

Técnicas de Geoprocessamento aplicadas ao estudo da suscetibilidade a escorregamentos translacionais nos entornos dos polidutos de Cubatão - SP

Carolina Monteiro de Carvalho ¹
Paulina Setti Riedel ²

¹ Geóloga pela Universidade Estadual Paulista- UNESP
cmcarv@hotmail.com

² Universidade Estadual Paulista -UNESP
Caixa Postal 178 – Rio Claro – SP
psriedel@rc.unesp.br

Abstract. GIS Analytical Hierarchy Process (AHP) was applied to evaluate landslide susceptibility along petroleum and gas pipelines in Cubatão (SP). In this area, the main landslides are related to the translation type, caused by geologic and geomorphologic conditions, associated with the degraded vegetation and high pluviosity. Geologic, geomorphologic and vegetation conditions were obtained from the study area to characterize the main geologic process features. Thematic maps related to these features were integrated through AHP model, which consider a weighted score, where each map must be associated with a list of scores, one per map class, depending on their influence in the process under consideration. The final product was a susceptibility map, which enabled an adequate analysis of this type of process as well as the evaluation of the critical areas along existing pipelines and the future planning of new pipelines.

Palavras-chave: mass movements, Geographical Information Systems, Analytical Hierarchy Process, movimentos de massa, Sistemas de Informação Geográfica, Análise Hierárquica Ponderada

1. Introdução

O município de Cubatão, importante pólo industrial brasileiro, localizado na Serra do Mar Paulista, tem sido alvo de processos da dinâmica do meio físico que envolvem principalmente movimentos de massa. A perda da cobertura vegetal, consequência da ação dos poluentes atmosféricos que tem agido por anos na região, associada à chuva, ao tipo de rocha ou solo alterados e às altas declividades existentes na serra, condicionam uma predisposição a processos erosivos, causados por fatores que geram instabilidade no solo ou rocha, levando à movimentação destes para baixo, devido à ação da gravidade, caracterizando os movimentos de massa. Na área de estudo, os tipos de movimento de massa mais comuns são o escorregamento translacional e a corrida de massa. Neste trabalho, foram abordados somente os escorregamentos translacionais.

Existem na região inúmeros dutos, que transportam desde esgoto até gás natural e há a previsão de aumento desta malha dutoviária, ocasionado pela descoberta de gás natural na Bacia de Santos. Os últimos acidentes com vazamentos em dutos geraram interesse por programas que envolvem sua integridade e confiabilidade e, conseqüentemente, por estudos do meio físico que venham a contribuir com o aumento da segurança.

Os Sistemas de Informação Geográfica têm grande potencial de aplicação em estudos integrados do meio físico, seja na abordagem conhecida como "knowledge driven" (baseada no conhecimento), seja através da abordagem "data driven" (baseada em dados). Neste trabalho, foi utilizada a abordagem "knowledge driven", onde o conhecimento sobre os processos que se desenvolvem, no tocante a seus condicionantes, é utilizado, de forma a conduzir o cruzamento dos dados. Esta abordagem permitiu que cada variável envolvida no processo fosse ponderada, de forma a refletir a sua importância relativa na problemática sob análise, para gerar uma carta de suscetibilidade aos escorregamentos translacionais da área de estudo, visando conhecer o comportamento do meio físico, nos entornos dos polidutos de Cubatão, no tocante ao tipo de escorregamento analisado.

2. Objetivos

O objetivo deste trabalho é gerar uma carta de suscetibilidade aos escorregamentos translacionais nos entornos dos polidutos de Cubatão, através da avaliação de seus condicionantes físicos, e também avaliar a contribuição das técnicas de Sistemas de Informação Geográfica na temática proposta.

3. Caracterização da área de estudo

Cubatão localiza-se na Baixada Santista, litoral do Estado de São Paulo (**Figura 1**).

