INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS EM SANTOS

Caique Lauriano Calixto[1], Andrea de Oliveira Cardoso[2]

[1]Universidade Federal do ABC – UFABC, Santo André, Brasil
(c.lauriano@outlook.com.br)
[2] Universidade Federal do ABC – UFABC, Santo André, Brasil

Resumo: Episódios extremos de precipitação têm se tornado cada vez mais comuns na região litorânea no estado de São Paulo, gerando prejuízos à população e ocasionando fatalidades, sendo um deles, os deslizamentos de terra. A relação precipitação-deslizamento pode variar de acordo com tipos de chuva, características locais e vulnerabilidade de cada região. Esse trabalho tem como objetivo investigar a relação entre chuvas e deslizamentos na cidade de Santos, a partir da caracterização dos padrões de precipitação e da frequência de deslizamentos e identificação de limiares críticos de precipitação. Foram analisados dados de precipitação do CEMADEN e da ANA, em conjunto com dados de deslizamentos coletados na Defesa Civil do município de Santos – SP, para o período de 2014 a 2023, com o objetivo de identificar possíveis limiares de precipitação associados a deflagração de deslizamentos através da distribuição temporal de precipitação e eventos de deslizamentos, além de realizar um estudo da climatologia regional com dados históricos para o período de 1970 a 2018, definindo limiares quantílicos de precipitação mensal. Para o período analisado foram registrados 245 episódios de deslizamentos para o município, a distribuição mensal ao longo dos anos nos mostra que as maiores ocorrências de deslizamentos coincidem com os meses mais chuvosos. Foram identificados 67 episódios de deslizamentos ocorridos em dia com ocorrência de precipitação no dia do evento e nos dias antecedentes analisados (de 2 a 4 dias), pode-se observar que em geral os mesmos eventos ocorrem em casos de precipitação superior a 40 mm no dia do evento, com acumulado superior a 60 mm em dois antecedentes ao evento e superiores a 80 e 100 mm em três e quatro dias antecedentes ao evento, respectivamente. De um modo geral, observa-se graficamente que existem muitos registros de ocorrências de deslizamentos em dias com precipitação inferiores a 60 mm. Isto pode ser devido às características do solo dessas regiões ou mesmo as características de relevo, que estão mais suscetíveis a erosões, desmoronamentos, corridas de massa em geral, ou até por intervenções antrópicas de forma intensa. Além disso, a persistência dos eventos chuvosos por vários dias, ou seja, o acumulado de chuvas em dias anteriores ao evento tem que ser levado em consideração, o que foi apontado através da análise de distribuição temporal, pois uma chuva considerada baixa ou moderada pode somar-se aos processos desencadeadores de deslizamentos, tais como os descritos acima.

Palavras-chave: precipitação; relação chuva-deslizamento; eventos extremos; deslizamentos e Santos.

INTRODUÇÃO

Os deslizamentos pertencem a uma classe dos fenômenos naturais conhecidos como “movimentos de massa”, sendo um processo que envolve o desprendimento e transporte de solo ou material rochoso encosta adentro. Essas categorias, assim como outros movimentos de massa, fazem parte do processo natural de transformação e formação da crosta terrestre e podem ser relacionados a fenômenos naturais como a ação da gravidade e variações climáticas, principalmente as chuvas (Tominaga et al., 2009).

As precipitações assumem papel de agente de ação progressiva e agente de ação instantânea nos fenômenos de instabilidade de taludes. A ação progressiva, por exemplo, produz alterações da densidade do solo, diminuindo a coesão e aumentando o peso do solo, diminuindo a resistência ao cisalhamento (Soares, 2006).

Quando estes fenômenos acontecem em localidades onde há ocupação humana os resultados podem ser trágicos. Em cenas de deslizamentos, construções

inteiras e tudo o que estiver no caminho pode ser levado encosta adentro e acabar soterrado.

Os limites de precipitação para que ocorra os deslizamentos variam de acordo com a região devido a diversos fatores, como a topografia, intensidade pluviométrica local, ocupação e interferência antrópica, entre outros (Tatizana et al., 1987).

Através de uma análise empírica, Molina et al. (2015) verificaram que para São Bernardo do Campo (SP) uma precipitação diária acima de 100 mm já é suficiente para o desencadeamento de movimentos de massa. Foi destacado também que deve ser levado em conta a ocorrência de precipitações em dias anteriores, pois neste caso, não são necessários eventos muito chuvosos para relacionar-se aos casos de deslizamentos.

