

Proposta de Correlação entre Pluviometria e Movimentos de Massa no Morro do Itararé, São Vicente (SP).

Roberto de Almeida Cunha Filgueiras

Gerenciamento e Projeto – GERPRO, Belo Horizonte, Brasil, roberto@filgueiras.com.br.

Bruno Couto de Oliveira Costa

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, bruno.couto.amb@gmail.com.Rosyelle

Rosyelle Cristina Corteletti

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, rosylleccorteletti@gmail.com

Romero Cesar Gomes

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, romero@em.ufop.br.

Allan Erlikhman Medeiros Santos

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, allanboni@hotmail.com.

Fabício Miranda Silva

Gerenciamento e Projeto – GERPRO, Belo Horizonte, Brasil, silva.geologo@gmail.com.

RESUMO: Este trabalho apresenta o estudo dos índices pluviométricos da cidade de São Vicente, e sua correlação com o método propostos por Guidicini e Iwasa (1977) para região da serra do mar, e na região de Caraguatatuba (SP), a fim de verificar a probabilidade de ocorrência de movimentos de massa catastrófica na cidade de São Vicente localizada na região da Serra do Mar. O resultado teve como intuito, verificar a situação de risco de acidentes que comprometem desde a integridade das estruturas na área da Associação dos Empregados da Fosfertil, e seu entorno imediato, no Morro do Itararé da cidade de São Vicente (SP), até a situação extrema de atingir as pessoas que frequentam o local na área, causado por movimentos de massa ao longo da encosta. A partir da análise estatística descritiva da série histórica posto pluviométrico de São Vicente do período entre 1938 e 2013, foi possível utilizar as cartas de riscos e encontrar a curva de probabilidade de ruptura catastrófica para a região de São Vicente, sendo utilizados os documentos elaborados para a Serra do Mar e para o município de Caraguatatuba (SP) As metodologias em questão foram selecionadas devido a proximidade a região estudada. As análises proporcionam uma avaliação das possibilidades de ocorrência de escorregamentos, assim como norteiam o dimensionamento de eventuais estruturas de drenagem necessárias na área de estudo.

Palavras chave: pluviometria, escorregamentos, correlação.

1 INTRODUÇÃO

Os movimentos de massa, ou movimentos coletivos de solos e rochas, são processos geodinâmicos superficiais que ocorrem normalmente em áreas de relevo acidentado, sobretudo em encostas. Apesar de se tratar de

um fenômeno natural, a atividade antrópica, representada em grande parte pela ocupação desordenada dos núcleos urbanos, contribuiu para que os movimentos de massa se transformassem em um tema comum, trazendo como consequências mortes, danos materiais e sociais (Couto *et. al*, 2013).

De acordo com Tatizana *et. al* (1987) e Delmonaco *et. al* (1995), as ocorrências de chuvas com intensidades e durações diversas têm sido reconhecidas como principal agente desencadeador de movimentos de massa, onde a influência da precipitação nos movimentos podem ocorrer individualmente ou em conjunto a partir dos seguintes processos: Alteração dos parâmetros de resistência dos materiais: diminuição da coesão aparente (diminuição da sucção) em virtude do aumento da umidade do solo, dissolução da cimentação; Aumento da sollicitação externa: aumento do peso específico dos materiais que formam a encosta; Avanço da frente de saturação no maciço, provocando o desenvolvimento de poropressões positivas nos solos, subpressões nas descontinuidades rochosas e forças de percolação; Alteração do perfil da encosta por erosão de materiais.

Normalmente os processos de ruptura dos taludes decorrentes de chuvas são oriundos do conjunto de características composto pela interação entre os processos de infiltração, contexto geológico dos maciços terrosos e rochosos, os índices de umidade antecedentes e a história pluviométrica da região (Wieczorek, 2005).

Desta forma, diversos trabalhos vêm sendo elaborados buscando uma correlação entre valores limites de precipitação e o início dos processos de movimento de massa. A maioria destes modelos é restrita à localidade no qual foi desenvolvido, visto as características climáticas, geológicas de uso e ocupação do solo de cada região. Ainda existe um grupo de trabalhos que se dedicam a verificação da aplicabilidade de metodologias consagradas na literatura à localidades com características semelhantes ao local original onde foram desenvolvidas

Um dos trabalhos pioneiros sobre a correlação entre pluviometria e escorregamentos foi desenvolvido por ENDO (1970), que associou a ocorrência de avalanches nas montanhas da Ilha de Hokkaido (Japão) a intensidades pluviométricas superiores a 200 mm/dia.