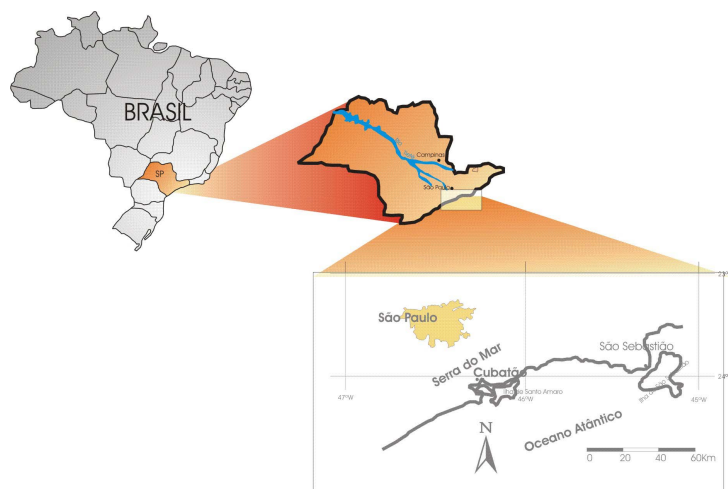


Figura 1: Localização da área de estudo

3.1. Geologia Regional

Segundo ALMEIDA (1984), ocorrem na área de estudo migmatitos oftalmíticos, migmatitos estromatíticos, ectinitos, micaxistos, clorita xistos e filitos. Podem ocorrer cataclasitos e suítes graníticas. Há também a ocorrência de calcário, dolomito e metamarga e localmente aparecem intrusões ígneas básicas e ácidas (SADOWSKI, 1974).

3.2. Clima

A Baixada Santista é considerada a área mais chuvosa do Brasil, sofrendo influência direta dos fatores geográficos locais. Durante o verão, as frentes frias que se originam na região antártica cruzam o Oceano Atlântico sul e se deparam com as massas tropicais de ar quente.

Esse encontro gera uma instabilidade atmosférica que, associada ao relevo escarpado, tem como consequência chuvas torrenciais (GUIDICINI & IWASA, 1976).

3.3 Vegetação

A vegetação nativa é constituída por uma floresta densa, restrita a locais onde não ocorrem atividades antrópicas. A vegetação secundária já se encontra degradada, devido à ação antrópica e à ação crônica dos poluentes atmosféricos oriundos de intensa atividade industrial (RODRIGUES, 1992). Houve um considerável aumento em número e em intensidade dos escorregamentos nas áreas de vegetação degradada (MENDONÇA e PAULICS, 1996).

4. Os Sistemas de Informação Geográfica e o modelo implementado

Segundo Bonham-Carter (1994), SIGs são sistemas de computador para o gerenciamento de dados espaciais, georreferenciados, interrelacionados e ligados a diferentes funções, exercendo tarefas de entrada, manipulação, visualização, análises, modelagem e saída; ao lado do Processamento Digital de Imagens (PDI).

O propósito dos SIGs é fornecer suporte em decisões a serem tomadas com base em dados espaciais, proporcionando uma seleção de prioridades, constituindo este processo, um modelo. Existem diversos modelos implementados dentro de SIG, sendo que o utilizado neste projeto é denominado Processo Analítico Hierárquico (AHP - Analytical Hierarchy Process) (BONHAM-CARTER, 1994). A AHP funciona como uma ferramenta de suporte à decisão, que consiste na escolha entre alternativas mais ou menos importantes na ocorrência de qualquer processo e é baseada na interseção de mapas temáticos de mesma escala, que constituem os critérios. Os critérios recebem um peso de acordo com sua importância no processo estudado e podem ter seu peso aumentado ou diminuído quando necessário. A partir do estabelecimento de critérios de comparação para cada combinação de fatores, é possível determinar um conjunto de pesos que podem ser utilizados para a geração de diferentes mapas.

Existe um grande número de aplicações para a AHP, como zoneamento, prospecção mineral, seleção de áreas para disposição de resíduos, estudos de preservação ambiental em áreas de encosta para estabelecer uma política de ocupação, ou elaborar mapas de risco de movimentos de massa ou impacto ambiental (CÂMARA et al., 1996).

