

A INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NOS MOVIMENTOS DE MASSA NO MUNICÍPIO DE SABARÁ-MG

Mariana Moreira Ribeiro¹ ; Aline de Araújo Nunes² & Yasmim Soares Fuscaldi³

RESUMO – Os movimentos de massa constituem um dos principais riscos geotécnicos em áreas urbanizadas com relevo acidentado, especialmente quando chuvas intensas atuam sobre encostas previamente fragilizadas por fatores geológicos, geomorfológicos e antrópicos. Este estudo analisa a relação entre precipitação e ocorrência de movimentos de massa no município de Sabará, Minas Gerais, região marcada por ocupação urbana em encostas, relevo complexo e recorrência de eventos durante o período chuvoso. Foram inventariados 39 registros consistentes entre 2009 e 2024, obtidos por meio de fontes jornalísticas e correlacionados com dados pluviométricos diários provenientes da ANA e do CEMADEN. A metodologia considerou acumulados de precipitação entre um e dez dias antecedentes aos eventos, utilizando gráficos de dispersão, definição de limiares críticos e avaliação da influência da precipitação antecedente. Os resultados demonstraram maior associação entre os eventos registrados e os acumulados de dois a sete dias, identificando-se limiar aproximado de 73,3 mm em dois dias. Conclui-se que a precipitação atua como importante fator deflagrador, embora sua influência dependa das condições prévias de suscetibilidade das encostas, saturação do solo, uso e ocupação do terreno e eficiência da drenagem urbana. Os limiares identificados podem subsidiar ações preventivas, sistemas de monitoramento e estratégias municipais voltadas à redução de riscos.

Palavras-Chave – chuvas extremas; águas urbanas; gestão de riscos.

ABSTRACT – Mass movements represent one of the main geotechnical risks in urbanized areas with rugged terrain, especially when intense rainfall affects slopes previously weakened by geological, geomorphological, and anthropogenic factors. This study analyzes the relationship between rainfall and the occurrence of mass movements in the municipality of Sabará, Minas Gerais, Brazil, a region characterized by complex relief, urban occupation on slopes, and a history of rainfall-related events. A total of 39 consistent records of mass movements between 2009 and 2024 were inventoried from journalistic sources and correlated with daily rainfall data obtained from ANA and CEMADEN stations. The analysis considered rainfall accumulations from one to ten days prior to the events, using scatter plots, threshold definition, and critical evaluation of antecedent precipitation. The results showed a stronger association between the events and rainfall accumulated over two to seven days, identifying an approximate warning threshold of 73.3 mm in two days. It is concluded that rainfall acts as a relevant triggering factor, although its influence depends on previous slope susceptibility conditions, soil saturation, land use, and urban drainage efficiency. The proposed thresholds may support monitoring actions, warning systems, and municipal risk reduction strategies.

Keywords – extreme rainfall; urban waters; risk management.

1) Eng. Urbanista, Engenheira de Planejamento Jr. - Progen. Correio eletrônico: moreiramariana2912@gmail

2) Enga. Agrícola e Ambiental, Profª. Dra. UFOP - Depto. Eng. Urbana, CEP 35400-000 Ouro Preto - MG. Correio eletrônico: aline.nunes@ufop.edu.br

3) Eng. Urbanista, Engenheira de Planejamento – Poros Construtora. Correio eletrônico: yasmiimfuscaldi@gmail.com

INTRODUÇÃO

Os movimentos de massa constituem processos geodinâmicos associados ao deslocamento de solos, rochas e detritos em encostas, sendo controlados por fatores condicionantes e deflagradores (VARNES, 1978; AUGUSTO FILHO, 1992; GERSCOVICH, 2016). Entre os condicionantes, destacam-se a litologia, estrutura geológica, declividade, espessura do manto de alteração, cobertura vegetal e uso do solo. Entre os fatores deflagradores, a precipitação exerce papel central ao alterar o comportamento hidráulico e mecânico dos materiais, promovendo aumento da poropressão, redução da sucção matricial e diminuição da resistência ao cisalhamento (CASTRO, 2006).

Nas áreas urbanas brasileiras, esses processos tornam-se mais críticos devido à expansão sobre encostas e fundos de vale, frequentemente sem infraestrutura adequada de drenagem e contenção (TOMINAGA, 2009; NOGUEIRA, 2002). Além disso, a impermeabilização superficial, cortes e aterros sem controle técnico e supressão vegetal intensificam a instabilidade das vertentes durante eventos chuvosos. Assim, a chuva atua como agente desencadeador em áreas previamente vulnerabilizadas pelas intervenções antrópicas.