Campbel (1975), estudando escorregamentos nas Montanhas de Santa Mônica (Califórnia, EUA), verificou que uma grande parcela dos

casos dos escorregamentos tinha como causa primordial o aumento da poropressão no solo.

Desta forma, as chuvas representam o aspecto mais significativo na deflagração de um escorregamento, destacando-se dos demais. Segundo Guidicini e Nieble (1983) quase todos os escorregamentos registrados em nosso meio fisiográficas estão associados a episódios de elevada pluviosidade de duração compreendida entre algumas poucas horas até alguns dias. Porém em alguns casos esta relação entre a intensidade e a ocorrência de escorregamentos, mesmo acumulada não é verificada.

Au (1998), estudando uma possível correlação entre precipitação e instabilidade de taludes em Hong Kong, concluiu que acumulados pluviométricos (anteriores ao movimento de massa) tem pouca influência nas rupturas, sendo estes desencadeadas pelas chuvas intensas de curta duração. Quinta Ferreira *et. al* (2005), analisando dados de deslizamento da cidade de Coimbra, encontrou também que os escorregamentos não estão diretamente relacionados à precipitação acumulada, mas sim aos picos de intensidade pluviométrica.

Por outro lado, Tatizana *et. al* (1987), analisando a correlação entre chuvas acumuladas e escorregamentos na Serra do Mar, verificou uma relação entre precipitação acumulada e a ocorrência de deslizamentos, sendo a chuva acumulada de 4 dias fortemente associada a ocorrência dos eventos.

Considerando esta última metodologia, o estudo de Guidicini e Iwasa (1977) apresenta papel de destaque dentre as primeiras tentativas de correlação entre chuvas e escorregamentos em diferentes regiões do Brasil. A seleção das regiões utilizadas neste estudo foi feita levando em consideração a ocorrência de deslizamento em conjunto com a existência de históricos de precipitação recorde, resultando na seleção de nove regiões: Serra de Caraguatatuba (SP); Baixada Santista (SP); Rodovia dos Imigrantes (SP); Rodovia Anchieta (SP); Serra de Maranguape (CE); Serra dos Araras (RJ); Sul do estado de Minas Gerais (MG); Área urbana do Rio de Janeiro (RJ); Vale do Tubarão (SC).

Guidicini e Iwasa (1977) avaliaram a importância das chuvas antecedentes para 3, 7,

15, 30, 60, 90 e 120 dias, e realizaram análises probabilísticas das repetições dos eventos. Nesta metodologia é considerada, principalmente, a periodicidade das chuvas, a intensidade pluviométrica (antes e durante o evento) e a duração das chuvas. Além disso, foram estabelecidos coeficientes pluviométricos, cujos valores indicam diferentes “níveis de periculosidade” relativos à ocorrência de escorregamentos. Os coeficientes são definidos do seguinte modo:

C_c : Coeficiente de ciclo ou histórico da pluviosidade (razão entre o registro acumulado até a data do evento e a média anual da pluviosidade). Este coeficiente representa a porcentagem da precipitação acumulada até a data do escorregamento em relação a média pluviométrica anual e o coeficiente do episódio, que determina a relação entre a precipitação do episódio e a média anual (Castro, 2006).

C_e : Coeficiente de episódio (razão entre o registro pluviométrico do episódio e a média anual da pluviosidade).

C_f : Coeficiente final (igual assoma dos dois coeficientes anteriores: $C_c + C_e$).

A soma dos termos C_c e C_e fornece o coeficiente final C_f , no qual estabelece as condições de identificação da fenomenologia da ruptura. Por meio destes coeficientes foram construídas cartas de risco, definidas por quatro

faixas de classificação (A, B, C e D), conforme a região estudada. Foi também elaborada uma carta de risco considerando os eventos e as chuvas de diversas regiões (Figura 1).

Para a região da Serra do Mar (SP) estas faixas A, B, C e D correspondem a 100, 50, 33 e 0% respectivamente. Em outra abordagem, para o município de Caraguatatuba (SP) as mesmas faixas A, B, C e D correspondem a 100, 67, 31 e 0%, respectivamente (Figura 2).