5. Movimentos gravitacionais de massa

Os movimentos gravitacionais de massa são processos estudados em todo o mundo. São em parte responsáveis pela evolução das formas do relevo e causam grandes danos sócio-econômicos quando em desequilíbrio (GUIDICINI & NIEBLE, 1984). Podem ser classificados de acordo com o material envolvido, com o tipo de mecânica e a velocidade de movimentação (AUGUSTO FILHO et al., 1988).

As escarpas da Serra do Mar ocupam a área da floresta tropical úmida, caracterizada por elevadas temperaturas e por chuvas torrenciais, causando um processo de alteração intenso. Estas características (condicionantes ou variáveis dos movimentos de massa), associadas ao relevo e aos tipos de rochas, podem desencadear esses processos (IPT, 1985).

Apesar das condições favoráveis à formação de espessos mantos de alteração, há uma constante remoção dos detritos formados, devido à alta declividade das encostas. A remoção dos detritos formados dá-se basicamente pelos seguintes tipos de movimentos de massa: rastejos, escorregamentos translacionais e quedas de blocos. Na área de estudo, embora

ocorram os outros processos, o tipo mais atuante na dinâmica superficial é o escorregamento translacional (AUGUSTO FILHO et al. 1988).

6. Métodos utilizados

6.1 Levantamento dos condicionantes

Foram levantados os condicionantes dos escorregamentos translacionais, em função de sua importância como fator predisponente para a detonação do processo: geologia, declividade, geomorfologia e vegetação. A pluviosidade não foi considerada como condicionante, mas sim como principal agente deflagrador do processo, segundo considerações de IPT(1985).

6.2. Elaboração dos mapas temáticos

O mapa de declividade foi produzido a partir do modelo numérico do terreno, obtido pela interpolação dos pontos cotados, existentes ao longo das curvas de nível do mapa base topográfico, através do modelo TIN (triangular irregular network). O modelo numérico obtido após a triangulação foi reclassificado, de forma a gerar quatro classes de declividade, segundo intervalos utilizados por IPT (1985): $A < 20^\circ$; $20^\circ < B < 30^\circ$; $30^\circ < C < 40^\circ$; $D > 40^\circ$.

O mapa de cicatrizes de escorregamentos translacionais foi obtido a partir de registros de escorregamentos da Defesa Civil do estado de São Paulo e foi digitalizado manualmente, com a utilização do software SPRING 4.0 (INPE, 2004).

O mapa de traçado dos dutos foi obtido através da interpretação de imagens do LANDSAT 7 ETM+, já georreferenciada, onde foram executados processamentos como ampliação linear de contraste e análise de componentes principais, para facilitar o reconhecimento de seus traçados e complementar informações existentes sobre suas localizações.

Os mapas geológico, geomorfológico e de vegetação, em escala 1: 50000, foram obtidos de IPT (1985) e foram digitalizados automaticamente por um scanner, com resolução de 300 dpi. Em seguida, os mapas foram digitalizados em tela, através do software SPRING 4.0 (INPE, 2004) e, em seguida, foi criada a topologia, indispensável para qualquer análise espacial em SIG.

6.3. Tratamento e integração dos dados

Os mapas temáticos gerados foram submetidos ao Processo Analítico Hierárquico (AHP), citado anteriormente, no qual são atribuídos pesos aos mapas, que representam os condicionantes do processo, e também às classes dos mapas, constituindo-se numa soma ponderada, para gerar uma carta de suscetibilidade aos escorregamentos translacionais em Cubatão (SP).

6.3.1 Pesos dos mapas temáticos

Para gerar a carta de suscetibilidade aos escorregamentos translacionais através do Processo Analítico Hierárquico, os vários condicionantes, representados através dos mapas temáticos, foram analisados quanto à sua importância relativa na deflagração do processo e, segundo essa importância, foram calculados os pesos numéricos de cada um deles no processo sob análise.