O município de Sabará-MG apresenta condições relevantes para esse tipo de estudo. Inserido no Quadrilátero Ferrífero e na Região Metropolitana de Belo Horizonte, o município reúne relevo acidentado, diversidade geológica e expansão urbana em áreas suscetíveis (CARVALHO, 2010). Seu processo histórico de ocupação contribuiu para a consolidação de áreas urbanas em encostas, favorecendo a ocorrência de instabilidades geotécnicas durante períodos de chuva intensa ou prolongada.

Nesse contexto, a definição de limiares pluviométricos associados aos movimentos de massa constitui importante ferramenta para gestão de riscos (TATIZANA et al., 1987; CASTRO, 2006). Embora não substituam análises geotécnicas detalhadas, esses limiares permitem identificar padrões hidrológicos antecedentes aos eventos e subsidiar sistemas de alerta. A avaliação da chuva acumulada em diferentes janelas temporais é essencial, pois muitos movimentos de massa dependem da saturação progressiva do solo, e não apenas de chuvas intensas em curto período (LUMB, 1975).

Dessa forma, este artigo tem como objetivo analisar a influência da precipitação na ocorrência de movimentos de massa no município de Sabará-MG, por meio da correlação entre registros históricos de eventos e dados pluviométricos. Busca-se identificar períodos de chuva antecedente mais representativos, estabelecer limiares de alerta e discutir a aplicação desses parâmetros em estratégias de monitoramento e prevenção de desastres.

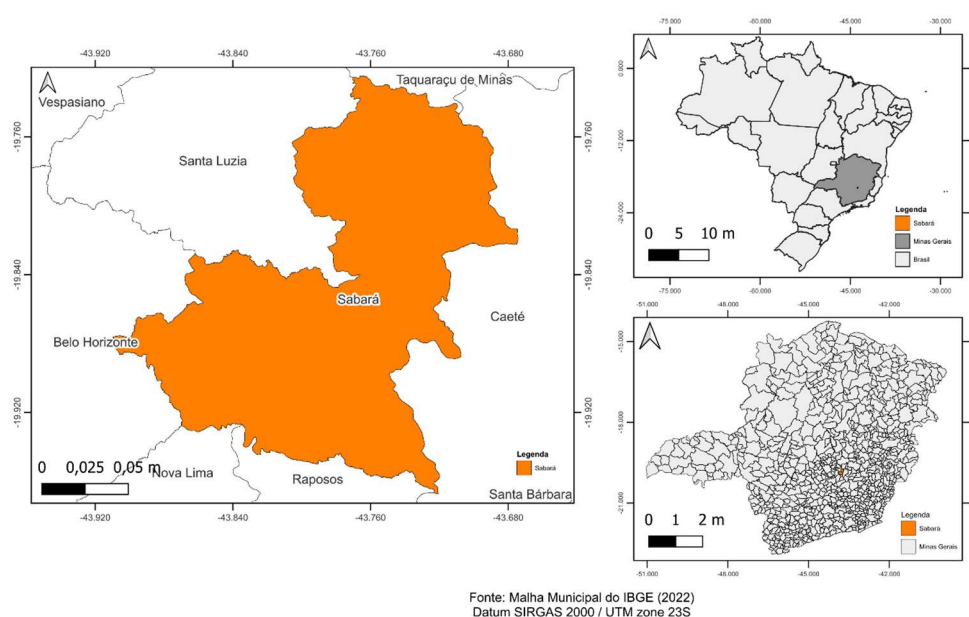
METODOLOGIA

A pesquisa adotou abordagem quantitativa e interpretativa, baseada na análise da correlação entre precipitação antecedente e ocorrência de movimentos de massa, conforme a metodologia de limiares pluviométricos proposta por Tatizana et al. (1987). O procedimento incluiu a caracterização da área de estudo, o levantamento dos eventos registrados, a seleção de estações pluviométricas, a organização dos dados de chuva e a elaboração de gráficos de dispersão para identificação de padrões empíricos e definição de limiares de ocorrência.

A área de estudo (Figura 1) corresponde ao município de Sabará, localizado na Região Metropolitana de Belo Horizonte, cuja configuração físico-territorial favorece a ocorrência de instabilidades, em função das elevadas declividades, diversidade litológica, presença de rochas fraturadas e ocupação urbana em encostas. Nesse contexto, a análise da precipitação foi conduzida de forma integrada às condições geológico-geomorfológicas e ao uso e ocupação do solo.