No presente trabalho foi aplicada a metodologia de Guidicini e Iwasa (1977) elaborada a partir das cartas de riscos para a Serra do Mar, (Figura 1), que contemplam a região da Baixada Santista, área de estudo deste trabalho, localizada no Morro do Itararé, no município de São Vicente (SP). O estudo também correlacionou seus dados com a Carta de peculiaridade da área de Caraguatatuba (SP), localizada a 100 km da área de estudo (Figura 2). Tal relação só foi possível devido as características semelhantes geológicas e geomorfológicas das áreas, além de possuírem índices pluviométricos na faixa de 1900 a 2000mm. O objetivo do presente trabalho é verificar se a metodologia citada acima pode ser aplicada a localidade em questão, visto a proximidade a similaridade de suas características climáticas geológicas e pedológicas.

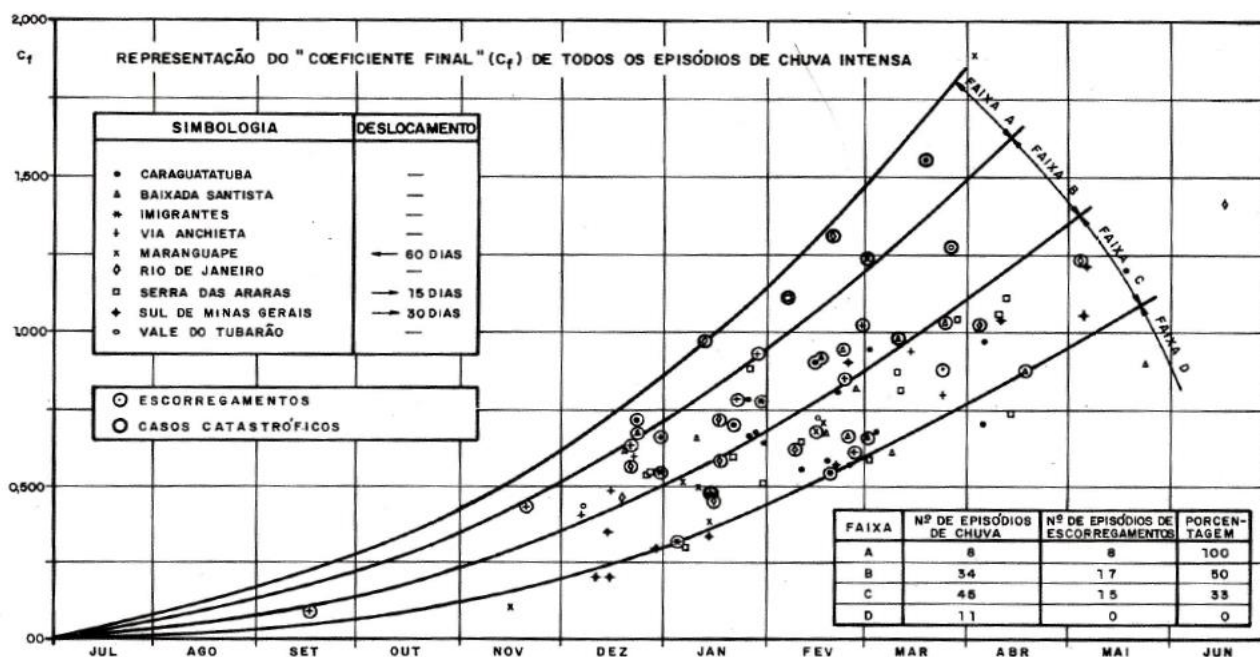


Figura 1. Análise global do Coeficiente de Ciclo C_c para diferentes regiões do Brasil (Guidicini e Iwasa, 1977).