No caso do presente trabalho, baseado nos julgamentos dos autores e com respaldo de dados existentes sobre os escorregamentos translacionais estudados na região da Serra do Mar

paulista e, especificamente, na região de Cubatão, os condicionantes com maior importância relativa no processo, e importâncias iguais, foram a geomorfologia e a declividade, já que a ocorrência de um escorregamento translacional está intimamente ligada a altas declividades e vertentes retilíneas. A vegetação foi avaliada como tendo a segunda maior importância, já que a ausência da cobertura vegetal potencializa o processo, constituindo, portanto, num importante fator para a suscetibilidade. O condicionante geologia foi considerado como tendo a menor importância relativa no processo. Existem tipos de rochas mais favoráveis ao escorregamento, como as que apresentam planos de fraqueza, xistosidade, fraturas ou alterações, porém, estas devem estar associadas a altas declividades e vertentes retilíneas ou côncavas para que o processo seja deflagrado. Com base nas importâncias relativas, consideradas dois a dois, são calculados pelo software os pesos correspondentes a cada condicionante.

Nesta etapa, a soma dos pesos calculados deve ser igual a 1 (um) e é aconselhável que a Razão de Consistência obtida seja sempre menor que 0,1. Esta razão mede a coerência e a consistência das relações de importância consideradas na análise. Caso a razão de consistência obtida seja superior a 0,1, o julgamento dos condicionantes deve ser refeito, por apresentar incoerências. Quanto mais próxima de "0" for a razão de consistência, mais coerente será o modelo. O cálculo de pesos deste trabalho, expostos na **Tabela 1**, resultou em uma Razão de Consistência igual a 0,008, o que caracteriza um modelo coerente.

Tabela 1: Pesos atribuídos aos condicionantes abordados.

Condicionantes	Peso calculado	Condicionantes	Peso calculado
Geologia	0,082	Geomorfologia	0,359
Declividade	0,359	Vegetação	0,200

6.3.2. Pesos das classes dos mapas temáticos

Os pesos atribuídos às classes dos mapas temáticos foram fundamentados no conhecimento do processo, apoiado pela pesquisa bibliográfica realizada, também caracterizando o modelo "knowledge driven" utilizado. Nesta etapa, porém, conforme os procedimentos exigidos pelo software SPRING (INPE, 2004) utilizado, são atribuídos diretamente os valores numéricos, correspondentes aos pesos, de acordo com a influência de cada classe temática na deflagração do processo, no caso, os escorregamentos translacionais. Estes pesos podem variar de acordo com o processo a ser analisado, com a área de estudo e sua dinâmica superficial e até mesmo com o julgamento de cada pesquisador, podendo ser modificados a qualquer momento.

Segundo Augusto Filho et al (1988), as classes geomorfológicas podem ser associadas às espessuras de solo. As encostas retilíneas são associadas à menor profundidade de solo, aqui considerada rasa, enquanto que as encostas côncavas são associadas a solos de espessura mediana. Já as encostas convexas, por sua vez, são ligadas a solos de maior espessura, aqui considerados profundos. Esta associação complementou a análise, visto que as encostas retilíneas, que dominam a área, possuem menor espessura de solo, o que é característico de áreas onde se desenvolvem os escorregamentos translacionais.

O mapa de suscetibilidade gerado apresenta valores de 0 a 1. Este mapa foi então reclassificado, de forma a gerar três classes, de acordo com os seguintes intervalos: a) baixa suscetibilidade - intervalo entre 0-0,4; b) média suscetibilidade - intervalo entre 0,4-0,65; c) alta suscetibilidade - intervalo entre 0,65-1, segundo apresentado na **Figura 2**.

Os pesos atribuídos aos condicionantes e às classes dos condicionantes podem ser alterados em qualquer momento do estudo, dependendo da análise que se quer fazer. Após qualquer alteração nos pesos, o processo da AHP deve ser executado novamente, para que o mapa final seja atualizado a cada nova modificação.

A carta obtida foi confrontada com as ocorrências de cicatrizes de escorregamentos já cadastradas, pela Defesa Civil, para validação do processo, e com o traçado dos polidutos, para avaliação de suas posições em relação às áreas de suscetibilidade.

7. Discussão dos resultados

A carta de suscetibilidade aos escorregamentos translacionais, na escala 1:100.000, evidencia áreas com três diferentes classes de suscetibilidade, sintetizadas na **Tabela 2** e na **Figura 2** :

Tabela 2 : Apresentação dos resultados.