Figura 1 – Localização do município de Sabará em relação a Minas Gerais e ao Brasil.

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE SABARÁ



Fonte: Ribeiro (2024)

O inventário de movimentos de massa foi elaborado com base em registros jornalísticos entre 2009 e 2024 (QUINTA FERREIRA et al., 2005), considerando apenas eventos com data e localização identificáveis. Registros duplicados, incompletos ou sem confirmação mínima foram excluídos. Os eventos selecionados foram organizados em banco de dados e associados aos registros pluviométricos, permitindo o cálculo da precipitação diária e dos acumulados antecedentes de 1 a 10

dias, com ênfase analítica nos intervalos de 2 a 7 dias, conforme sua relevância para a deflagração dos eventos. Apesar das limitações de padronização técnica, as fontes jornalísticas constituem alternativa relevante em contextos de indisponibilidade ou inconsistência de bancos oficiais.

Os dados pluviométricos (Tabela 1) foram obtidos na estação Sabará (ANA) e complementados pela estação Borba Gato (CEMADEN), considerando critérios de representatividade espacial, disponibilidade temporal e consistência das séries. Os dados horários do CEMADEN foram convertidos em valores diários, sendo posteriormente calculados os acumulados de precipitação entre 1 e 10 dias antecedentes, permitindo avaliar tanto eventos de chuva recente quanto o efeito da saturação progressiva do solo.

Tabela 1 – Informações das estações Sabará e Borba Gato.

ESTAÇÃO	Sabará	Borba Gato
Código	1943006	315670001A
Operadora	ANA	CEMADEN
Latitude	-19,8931	-19,8331
Longitude	-43,8150	-43,8439
Período de dados	jan/2009 - jun/2024	jul/2024 - dez/2024

Fonte: Ribeiro (2024)

A análise estatística foi conduzida por meio de gráficos de dispersão, nos quais os valores de precipitação acumulada foram relacionados à ocorrência dos eventos. A partir desses gráficos, foram definidos valores mínimo, máximo e de alerta para cada janela temporal analisada. O valor mínimo corresponde à menor precipitação associada a um evento, o valor máximo ao maior acumulado observado e o valor de alerta à faixa de maior concentração de ocorrências, sendo interpretado como referência probabilística para sistemas de monitoramento.

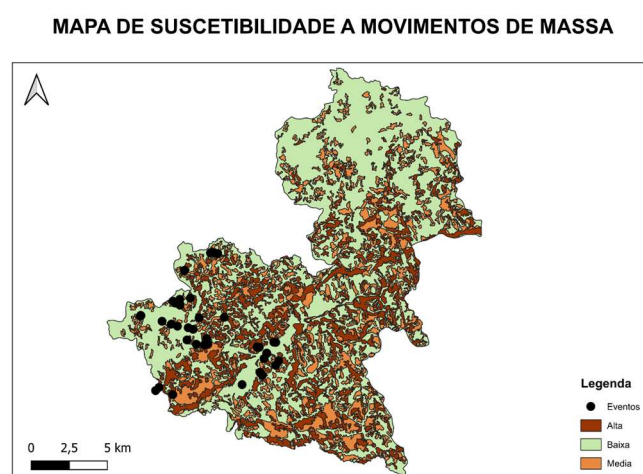
Adicionalmente, foi aplicado o Coeficiente de Precipitação Crítica (CPC), conforme proposto por Tatizana et al. (1987), relacionando a precipitação diária à precipitação acumulada antecedente. Esse parâmetro foi utilizado como indicador auxiliar para avaliação da criticidade das condições pluviométricas e para a identificação de cenários favoráveis à deflagração de movimentos de massa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do inventário permitiu identificar 39 registros consistentes de movimentos de massa no município de Sabará no período entre 2009 e 2024. A distribuição espacial desses eventos, apresentada na Figura 2, evidenciou forte correspondência com áreas previamente classificadas como de média a alta suscetibilidade, reforçando a relevância dos condicionantes físicos na ocorrência desses processos.

A concentração das ocorrências em setores urbanizados indica a influência direta da vulnerabilidade antrópica sobre a suscetibilidade natural. Encostas ocupadas sem infraestrutura adequada tendem a apresentar maior sensibilidade à infiltração e ao escoamento superficial concentrado, o que favorece o aumento da umidade do solo e a redução de sua estabilidade, especialmente durante períodos de precipitação acumulada.