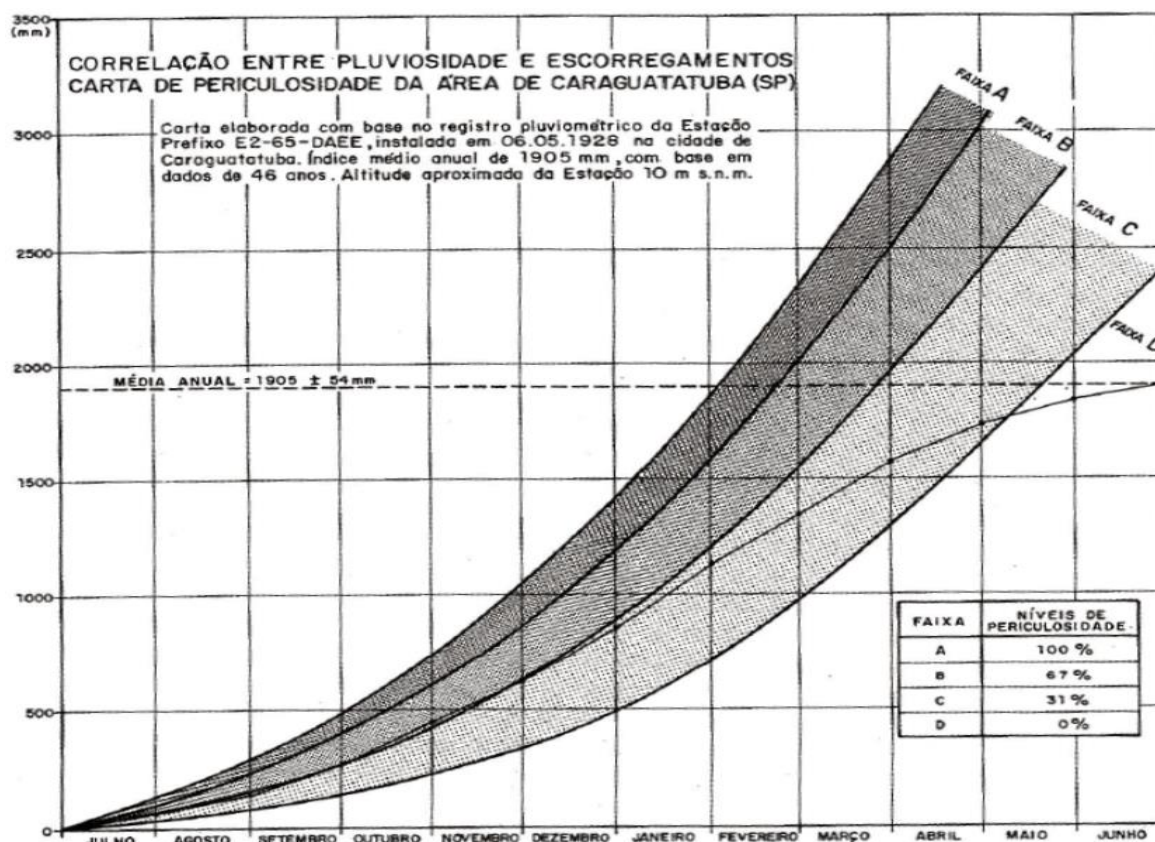


Figura 2. Carta de periculosidade para a região de Caraguatatuba (SP).

Uma das aplicações do presente estudo se refere à situação de risco de acidentes que comprometem, desde a integridade das estruturas na área da Associação dos Empregados da Fosfertil e seu entorno imediato, no Morro do Itararé da cidade de São Vicente (SP), até a situação extrema de atingir as pessoas que frequentam o local.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O município de São Vicente situa-se na região da Baixada Santista, porção central do Estado de São Paulo. Dentro da dinâmica natural da paisagem temos dois grandes processos naturais que ocorrem na região da Baixada Santista, a qual se insere o município de São Vicente (SP), atuando com maior predominância em áreas distintas do relevo, na qual se tem processos de movimentos de massa em domínio do Planalto Atlântico, onde a formação com maior representatividade na área é a Escarpa da Serra do Mar, e a área de Planície Costeira que dá nome da região de Baixada Santista, com

processos de inundação e alagamento (Baroni, 2006).

A região da Baixada Santista é uma região tropical e subtropical úmida em que, historicamente, predominam condições de altas temperaturas médias anuais e intensas precipitações. Os movimentos de massa recorrentes no município de São Vicente/Santos e seus arredores foram muito explorados e relatados pela mídia e por diversos trabalhos técnicos, por representarem uma séria ameaça à população e ao polo industrial local.

Considerando a cidade de São Vicente, pode-se dizer que a mesma é historicamente marcada por acidentes geológicos geotécnicos em suas elevações urbanas denominadas como Morros (dos Barbosas, Japuí, Itararé, dentre outros), existindo razoável documentação e registro de acidentes geológicos que, notadamente em 1929, 1956, 1978 e 1979, provocaram mortes e perdas materiais durante episódios de chuvas intensas.