Classes de suscetibilidade	Litotipos	Vegetação	Declividade	Geomorfologia	Área (%)
<i>Alta</i>	Filitos Micaxistos Migmatitos intercalados com micaxistos	Vegetação com forte degradação, área de manutenção, campo	>30° (classes C e D)	Vertentes retilíneas, áreas de cabeceira de drenagem	46%
<i>Média</i>	Migmatitos intercalados por quartzitos	Vegetação com baixa degradação	20°<B<30°	Vertentes retilíneas e patamares em rampa com ou sem colúvio	44%
<i>Baixa ou nula</i>	Migmatitos e granitóides	Área agrícola, capoeira de planície, capoeira antiga, capoeira nova	A<20°	Planície fluvial, elevações isoladas	10%

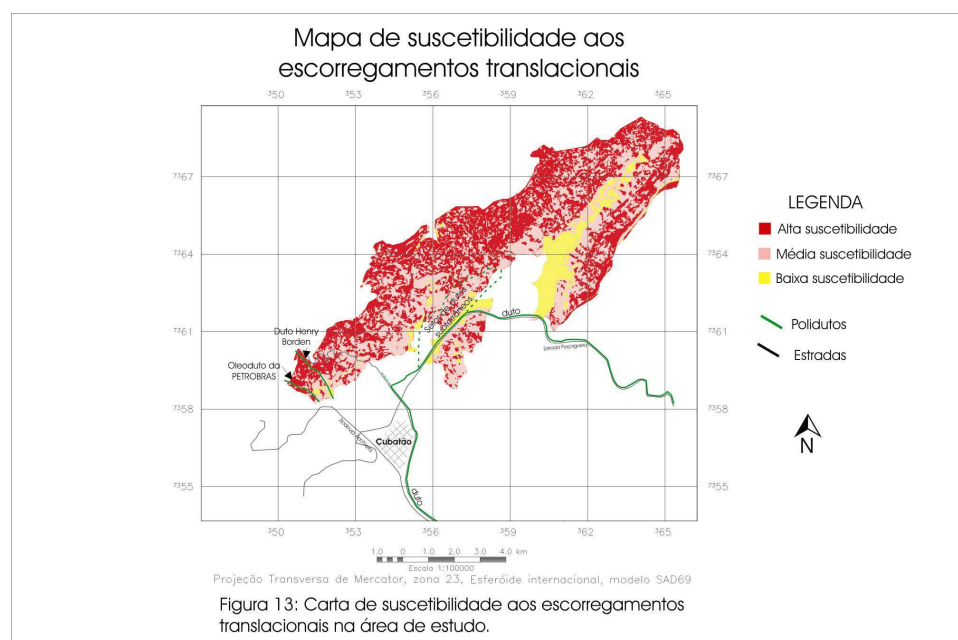


Figura 2: Carta de suscetibilidade aos escorregamentos translacionais.

A carta foi analisada em conjunto com o traçado dos polidutos, para a avaliação do seu posicionamento em relação às áreas de diferentes suscetibilidades a escorregamentos translacionais. Pode-se concluir que o oleoduto da PETROBRAS se encontra quase que inteiramente em área de alta suscetibilidade. Este possui trajeto subterrâneo por toda a Baixada, exceto na subida à encosta da Serra do Mar, na porção oeste da área de estudo. O mesmo pode ser dito para o duto da Usina Henry Borden, próximo ao oleoduto da PETROBRAS, na porção oeste. O duto que tem seu trajeto ao longo da Rodovia Piaçaguera está quase que inteiramente em área de baixa suscetibilidade, já que se situa em uma planície fluvial.

Foi mapeado por IPT (1985) um setor no qual estão instalados dutos subterrâneos, o qual se encontra parte em área urbanizada e parte em área predominantemente de média suscetibilidade.

8. Conclusões e recomendações

De acordo com os resultados obtidos, a área de estudo pode ser considerada como um meio altamente suscetível a escorregamentos translacionais.

