelas quedas de blocos e escorregamentos (8% das ocorrências), rastejos (4%), assoreamentos (2%), enchentes (1%) e solapamentos (1%), tipo específico de erosão.

Embora a erosão tenha sido o principal processo deflagrado na área, o assoreamento, consequência principal da erosão, teve poucas ocorrências no mapeamento (apenas 2% do total). Este acontecimento se deve ao fato de que a maioria dos depósitos de assoreamento localizaram-se fora dos limites da área de estudo, não tendo entrado no mapeamento realizado.

As classes de uso e ocupação do solo, estabelecidas através de fotointerpretação, foram definidas em: área urbana; matas; agricultura/silvicultura e, pastagem. A diferenciação entre agricultura/silvicultura e pastagem foi baseada na presença de parcelamento de solo para a agricultura e inexistência desta feição para pastagem. As matas e a área urbana são detectadas facilmente na escala de análise utilizada, vez que as matas apresentam dossel heterogêneo e a área urbana apresenta coloração cinza e divisão em lotes.

A área ocupada pela pastagem foi calculada em 34,75 km<sup>2</sup>, agricultura/silvicultura em 15,48 km<sup>2</sup>, matas em 13,46 km<sup>2</sup> e área urbana em 5,93 km<sup>2</sup>. Isto indicou que 50% da área de estudo está ocupada por pastagem, 22% por agricultura, 19% por matas e 9% pela área urbana de Botucatu.

A pastagem foi o tipo de uso onde mais se observaram processos deflagrados: 55 ocorrências, ou seja, 66% da totalidade dos processos, das quais, 46 foram erosões, 1 solapamento, 1 rastejo, 3 quedas de blocos, 2 escorregamentos e 2 assoreamentos.

Nas matas, por sua vez, foram mapeados 15 processos (18% do total): 5 erosões; 2 rastejos; 4 quedas de blocos e, 4 escorregamentos. Na agricultura/silvicultura, 13 (15%): 12 erosões e 1 escorregamento. E na área urbana, 01 processo (1%): enchente.

A declividade foi o parâmetro balizador da suscetibilidade, principalmente referente aos movimentos de massa (escorregamentos, quedas e colapsos), que tendem a ocorrer em regiões de maior declividade.

No intervalo 0-3% foram mapeados 18 processos (21% do total): 15 erosões; 1 solapamento e; 2 assoreamentos. Este intervalo refere-se a regiões de relevo mais suave, onde observam-se planícies fluviais ou topos de colinas. Nas planícies fluviais predominam solos aluvionares, onde a tendência é de ocorrer solapamento e assoreamento. Nos topos de colinas, os solos são mais espessos e homogêneos, geralmente lateríticos, onde se formaram os processos erosivos nas cabeceiras de drenagem de 1ª ordem.

Entre 3-10% foram identificados 23 processos (27% do total): 21 erosões; 1 queda de blocos e; 1 enchente. Este intervalo é caracterizado pelas vertentes de colinas, com solos espessos e homogêneos, por vezes lateríticos ou coluvionares, onde também se formaram, principalmente, os processos erosivos nas cabeceiras de drenagem de 1ª ordem. A enchente foi mapeada na área urbana da cidade de Botucatu.