Estudos indicam que a rápida expansão urbana e industrial, associada à ocupação desordenada das encostas por populações

menos favorecidas, e às características fisiográficas, provocaram a aceleração no processo de degradação da vegetação nativa na região. Devido às alterações provocadas pelas ações citadas, as encostas afetadas ficaram

Com o intuito de avaliar as possibilidades de ocorrência de escorregamentos, assim como nortear o dimensionamento de eventuais estruturas de drenagem que se mostrem necessárias, foi feita a análise da altura de precipitação para o posto pluviométrico de São Vicente, código 02346090, operado pela FCTH/DAEE e localizado a cerca de 300 m da sede da Associação. Disponível no website www.hidroweb.ana.gov.br a série histórica deste posto abrange o período entre 01/10/1938 e 31/08/2013, com observações em 22.705 dias, correspondendo a 83% dos 27.363 dias do período.

O processo de análise foi realizado a partir da seleção dos dados, da série do posto São Vicente, no qual foram considerados somente os dados, anuais ou mensais, que correspondessem a 100% do período observado, a saber, todos os dias do ano ou mês com medição, sem falhas (Tabela 1).

Tabela 1: Dados pluviométricos do posto de São Vicente (SP).

Mês	Valores Observados			Intervalo Média	
	Mínimo	Média	Máximo	$X_{\min}$	$X_{\max}$
Jan	9,0	278,7	570,3	242,2	315,2
Fev	24,0	266,7	594,3	223,7	309,6
Mar	92,0	287,7	663,5	251,9	323,6
Abr	22,5	212,8	550,4	180,7	244,9
Mai	0,9	147,9	340,7	127,2	168,5
Jun	9,3	108,6	358,6	89,7	127,5
Jul	0,0	116,0	428,2	94,2	137,7
Ago	7,8	89,1	256,9	73,7	104,6
Set	14,9	145,0	352,3	125,2	164,7
Out	1,0	168,1	380,2	145,7	190,6
Nov	26,7	178,7	457,2	153,7	203,6
Dez	29,5	237,5	619,2	203,8	271,2

Para a avaliação da precipitação foram considerados entre 59 e 63 números de observações mensais, ressaltando que estes registros mensais são aqueles nos quais não foram encontradas falhas diárias no registro da precipitação. A partir dos dados foi possível determinar a precipitação média mensal, considerando ainda um intervalo de confiança da média igual a 95 %,

Da mesma forma que os dados de precipitação mensal, foram tratados aqueles referentes a precipitação anual, onde foi determinado valor médio igual a 2.257,6 mm, sendo que nos registros foram encontrados registros que evidenciam uma precipitação anual máxima de 3.344,5 mm e mínima igual a 1.410,1 mm.

3 ANÁLISES E RESULTADOS

3.1 Correlação da pluviometria e escorregamentos

Por meio dos dados do posto pluviométrico de São Vicente foi feita uma tentativa de correlação entre os níveis de precipitação e a incidência de escorregamentos, na busca de um valor representativo da previsão da chuva crítica.

Com os dados da análise estatística descritiva, foi possível utilizar as cartas de riscos e encontrar a curva de probabilidade de ruptura catastrófica para a região de São Vicente, sendo utilizada a metodologia de Guidicini e Iwasa (1977), conforme descrito anteriormente. As metodologias em questão foram selecionadas devido à proximidade a região estudada, bem como aos valores similares de precipitação média anual, sendo que para o município de Caraguatatuba a média anual encontra-se na faixa de 1900 mm e para a Serra do mar a mesma se encontra por volta 2000 mm.

Além de traçar a curva correspondente aos valores precipitados médios acumulados do município de São Vicente, foi feita análise similar para valores máximos e mínimos dentro do intervalo de confiança da média, considerando 95% de confiança.

As metodologias utilizadas apresentam respostas distintas. Por meio da aplicação da carta de periculosidade da Serra do Mar (Figura 3), observa-se que a curva insere-se quase que integralmente na Faixa C, probabilidade de ruptura catastrófica inferior a 33%, apresentando trecho muito curto na Faixa B para pequenos acumulados pluviométricos. Quando aplicada a carta de periculosidade de Caraguatatuba (Figura 4), nota-se maior parte de superposição da Curva do município de São Vicente para a Faixa B, evidenciando probabilidade de ruptura catastrófica inferior a 67%, ou seja, uma maior tendência a escorregamentos quando utilizada esta metodologia.