As áreas de alta suscetibilidade se localizam em todas as porções mais elevadas das escarpas da Serra do Mar, onde as vertentes são retilíneas. Já as áreas de média suscetibilidade se encontram nas meias encostas. Áreas com baixa suscetibilidade se localizam na porção leste da área estudada, onde predominam planícies fluviais, e áreas de declividade muito baixa.

Pode-se concluir que a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas fornece subsídios para a tomada de decisão em relação à malha dutoviária de Cubatão, uma vez que possibilita uma análise com os condicionantes do meio físico que contribuem para a ocorrência dos escorregamentos translacionais, permitindo ainda a manipulação dos pesos e a inserção de mais variáveis ao modelo, de acordo com a necessidade do estudo.

O Processo Analítico Hierárquico constituiu uma eficiente ferramenta para a geração da Carta de Suscetibilidade a Escorregamentos, visto que considera de forma ponderada todos os condicionantes do meio físico, dependendo do objetivo do trabalho.

A carta de suscetibilidade permite a visualização dos pontos críticos em relação aos escorregamentos translacionais ao longo dos dutos, subsidiando um melhor planejamento das atividades ao redor deles. Esta avaliação também possibilita a previsão de um trajeto adequado à malha dutoviária a ser planejada, em relação ao meio físico e aos problemas que podem vir a ocorrer.

É recomendado que este tipo de trabalho seja executado antes da instalação de uma malha dutoviária ou de qualquer obra que configure uma alteração no meio físico. Também é sugerido que, uma vez havendo a necessidade dos dutos serem instalados numa área de alta suscetibilidade, medidas mitigadoras e recuperadoras sejam cuidadosamente observadas durante as etapas de elaboração do projeto executivo, implantação e operação da obra.

9. Agradecimentos

As autoras agradecem à Agência Nacional de Petróleo (ANP), pelo apoio concedido.

10. Referências

Almeida, F.F.F. Fundamentos geológicos do relevo paulista - In: **Geologia do Estado de São Paulo**, São Paulo: IG/USP, 1984. p.56-62.

Araújo, P.C. **Aplicação de Sistema de Informação Geográfica na escolha de áreas para disposição de resíduos sólidos no município de Americana (SP)**. 1999. 91p. (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

Augusto Filho, O.; Cerri, L.E.S. **Programa Serra do Mar: Carta geotécnica da Serra do Mar nas folhas de Santos e Riacho Grande**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1988. 49p.

Bonham-Carter, G.F. **Geographic Information Systems for geoscientists: Modelling with GIS**. Ottawa: Pergamon, 1994. 398p

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental "(CETESB)". **Carta morfodinâmica da Serra do Mar na região de Cubatão - São Paulo**. São Paulo, 1991. 36p. Relatório.

Guidicini, G.; Iwasa O.Y. **Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido**. São Paulo. IPT, 1976.

Guidicini, G.; Nieble, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de Escavação**. 2ª Edição. São Paulo. Edgard Blücher, 1984, 194p.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo- IPT. **Elaboração de subsídios técnicos para um plano de emergência para a área de Cubatão, Estado de São Paulo**. São Paulo. 1985 (IPT, Relatório nº 22.797).

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -INPE. **SPRING**. São José dos Campos, 2004. CD ROM.

Mendonça, R.R.; Paulics, J.P.J. **Monitoramento do desenvolvimento das espécies vegetais da Mata Atlântica introduzidas em três bosques experimentais no Vale do Moji, Caminho do Mar e Vale dos Pilões**. São Paulo: (CETESB), 1996. 99p. Relatório.

Rodrigues, R. **Características geológicas e geotécnicas intervenientes na estabilidade de massas coluviais da Serra do Cubatão - SP**. 1992. 116f. (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos

Sadowski, G. R. **Tectônica da Serra de Cubatão, S.P.** 1974. 160f. (Tese de Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Câmara, 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 .

Valeriano, D.M.; Ponzoni, F.J. **A fotointerpretação como instrumento para avaliação de impacto ambiental: a Mata Atlântica em Cubatão**. São José dos Campos: INPE, 1989. 18p. (4910-PRE/1511).