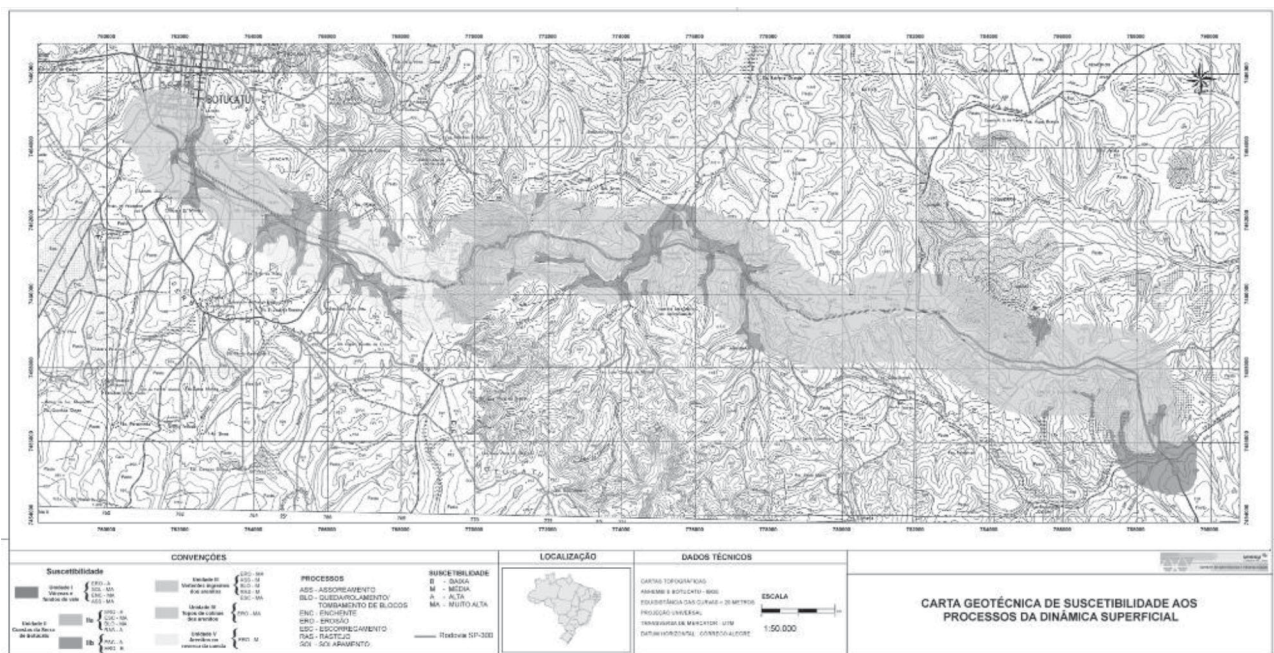
Na classe de declividade de 10-20% foi onde ocorreu o maior número de processos: 39% da totalidade de ocorrências, das quais: 24 foram erosões; 1 rastejo; 3 quedas de blocos e; 4 escorregamentos. Neste intervalo predominaram os solos lateríticos ou coluvionares, do tipo Argissolo, onde existe um horizonte B com nível de argila mais pronunciado. Nestes locais, formaram-se principalmente, os processos de ravinamento mais intensos.

Acima de 20% foram observados 11 processos (13% do total): 3 erosões; 2 rastejos; 3 quedas e; 3 escorregamentos. Nestas declividades, ocorrem solos

pouco desenvolvidos, de origem coluvionar, pouco espessos e, por vezes, intercalados com depósitos de tálus, nas quais os processos predominantes foram os de movimentos gravitacionais de massa.

Da relação da declividade com os processos deflagrados, percebe-se que os processos erosivos (sulcos, ravinas, boçorocas, solapamentos) concentram-se nas regiões de menor declividade, enquanto que os movimentos de massa (escorregamentos, queda de blocos, rastejo) concentram-se nas áreas de maiores declividades. Este fato pode ser comprovado na classe de declividade > 20%, que apesar de ter sido a classe com menor ocorrência de processos, foi a que concentrou a maior parte dos movimentos de massa.

Através da inter-relação de todos os dados coletados neste estudo, foi elaborada a Carta Geotécnica de Suscetibilidade aos Processos da dinâmica superficial, na escala 1:50.000, para a qual foram definidas 4 classes de suscetibilidade: baixa; média; alta e; muito alta (Figura 3).



**FIGURA 3.** Carta geotécnica de suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial da Rodovia Marechal Rondon – SP-300.