Nota-se que o intervalo de confiança da média para esta metodologia segue a mesma tendência quando aplicada a metodologia da Serra do Mar. Ressalta-se que a aplicação desta metodologia também ilustra que para acumulados pluviométricos elevados, considerando grande período, a probabilidade de ruptura catastrófica é praticamente nula, isto pode ser verificado pelos acumulados dos meses de Maio e Junho da Figura 3.

Analisando as duas metodologias empregadas, pode-se concluir que nas mesmas

não se aplicam a região estudada, visto que foram classificadas como de baixo risco de escorregamentos para elevados acumulados pluviométricos. Este fato não condiz com o que acontece na prática, uma vez que a região do Morro do Itararé, conforme Plano Municipal de Redução de Riscos da cidade de São Vicente (Relatório de Diagnóstico de riscos e Proposições de Intervenções – Anexo 2: Quadro síntese do diagnóstico de riscos) possui locais considerados como de risco muito alto, alto e médio.

4 CONCLUSÕES

Por meio dos resultados obtidos com o emprego dos diferentes métodos, foi possível fazer uma associação entre a ocorrência de movimentos de massa e pluviometria acumulada. As metodologias da Serra do Mar e do município de Caraguatatuba apresentaram resultados distintos, uma vez que as mesmas foram desenvolvidas para condições ambientais diferentes. No entanto as mesmas esboçaram uma baixa tendência de escorregamentos perpetuando na área correspondente à faixa C (inferior a 33 %).

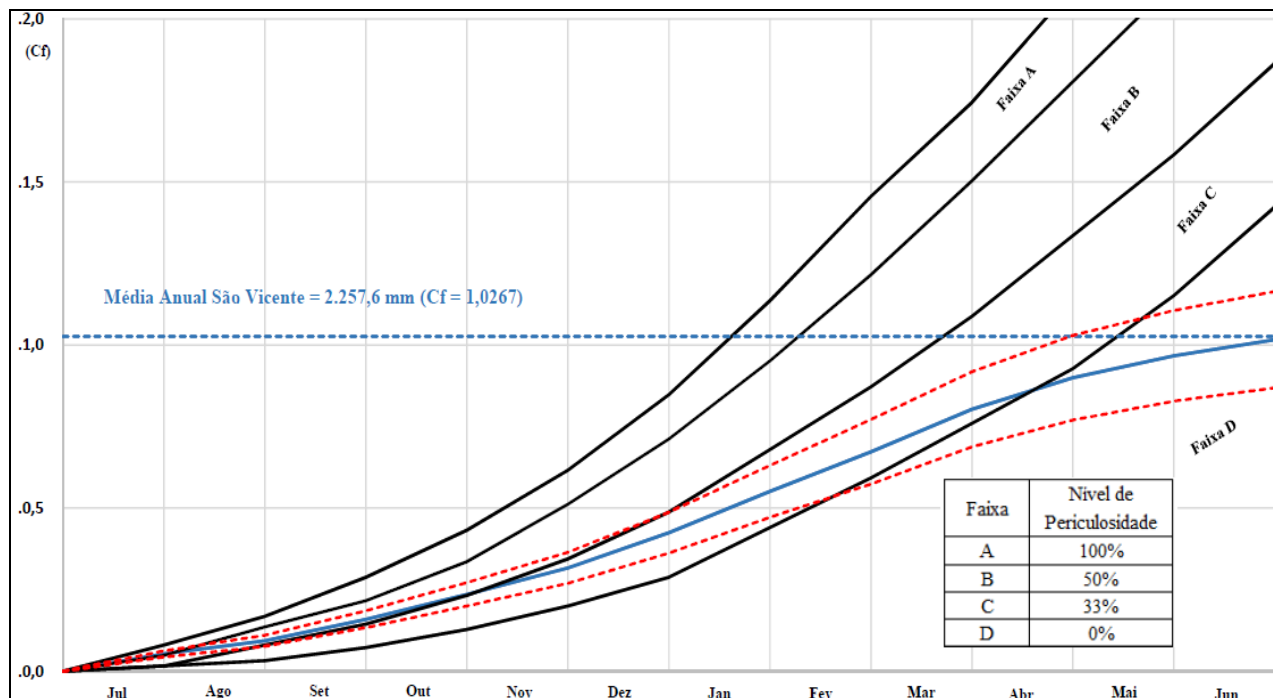


Figura 3. Correlação pluviosidade e escorregamentos baseados na carta de probabilidade de ruptura catastrófica para as encostas do Complexo-Metamórfico da Serra do Mar de Guidicini e Iwasa, (1977).