Em regiões de muita encosta e morros, como Santos por exemplo, que fica localizado exatamente na encosta da Serra do Mar, as principais vulnerabilidades relacionadas com eventos chuvosos estão associadas aos cenários de risco de enchentes, inundações, escorregamentos e outros processos correlatos (Rodrigues, A. A. S., & Amorim, R. R., 2023). Tais processos da dinâmica superficial para serem deflagrados e se tornarem efetivamente fenômenos perigosos dependem de eventos pluviométricos com dada distribuição espacial e volume de precipitação.

Este trabalho tem como objetivo investigar a relação entre chuvas e deslizamentos na cidade de Santos, a partir da caracterização dos padrões de precipitação e da frequência de deslizamentos e identificação de limiares críticos de precipitação.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho será estudado a cidade de Santos, região litorânea do estado de São Paulo, (aproximadamente 70 km da capital paulista), o município ocupa uma área de cerca de 280 km², dos quais cerca de 60% são compostos por áreas insulares.

Foram utilizados dados mensais, diários e horários de precipitação disponíveis na página da Agência Nacional de Águas (ANA) e do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e selecionadas séries com pelo menos 30 anos de registro, de forma a caracterizar significativamente o padrão de precipitação, o que permite conduzir um estudo climatológico.

A tabela 1 apresenta as informações das estações utilizadas juntamente com o período original e o período que foi utilizado para as análises, de acordo com a qualidade dos dados.

Tabela 1. Informações dos postos de pluviometria.

Município	Estação	Código	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Período original	Período Utilizado	Fonte
Santos	Morro de São Bento	354850013A	-23,935	-46,340985	157	2014-2023	2014-2023	CEMADEN
Santos	Sabesp - Morro de São Bento	3548500007G	-23,9355	-46,341505	164	2014-2023	2014-2023	CEMADEN
Santos	Caeté	E3-041	-23,8831	-46,221111	204	1937-2018	1970-2018	ANA

Em adição, utilizou-se dados de deslizamentos, fornecidos pela Defesa Civil do município de Santos para o período de 2014 a 2023.

Como o período de dados de deslizamentos são de períodos diferentes de dados de chuva disponíveis na ANA, foram utilizados para essa correlação os dados do CEMADEN, como série principal foi utilizada a estação Morro de São Bento e para complementar dados faltantes a estação Sabesp - Morro de São Bento, por serem estações vizinhas. Vale ressaltar também que as estações do CEMADEN estão localizadas mais próximas onde ocorrem os eventos de deslizamentos, representando melhor essas áreas.

Para obter o padrão climatológico mensal de chuvas foi calculada a média mensal de longo prazo, separadamente para cada mês, no período de 1970 a 2018. Além disso, também foi calculada a média no período dos totais de precipitação a partir dos totais mensais. Estas climatologias permitem conhecer o regime sazonal e anual da precipitação.

A dispersão de dados foi avaliada através da relação entre o desvio padrão e a média mensais, a partir da medida estatística chamada Coeficiente de Variação (CV), Equação 1. O CV fornece a amplitude da dispersão relativa à média, podendo ser classificado através dos critérios: Baixa dispersão (CV ≤ 15%); média dispersão (15% < CV < 30%) e alta dispersão (CV ≥ 30%).

$$CVi = \sigma_i / \bar{x}_i \qquad (1)$$

Onde σ_i é o desvio padrão do mês i e $\bar{x}_i$ a média do mês i.

A partir da técnica dos quantis foram definidos os limiares quantílicos de precipitação mensal, para assim poder classificar as faixas de precipitação entre: muito seco, se o quantil $q \leq 0{,}15$; seco se $0{,}15 < q \leq 0{,}35$; normal, se $0{,}35 < q \leq 0{,}65$; chuvoso, se $0{,}65 < q \leq 0{,}85$; e muito chuvoso, se $q > 0{,}85$. Este método está relacionado com o princípio da relativização estatística, onde é possível interpretar de forma adequada o significado de um total pluviométrico (Xavier et al., 2017).

Para a análise da tendência, aplicou-se o método de regressão linear simples com os dados mensais. O objetivo foi identificar a tendência de variação ao longo do tempo, ajustando-se uma reta que representasse a relação entre a variável independente (ano) e a variável dependente (precipitação anual, em mm).