## CONCLUSÕES

A sequência de etapas realizadas no presente estudo, mostrou-se suficiente para a elaboração da Carta Geotécnica de Suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial no trecho km 215 ao 249 da Rodovia Marechal Rondon – SP-300.

A interpretação das fotografias aéreas na escala 1:30.000, podendo-se atingir a escala 1:1.500 no computador, foi adequada não só para a realização da

compartimentação do terreno e delimitação das unidades homogêneas, mas principalmente para a identificação dos processos da dinâmica superficial deflagrados e para a definição das classes de uso do solo.

O Mapa de Declividade, elaborado por meio da utilização de software específico, mostrou-se documento fundamental para a definição das classes de

suscetibilidade da Carta Geotécnica, identificando com a precisão requerida, os locais de maiores e menores declividades.

A Carta Geotécnica de Suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial revelou-se importante subsídio para a gestão ambiental de empreendimentos desde a fase de projeto, durante sua implantação e posteriormente na operação/manutenção, traduzindo com objetividade parâmetros de suscetibilidade de cada unidade de análise.

Em termos práticos, tal carta possui alta aplicabilidade em empreendimentos de engenharia civil, onde atua como importante ferramenta para o monitoramento e supervisão de obras, especialmente as rodoviárias, auxiliando os envolvidos no planejamento e execução da obra a dimensionar e local dispositivos de drenagem provisória e definitiva; localizar com maior eficácia áreas de empréstimo de material e áreas de depósito

de material excedente (bota-foras); bem como planejar e organizar o escoamento das águas superficiais, de forma a minimizar a ocorrência de erosões e assoreamentos, por exemplo.

O processo de elaboração da carta geotécnica evidenciou sua importância para a gestão ambiental de rodovias, tendo em vista a prevenção, o monitoramento e a correção dos processos atuantes neste ambiente que podem ser melhor realizados com os conhecimentos que a carta traz, como características intrínsecas de cada unidade, que apresentam comportamentos geotécnicos equivalentes e sua suscetibilidade à ocorrência de processos da dinâmica superficial.

Durante as fases de construção, reparos e manutenção da rodovia, sugere-se seguir as recomendações sintetizadas no Quadro 1, o que propiciará um melhor desempenho ambiental da obra, minimizando possíveis impactos ambientais e diminuindo os custos operacionais.

**QUADRO 1.** Principais recomendações para as diferentes Unidades Fisiográficas Homogêneas da área de estudo.

Unidade		Recomendações
Unidade I Várzeas e fundos de vale		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuidados especiais na execução dos sistemas de drenagem superficial e profundo, devido à alta capacidade de saturação do terreno;</li> <li>- Proteção superficial vegetal dos taludes de corte e aterro;</li> <li>- Recomposição da mata ciliar nos cursos d'água, para evitar os solapamentos.</li> </ul>
Unidade II Cuestas da Serra de Botucatu	Sub- Unidade IIa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Execução do sistema de drenagem superficial de forma a evitar a concentração da água em um único ponto, considerando dispositivos de dissipação de energia;</li> <li>- Execução de medidas de estabilização dos taludes de corte para se evitar escorregamentos e queda de blocos.</li> </ul>
	Sub- Unidade IIb	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuidados nas saídas de água da plataforma da rodovia nos fundos de vale, para evitar alagamentos e acúmulo de sedimentos.</li> </ul>
Unidade III Vertentes íngremes dos arenitos		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nas áreas de ruptura de relevo, recomenda-se o direcionamento da drenagem da rodovia até um ponto baixo nos córregos de jusante;</li> <li>- Dissipação adequada da energia da água;</li> <li>- Proteção das laterais do sistema de drenagem.</li> </ul>
Unidade IV Topos de colinas nos arenitos		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planejamento do sistema de drenagem de modo a evitar qualquer concentração de fluxo superficial;</li> <li>- Projeção das saídas do sistema de drenagem para levar as águas de forma disciplinada até locais onde exista estabilidade, nos córregos de jusante;</li> <li>- Instalação de dispositivos de dissipação de energia adequados.</li> </ul>
Unidade V Arenitos no reverso da cuesta		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Execução do sistema de drenagem de forma a evitar a concentração de água por grandes extensões;</li> <li>- Proteção superficial dos taludes;</li> <li>- Instalação de drenos horizontais profundos nos taludes onde existe contato com o basalto.</li> </ul>