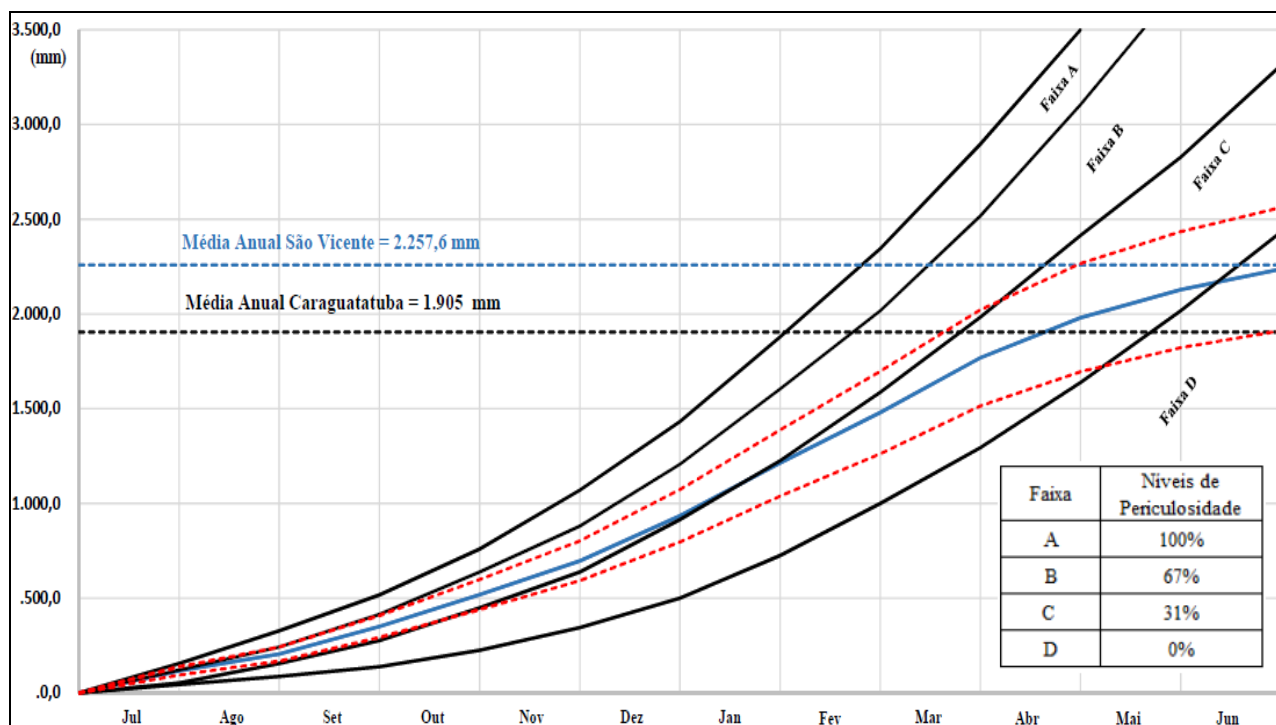


Figura 4. Correlação pluviosidade e escorregamentos baseados na carta de periculosidade de Caraguatatuba de Guidicini e Iwasa, (1976).

Salienta-se o melhor resultado obtido pela metodologia para o município de Caraguatatuba, visto que a curva apresentou maior extensão na Faixa B, de nível de periculosidade mais elevado.

4 CONCLUSÕES

Por meio dos resultados obtidos com o emprego dos diferentes métodos, foi possível fazer uma associação entre a ocorrência de movimentos de massa e pluviometria acumulada. As metodologias da Serra do Mar e do município de Caraguatatuba apresentaram resultados distintos, uma vez que as mesmas foram desenvolvidas para condições ambientais diferentes. No entanto as mesmas esboçaram uma baixa tendência de escorregamentos perpetuando na área correspondente à faixa C (inferior a 33 %). Salienta-se o melhor resultado obtido pela metodologia para o município de Caraguatatuba, visto que a curva apresentou maior extensão na Faixa B, de nível de periculosidade mais elevado.