Segundo Gujarati e Porter (2011), o modelo de regressão linear simples é representado pela Equação 2:

$$Y=\beta0+\beta1X+\varepsilon \qquad (2)$$

Onde Y corresponde à variável dependente, X à variável independente, β0 é o intercepto, β1 o coeficiente angular da reta e ε o termo de erro aleatório.

A estimação dos parâmetros foi realizada pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), que busca minimizar a soma dos quadrados dos resíduos ($yi-\hat{y}i$), conforme descrito por Montgomery, Peck e Vining (2012).

Para avaliar o ajuste, utilizou-se o coeficiente de determinação (R^2), que mede a proporção da variância da variável dependente explicada pelo modelo (Wooldridge, 2010). No caso da série estudada, o valor de R^2 encontrado indica que a tendência linear explica uma parcela desprezível da variação da precipitação anual, sugerindo alta variabilidade interanual e ausência de tendência significativa no período analisado.

Também foi obtido o padrão mensal de deslizamentos através da soma de deslizamentos diários, não importando se houveram mais de um evento por dia, bastando apenas um evento no dia.

A análise da relação entre precipitação e ocorrência de deslizamentos foi realizada por meio da construção de uma série temporal comparativa. Para tanto, foram utilizados dados diários de precipitação e registros diários de deslizamentos.

A metodologia consistiu em organizar os dados meteorológicos e geotécnicos em uma mesma escala temporal, possibilitando a sobreposição dos eventos de chuva e de deslizamentos. Essa técnica de análise gráfica é recomendada em estudos de correlação entre chuva e movimentos de massa, uma vez que possibilita identificar limiares empíricos de deflagração, conforme apontado por Guidicini e Iwasa (1976) e consolidado em trabalhos posteriores (Alleotti, 2004; Guzzetti et al., 2008).

Também foram gerados histogramas para analisar a relação entre precipitação pluviométrica e a ocorrência de deslizamentos, foi realizada a organização dos dados em classes de precipitação acumulada (mm). A variável independente (precipitação) foi agrupada em intervalos regulares de 20 mm (0–20; 21–40; 41–60; etc.), enquanto a variável dependente correspondeu ao número de eventos de deslizamento diário registrados em cada faixa de precipitação.

A partir dessa distribuição, foi construído um histograma de frequências absolutas, no qual o eixo x representa as classes de precipitação (mm) e o eixo y representa o número de deslizamentos ocorridos em cada intervalo. Este tipo de análise estatística descritiva permite identificar tendências de concentração de eventos em determinadas faixas de precipitação, fornecendo subsídios para a definição de limiares pluviométricos críticos para deflagração de deslizamentos.

O procedimento metodológico segue recomendações de análise exploratória de dados ambientais (Mann, 2010; Wilks, 2011).

No presente estudo, serão examinados os níveis de precipitação no dia do evento em comparação com a chuva acumulada em dois, três e quatro dias precedentes, buscando determinar os limiares críticos que resultem em melhores correlações. É crucial que os registros contenham uma representatividade estatística adequada, ou seja, uma grande quantidade de dias com chuva e ocorrências de deslizamentos, sendo que essas análises estão restritas ao período de 2014 a 2023, excluindo os dados ausentes.

Para determinar a quantidade crítica de precipitação a ser testada (valor limite), ela foi comparada com a precipitação acumulada no dia do deslizamento (1º dia) e 2, 3 e 4 dias antes da ocorrência do deslizamento, através dos dados diários de precipitação e deslizamentos.

Cada limiar crítico é definido a partir da representatividade estatística de diferentes períodos acumulados, e episódios de deslizamentos associados aos acúmulos de precipitação testados. Com base em um gráfico de distribuição temporal da precipitação e episódios de deslizamentos ocorridos, é possível estimar os limiares críticos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em termos climatológicos, analisando o período de 1970 a 2018, observa-se que Santos apresenta o padrão sazonal do Sudeste, caracterizado pela estação menos chuvosa no inverno e mais chuvosa no verão, sendo que a partir de setembro começa a aumentar a precipitação, atingindo o pico máximo em janeiro. Analisando o regime mensal (Figura 1), destacam-se chuvas mais intensas a partir de outubro, que se estendem ao longo do verão, sendo que até o mês de março possui altos totais de precipitação (média de quase 400 mm).

A estação utilizada para caracterizar a climatologia de Santos está localizada próxima a serra do mar Caeté, e, portanto, associada a efeitos orográficos, e maior quantidade de áreas verdes ao entorno, o que pode ocasionar mais chuvas.