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, F.F.M. **Fundamentos geológicos do relevo paulista**. Boletim IGc/USP, v. 41, p. 167-263, 1964.
2. ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; PONÇANO, M.L.; DANTAS, A.S.L.; CARNEIRO, C.D.R.; MELO, M.S.; BISTRICHI, C.A. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**: escala 1: 500.000. IPT: **Publicação, 1184**, 126 p. + Mapa, 1981.
3. CERRI, L.E.S. **Carta Geotécnica**: contribuições para uma concepção voltada às necessidades brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 6, 1990, Salvador. **Anais...** Salvador: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1990, v. 1, p. 35-41.
4. IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Bases técnicas para a recuperação de bacias hidrográficas: projeto piloto do Rio Santo Anastácio** - Município de Presidente Prudente, SP. (IPT Relatório Técnico 32514), São Paulo, 1994.
5. IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Carta de risco de erosão da área urbana de Botucatu, SP**. (IPT Relatório Técnico 33369), São Paulo, 94 p., 1995.
6. NAKAZAWA, V.A.; FREITAS, C.G.L.; DINIZ, N.C. **Carta Geotécnica do Estado de São Paulo**: escala 1:500.000. IPT: Publicação 2089, 2 v., 22 p. + Mapa, 1994.
7. OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**. Campinas: IAC e EMBRAPA, 64 p. + Mapa, 1999.
8. PONÇANO, V.L.; ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; DANTAS, A.S.L.; MELO, M. S.; BISTRICHI, C.A.; STEIN, D.P. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**: escala 1:1.000.000. São Paulo: IPT, 1981.
9. RIDENTE JUNIOR, J.L. **Prevenção e controle da erosão urbana: bacia do Córrego do Limoeiro e bacia do Córrego do Cedro, municípios de Presidente Prudente e Álvares Machado, SP**. Rio Claro, 2000. 106 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
10. RIDENTE JUNIOR, J.L. **Análise da utilização de cartas geotécnicas em diferentes escalas para a gestão ambiental de rodovia em operação**. Rio Claro, 2008. 182 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
11. RIDENTE JUNIOR, J.L.; STEIN, D.P.; IWASA, O.Y.; OLIVEIRA, A.M.S.; ALTAFINI, M. **Carta de risco de erosão da área urbana de Botucatu, SP**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSIÃO, 5, 1995, Bauru. **Resumos Expandidos...** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1995.
12. RODRIGUES, R. & LOPES, J.A.U. Rodovias. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds.), **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, Cap. 25, p. 419-430, 1998.
13. ROSS, J.L.S. & MOROZ, I.C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**: escala 1:500.000. São Paulo: FFCLH-USP/ IPT/ FAPESP, 2 v., 1997.
14. SALOMÃO, F.X.T. **Processos erosivos lineares em Bauru (SP): regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural**. São Paulo, 1994. 200 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
15. SOARES, P.C. & FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em Geologia. **Notícias Geomorfológicas**, v. 16, n. 32, p. 71-104, 1976.
16. VEDOVELLO, R. **Zoneamentos Geotécnicos Aplicados à Gestão Ambiental, a partir de Unidades Básicas de Compartimentação – UBCs**. Rio Claro, 2000. 153 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
17. ZUQUETTE, L.V. & NAKAZAWA, V.A. Cartas de Geologia de Engenharia. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds.), **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, Cap. 17, p. 283-300, 1998.

*Manuscrito Recebido em: 22 de novembro de 2010  
Revisado e Aceito em: 4 de março de 2011*