Desta forma, pode-se concluir que as metodologias utilizadas não se mostraram satisfatórias, evidenciando que não se pode

adotar um método ou uma carta de risco desenvolvida mesmo que para regiões próximas. A incidência de escorregamento está associada a diversos outros fenômenos, como a geologia, pedologia, inclinação, cobertura vegetal, dentre outros.

Como sugestão a continuidade deste trabalho, sugere-se um estudo mais aprofundado, buscando a associação entre a incidência de escorregamentos e as características geológicas e climáticas da região.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Au, S.W.C. (1998) *Rain- induced slope instability in Hong Kong*. Engineering Geology, Hong Kong, v. 51, p. 1-36.
- Baroni, F. M. (2006). *Mapeamento e estudo de áreas de enchentes no município de São Vicente- SP*. (Monografia), Universidade Estadual Campinas, Campinas-BA. 120 p.
- Campbell, R. H. (1975). *Soil slips, debris flows, and rainstorms in the Santa Mônica Mountains and vicinity, southern California*. In: US Geological Survey Professional, Paper # 851, pp. 51, U.S. Government Printing Office, Washington DC.
- Castro, J. M. G. (2006). *Pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de Ouro Preto*. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto – MG. 154p.

- Couto, B. O. C. Gomes, R. C. Filgueiras, R. A. C. Ferreira. L. D. Fernandes. C. S. (2013). *Correlação entre pluviometria e eventos geotécnicos no trecho da Estrad de Ferro Vitória – Minas (EFVM) compreendido entre o km 0 e km 192*. VI Conferência Brasileira de Encostas (COBRAE). Angra dos Reis – RJ. 514 – 518 p.
- D’orsi, R.N.; Paes, N.M.; Feijó, R.L. (2004) 2,500 *Operational Days of Alerta Rio System: History and Technical Improvements of Rio De Janeiro Warning System For Severe Weather – 2004* – In: Proceedings of 9 th International Symposium on Landslides v. 1, pp. 831-836, Rio de Janeiro, Brasil.
- Delmonaco, G., Ippolito, F., Margottini, C. (1995). *The CEC Project. Meteorological Factors influencing slope stability and slope movement type: evaluation of hazard 153 prone areas*. In: Proceedings of 1 st Review Meeting of Hydrological and Hidrogeological Risks, pp. 259-283, R. Casale ed., Official Publications of European Communities, Bruxelas.
- Endo, T. (1970). Probable distribution of the amount of rainfall causing landslides. Annual report, Hokkaido Branch, Govern. Forest Experiment Station, pp.123–136, Sapporo, Japan.
- Guidicine, G. E Iwasa, O. Y., (1977), *Tentative Correlation Between Rainfall and Landslides in a Humid Tropical Environment*. Bulletin of International Association of Engineering Geology (IAEG), nº.16, pp.13-20.
- Guidicini, G. & Nieble, C. (1983). *Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação*. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda.
- PMSV. Prefeitura do Município de São Vicente. (2009). *Plano Municipal de Redução de Riscos De São Vicente/SP - Relatório de Diagnóstico de riscos e Proposições de Intervenções*, 24p.
- Quinta Ferreira, M.; Lemos, L.J.L.; Pereira, L.F.M. (2005). *Influência da Precipitação na ocorrência de deslizamentos em Coimbra, nos últimos 139 anos*. Revista Portuguesa de Geotecnia nº 104, p. 17-30.
- Tatizana, C., Ogura, A. T., Cerri, L. E. S., Rocha, M. C. M. (1987). *Modelamento numérico da análise de correlação entre Chuvas e Escorregamentos aplicado às encostas da Serra do Mar*. In: Anais do 5º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, v. 2, pp. 237-248, ABGE, São Paulo (SP), Brasil.
- Wieczorek, G. F., Glade, T. (2005), *Climatic factors influencing occurrence of debris flows*. In: Debris flow Hazards and Related Phenomena, Jakob M, Hungr O, Eds., Springer Berlin Heidelberg, pp. 325–362.