Santos possui os maiores coeficientes de variação dos meses menos chuvosos – maio a setembro - o que mostra que nestes meses as variações da precipitação são maiores ao longo dos anos, ou seja, há alta

dispersão nos dados. A variação da precipitação também é grande no mês de fevereiro, onde observa-se um pico no coeficiente de variação. Em termos de totais de precipitação, as variações nos meses mais chuvosos são mais representativas, podendo causar casos extremos (secos ou chuvosos) que afetam a população e o ambiente. Essa grande variação pode ser notada através dos limiares quantílicos mensais apresentados nos gráficos à direita da figura 1.

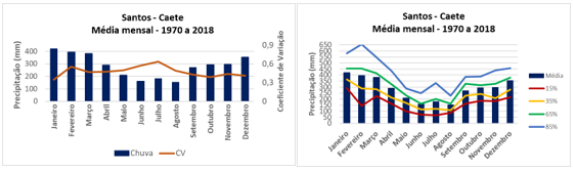


Figura 1. Médias mensais de precipitação e coeficientes de variação da precipitação mensal para Santos, período de 1970 a 2018 (à esquerda). Limiares quantílicos de precipitação (à direita).

De acordo com os limiares quantílicos, nota-se que em geral as diferenças entre os totais mensais de precipitação associados a eventos mais chuvosos (maiores do que 65% e 85%) são bem maiores do que nos casos menos chuvosos (menores do que 35% e 15%), com destaque para os meses de outubro a março, com amplificação em dezembro e janeiro.

Analisando o comportamento das chuvas ao longo dos anos para o município de Santos, é possível observar a partir da a linha de tendência (Figura 2) que ocorre variabilidade interanual marcante para o período estudado, com pontos de máxima para os anos de 1986 e 1988 chegando próximo dos 4.500 mm. Ao passo que, não ocorre aumento da tendência de precipitação anual, mantendo-se estável anualmente de 1970 a 2018, com média anual para de 3.334 mm.

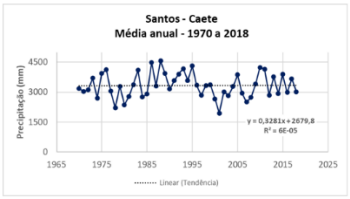


Figura 2. Tendência anual da precipitação mensal para Santos, período de 1970 a 2018

No período de 2014 a 2023 foram registrados 245 episódios de deslizamentos para todo o município de Santos, sendo que os três bairros com maior incidência de episódios são Morro Santa Maria, com 12,24%, na sequência Monte Serrat com 11,43% seguido de Morro São Bento com 8,16% do total. É destacado o bairro Morro São Bento por ser o terceiro bairro com maior incidência de deslizamentos e que possui estações pluviométricas, portanto, a relação precipitação e deslizamentos foi estudada com base nos dados horários de chuvas – convertidos em diários – das estações pluviométricas do CEMADEN alocadas nessa região.

O ano que mais apresenta ocorrências de deslizamentos foi 2020 com 48% dos casos, conforme pode ser observado na figura 3, podendo ser explicado devido as chuvas superiores à média já no início do ano (acumulado muito alto) e se agravando no mês de março, sendo que no começo de março de 2020, entre os dias 2 e 3, choveu em 24h a média para todo o mês. Além desse fator, existiram sistemas atmosféricos que permaneceram ativos por mais de um dia, mantendo instabilidade atmosférica, e somados a estruturas de encosta que já estavam saturadas por chuvas anteriores, ao final do ano de 2019, o que facilitam a deflagração de deslizamentos.



Figura 3. Espacialização dos deslizamentos pelo município de Santos, período de 2014 a 2023.

A comparação do padrão sazonal de deslizamentos com a climatologia da precipitação mensal mostra que o maior número de ocorrências de deslizamentos coincide com os meses mais chuvosos, sendo que março é o mês com mais ocorrências registradas, um total de 128 episódios para o período de 2014 a 2023. Ainda, verifica-se que o pico ocorre após vários meses com precipitação elevada, ou seja, não é somente uma influência de curto prazo, mas uma contribuição gradativa, cujo pico de deslizamentos vai ocorrer no final do período chuvoso, devido ao encharcamento do solo. Já o período menos chuvoso possui baixo ou nenhum registro de ocorrências de deslizamentos (Figura 4).

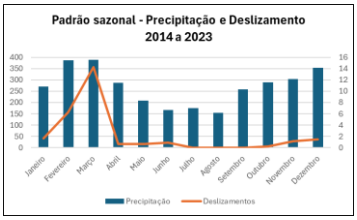


Figura 4. Quantidade média de precipitação e deslizamentos para o município de Santos no período de 2014 a 2023.

Foram identificados 67 episódios de deslizamentos ocorridos em dia com ocorrência de precipitação no dia do evento e nos dias antecedentes analisados (de 2 a 4 dias). A partir da distribuição de eventos de deslizamentos por mm de chuvas separados em grupos de 20 mm, conforme figura 5, nota-se que que a maior concentração de ocorrências de

deslizamentos está entre os acumulados de 0-20 mm em todos os quatro critérios, a maioria dos deslizamentos se enquadrar nessa faixa de acumulado pode ter relação devido ao clima da cidade (Af), onde não existe um período seco e o solo se manter encharcado.

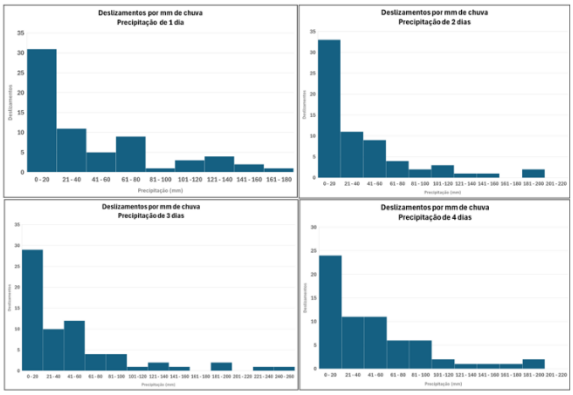


Figura 5. Distribuição de deslizamentos por mm de chuvas para o município de Santos, período de 2014 a 2023.

O gráfico da distribuição temporal de precipitação destacando os dias de ocorrência de deslizamentos está apresentado na figura 6. Nestes gráficos os totais precipitados estão destacados em azul e os dias das ocorrências de deslizamento destacados com outros símbolos, combinado ao total precipitado. Como pode ser observado, há muitos episódios de deslizamentos que ocorrem com baixos acumulados de precipitação, tanto no dia do evento como em dias acumulados anteriores. Este comportamento é esperado, dado que a precipitação não é o único fator deflagrador de desastres. No entanto, para alguns casos pode ser observada a persistência da relação chuva-deslizamento, através dos diferentes períodos acumulados testados.

A partir da distribuição temporal da precipitação comparada aos casos de deslizamentos pode-se observar que em geral os mesmos eventos ocorrem em casos de precipitação superior a 40 mm no dia do evento, com acumulado superior a 60 mm em dois antecedentes ao evento e superiores a 80 e 100 mm em três e quatro dias antecedentes ao evento, respectivamente.

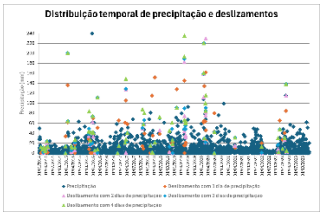


Figura 6. Distribuição temporal de chuvas e deslizamentos para o município de Santos, período de 2014 a 2023.

Na tabela 2 são apresentados os limiares críticos indicados por essas análises, ou seja, que podem servir como limiares de ocorrência de deslizamentos em Santos, acompanhando o monitoramento de precipitação, avaliando a chuva no dia do evento e em dias antecedentes, como já foi aplicado em outros estudos, para outros localidades.

Tabela 2. Limiares críticos.

Precipitação (mm)			
1 dia	*2 dias*	*3 dias*	*4 dias*
40	60	80	100

O indicativo de limiares críticos de chuva, baseado em séries observadas, é a base para o estabelecimento de equações chuva-deslizamentos, que visam estimar a ocorrência destes episódios que causam desastres.

De um modo geral, pode-se observar graficamente que existem muitos registros de ocorrências de deslizamentos em dias com precipitação inferiores a 40 mm. Isto pode ser devido as características do solo dessas regiões ou mesmo as características de relevo, que estão mais suscetíveis a erosões, desmoronamentos, corridas de massa em geral, ou até por intervenções antrópicas de forma intensa. Além disso, a persistência dos eventos chuvosos por vários dias, ou seja, o acumulado de chuvas em dias anteriores ao evento tem que ser levado em consideração, o que foi apontado pelos gráficos de distribuição temporal, pois uma chuva considerada baixa ou moderada pode somar-se aos processos desencadeadores de deslizamentos, tais como os descritos acima.

CONCLUSÃO

Por meio deste estudo, pode-se verificar a importância da caracterização dos padrões de precipitação diária local para a compreensão da relação entre as frequências de deslizamento e a categoria de precipitação diária e mensal para o município de Santos - SP. Foi possível observar que a precipitação local possui uma marcante sazonalidade com maiores intensidades nos meses de novembro a março e período com menor volume de chuvas durante o inverno, havendo uma alta variabilidade temporal.

A partir das análises realizadas neste trabalho, verificou-se que os meses com mais eventos de deslizamentos foram de janeiro a março, coincidindo com o período chuvoso. No entanto, os máximos de chuva/deslizamentos nem sempre estão associados, o que sugere a importância da distribuição da precipitação, entre outros fatores, como características do meio físico.

Com base na distribuição temporal, pôde-se determinar com maior eficácia a relação numérica entre a precipitação diária e acumulada anterior (de 2

a 4 dias) às datas dos deslizamentos, visando levar em conta as condições da distribuição da precipitação acumulada e a condição de pré-saturação do solo. As distribuições obtidas, para diferentes critérios de precipitação diária e acumulada anterior à ocorrência, mostraram que quanto maior o valor acumulado de precipitação, menor será a intensidade da precipitação diária necessária para deflagrar os episódios de deslizamentos. Ainda nesta análise, foi possível observar que em períodos sem chuva nos dias anteriores, os deslizamentos tenderão a ocorrer com precipitações superiores a 40 mm no dia do evento, podendo ser observado um aumento mínimo da quantidade de chuva para dias seguidos para que se deflagre deslizamentos, visto a saturação do solo.

AGRADECIMENTOS

À professora Dra. Andrea Cardoso de Oliveira pela paciência na orientação e constante incentivo que tornaram possível a conclusão desse estudo.

REFERÊNCIAS

ACORDES, F. A.; JÚNIOR, T. F. S. Estudo de correlação entre deslizamentos e precipitação em municípios do estado do Paraná. In: XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 19., 2018, Salvador. Anais... São Paulo: ABMS. p.8.

ALENCAR, A. S.; CUNHA, R. P.; FERREIRA, D. J. Propriedades hidrogeotécnicas de solos não saturados. Revista Brasileira de Geotecnia, v. 38, n. 3, p. 59–78, 2018.

ALEOTTI, P. A warning system for rainfall-induced shallow failures. Engineering Geology, v. 73, p. 247–265, 2004.

AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILLI, J. C. Geodinâmica externa: processos, riscos e prevenção. São Paulo: Edusp, 1998.

AZEVEDO, G.F. Análise da Relação Chuva-Escorregamentos em Regiões Tropicais Montanhosas Urbanas, Caso de Estudo Rio de Janeiro, Brasil. Dissertação (Mestrado), 2011, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 120 p.

BANDEIRA, A. P. N., Parâmetros técnicos para gerenciamento de áreas de riscos de escorregamentos de encostas na região metropolitana do Recife. D.Sc., Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil, 2010.

BANDEIRA, A. P. N.; COUTINHO, R. Q. Análise de chuvas e estudo geotécnico de uma encosta deslizada em Jaboatão dos Guararapes-PE. In: VII CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS. 7., 2017, Florianópolis - Santa Catarina. VII Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas - COBRAE, 2017.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de Abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nos 12.340, de 1o de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm. Acesso em maio abril de 2025.

CARDOSO, A. O.; CALIXTO, C. L.; CANIL, K. Relação entre precipitação e ocorrência de deslizamentos em Caieiras - SP. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA (CBMET), 20, 2018, Petrópolis - Rio de Janeiro. Anais... CBMET, SBMET: São Paulo, 11p. Disponível em: http://www.cbmet2018.com.br/files/anais_cbmet_2018.pdf.

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Relatório Técnico Anual – Monitoramento de Deslizamentos e Chuvas Intensas. São José dos Campos, 2024.

CEMADEN. Relatório de Impactos das Chuvas no Litoral Norte de SP – Fevereiro 2023. São José dos Campos: CEMADEN, 2023.

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Relatório técnico de monitoramento 2023. São José dos Campos, 2023.

CEMADEN – CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS. Relatório técnico de monitoramento climático e desastres naturais. São José dos Campos: CEMADEN, 2024.

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Boletim técnico de alerta de deslizamentos para áreas urbanas brasileiras. São José dos Campos, 2024. Disponível em: https://www.cemaden.gov.br. Acesso em: 12 maio 2025.

CHAVES, F. L. GERSCOVICH, D. M. S. SALES, L. S. Correlação Chuva versus Escorregamento Comunidade Formiga - Rio de Janeiro. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS- COBRAE, 2017. Florianópolis, Santa Catarina. Anais... São

Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (ABMS), 2017. 6p.

COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A. S.; VIANA, D. R.; LACERDA, W. A. Landslide hazard assessment in the Rio de Janeiro region: the role of geomorphology and rainfall. Geomorphology, v. 87, p. 120–131, 2007.

COELHO NETTO, A. L. et al. Uma abordagem ambiental integrada para avaliação de riscos de escorregamentos e inundações em encostas urbanas. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 8, n. 1, p. 45–58, 2007.

Coelho, C. A. S., et al. (2022). The role of climate modes in extreme weather events in South America: an updated review. Climate Dynamics, 58, 2219–2244. https://doi.org/10.1007/s00382-021-06091-y

DAMASCENO, A. D. O.; CARDOSO, A. O.; PAIVA, C. F. E. Frequência de deslizamentos no município de Mauá-SP associados a episódios de precipitação. In: XX Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2018, Maceió. Anais do XX CBMET - Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2018.

FACETO, M. C. R. et al. Relação entre a precipitação e a ocorrência de deslizamentos no município de São Bernardo do Campo - SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 17, 2012, Gramado. Anais... Sociedade Brasileira de Metodologia, 2012.

GERSCOVICH, D. M. S.; CAMPOS, T. M. Avaliação da estabilidade de encostas naturais e taludes artificiais por métodos probabilísticos. Revista Geociências, v. 34, n. 4, p. 541–553, 2015.

GUIDICINI, G.; IWASA, O. Y. Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em áreas urbanas. São Paulo: IPT, 1976. (IPT – Publicação, 1083).

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades e Estados: Santos (SP). 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br. Acesso em: 12 maio 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estimativas da população residente para os municípios e para as unidades da federação brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br. Acesso em maio 2025.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Boletim climatológico anual 2023. Brasília: INMET, 2024. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br. Acesso em: 12 maio 2025.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Relatório anual de eventos extremos de precipitação. Brasília: INMET, 2023.

INMET. Normais Climatológicas 1991–2020: Estação Santos/SP. Brasília: INMET, 2023.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos no Brasil. São José dos Campos: INPE, 2023. Disponível em: https://www.inpe.br. Acesso em maio 2025.

INSTITUTO GEOLÓGICO (IG-SP). Cenário de riscos de desastres de fenômenos geodinâmicos no estado de São Paulo no período 2000-2015. In: Gestão de riscos de desastres devido a fenômenos geodinâmicos no Estado de São Paulo: cenário 2000-2015. Boletim do Instituto Geológico nº 67. São Paulo: I G / SMA, 2016. 72p; ISSN (online) 2525-7722. Disponível em: http://igeologico.sp.gov.br/files/2016/10/boletim_IG_vol_67.pdf.

MACEDO, E. S.; SANTORO, J.; ARAUJO, R. E. (2004). Plano Preventivo de Defesa Civil (PPDC) para deslizamentos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS (SIBRADEN), 2004, Florianópolis- Santa Catarina. Disponível em: http://www.sidec.sp.gov.br/defesacivil/media/OSDownloads/1398369924_Artigo%20PPDC.pdf. Acesso em abril de 2025.

MANN, P. S. (2010). Introductory Statistics. 7th ed. Wiley.

MDR – MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (Brasil). Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC. Brasília, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br. Acesso em: 11 maio 2025.

MENDES, R. P. Influência da sucção e da saturação na resistência ao cisalhamento de solos tropicais não saturados. 2008. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

MENDONÇA, L. P.; AMBRIZZI, T.; BIAZETTO, B.. Estudo climatológico da chuva no Estado de São Paulo. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2002. Anais.

MENEZES, P. R. Análise da variação da sucção e da umidade em um solo tropical típico da região Sudeste. 2010. Dissertação (Mestrado em

Geotecnia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

MOLINA, E.; CARDOSO, A.; NOGUEIRA, F. Relação Precipitação-Deslizamento no Município de São Bernardo do Campo - SP. Ciência & Natura, Santa Maria-RS, v. 37, p. 46-54, 2015. Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/viewFile/16214/pdf. Acesso em março de 2025

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. Introduction to Linear Regression Analysis. 5. ed. Hoboken: Wiley, 2012.

NOBRE, C. A., et al. (2009). Some characteristics and impacts of the drought and water crisis in southeastern Brazil during 2014 and 2015. Journal of Water Resource and Protection, 7, 2–11.

PREFEITURA DE SANTOS. Plano Municipal de Redução de Riscos e Diagnóstico Climático de Santos. Santos: Prefeitura Municipal, 2023.

Rodrigues, A. A. S., & Amorim, R. R. (2023). Análise histórica dos deslizamentos de encostas sobre a perspectiva das ações da Defesa Civil na cidade de Santos – SP. Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia, 14. https://seer.ufu.br/index.php/Observatorium/article/view/70860. Acesso em: fev. 2025

SALES, L. S. Contribuição aos estudos de correlação chuva vs escorregamentos – Aplicação às ocorrências da comunidade da Formiga no ano de 2010. 2016. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, Faculdade de Engenharia. Rio de Janeiro, RJ. 156 p.

SILVA DIAS, M. A. F.; DIAS, J.; SILVA DIAS, P. L.; FREITAS, ED. D.; CARVALHO, L. M. V. Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. Climatic Change, v. 116, p. 705-722, 2013.

SOUZA, J. R.; AZEVEDO, A. F.; ARAÚJO, M. A. Uso da técnica dos quantis para definição de limiares de chuva e identificação de desastres no semiárido cearense. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v. 15, n. 4, p. 1950–1965, 2022.

SOUZA, R. P.; LACERDA, W. A.; RIBEIRO, R. C. A urbanização e o risco de deslizamentos: implicações para políticas públicas no Brasil. Revista Gestão & Tecnologia Ambiental, v. 8, n. 2, p. 113–130, 2020.

SOUZA, W.; AZEVEDO, P.; ARAÚJO, L. Classificação da Precipitação Diária e Impactos Decorrentes dos Desastres Associados às Chuvas na Cidade do Recife-176 PE. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v.5, n. 2, p. 250-268, abr. 2012. Disponível em: http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/296/279. Acesso em março de 2025.

TOMINAGA, L. K. et al. Movimentos de massa induzidos por chuvas na Região Metropolitana de São Paulo: caracterização e mapeamento. Geociências, v. 28, n. 1, p. 59–74, 2009.

TREVIZOLLI, M. N. B et al.. Análise de registros históricos de precipitações e rupturas de encostas para composição de limiares pluviométricos visando monitoramento de taludes rodoviários. Revista Técnico-Científica, v. 1, n. 11, 2018. Disponível em: http://creaprw16.crea-pr.Org.br/revista/sistema/index.php/revista/article/view/397/235. Acesso em março de 2025.

VALVERDE, M. C.; CARDOSO, A. O. Eventos extremos de chuva associados com a ocorrência de enchentes na região do Grande ABC Paulista. In: XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 17, 2012, Gramado. Anais... Gramado. Congresso Brasileiro de Meteorologia. 2012.

VALVERDE, M. C.; CARDOSO, A. O.; BRAMBILA, R. B. O padrão de chuvas na Região do ABC Paulista: os extremos e seus impactos. Revista Brasileira de Climatologia, v. 22, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/45929>. Acesso em fevereiro de 2025.

XAVIER, H. Percepção geográfica dos deslizamentos de encostas em áreas de risco no município de Belo Horizonte, MG. Rio Claro. 1996. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1996.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A.F.S.. Caracterização de períodos secos ou excessivamente chuvosos no estado do Ceará através da técnica dos quantis: 1964- 1998. Revista Brasileira de Meteorologia, 1999, v. 14, n. 2, pp. 63-78. 1999. Disponível em: www.rbmet.Org.br/port/revista/revista_dl.php?id_artigo=491&id_arquivo=753. Acesso em Acesso em fevereiro de 2025.

XAVIER, T. M. B. S; XAVIER, A. F. S. Classificação de anos secos e chuvosos na região Nordeste do Brasil e sua distribuição espacial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 3., 1984, Belo Horizonte. Anais... Rio de Janeiro: SBM, v.1, p.267-289, 1984.