Figura 2 – Mapa de localização dos eventos e áreas de risco.



Fonte: SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (2015)
Autora (2024)
Datum SIRGAS 2000 / UTM zone 23S

Fonte: Ribeiro (2024)

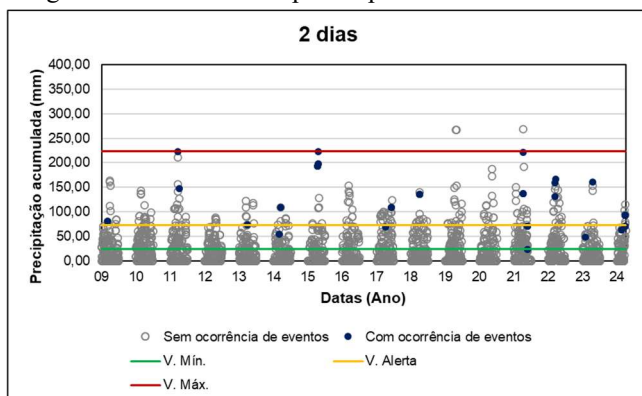
A análise pluviométrica evidenciou maior associação dos eventos com acumulados antecedentes de 2 a 7 dias. Esse comportamento pode ser observado nos gráficos de dispersão apresentados nas Figuras 3 a 8, que demonstram a distribuição dos eventos em função dos diferentes períodos de acumulação pluviométrica. A partir desses gráficos, observa-se a concentração das ocorrências em faixas específicas de precipitação, permitindo a identificação de padrões relacionados à deflagração dos movimentos de massa.

Esse resultado reforça a importância da chuva antecedente no processo de instabilização das encostas, indicando que o acúmulo progressivo de umidade no solo exerce papel mais relevante do que a precipitação isolada no dia do evento. Para o acumulado de 2 dias, ilustrado na Figura 3, foi identificado um limiar de alerta de aproximadamente 73,3 mm, com valores variando entre 24,3 mm e 222,9 mm.

De forma complementar, a Tabela 2 sintetiza os limiares definidos para os diferentes períodos de acumulação, permitindo uma visão integrada dos valores mínimo, de alerta e máximo associados aos eventos analisados. A amplitude observada nesses valores evidencia a elevada variabilidade na

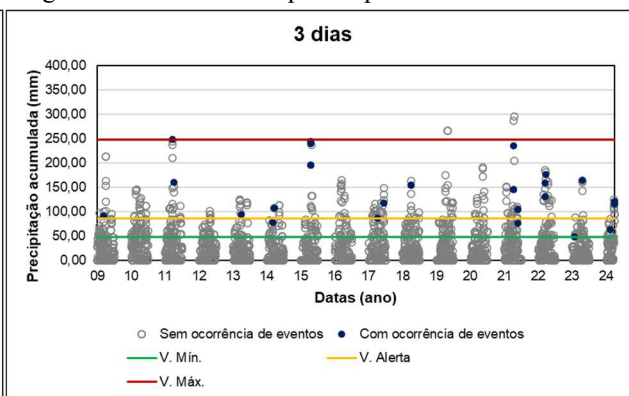
resposta das encostas, indicando que os limiares devem ser interpretados como referências operacionais de aumento de probabilidade, e não como valores determinísticos de ruptura.

Figura 3 – Gráfico de dispersão para 2 dias antecedentes.



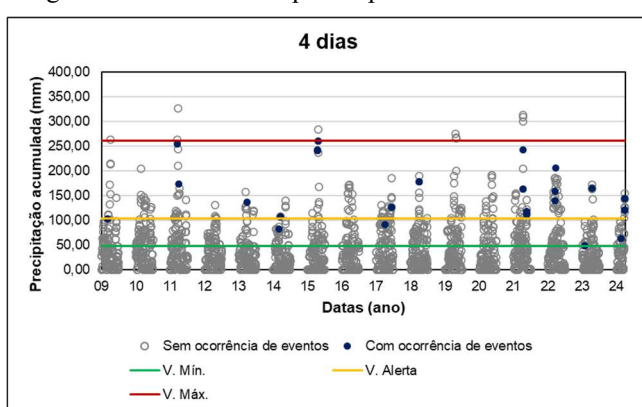
Fonte: Ribeiro (2024)

Figura 4 – Gráfico de dispersão para 3 dias antecedentes.



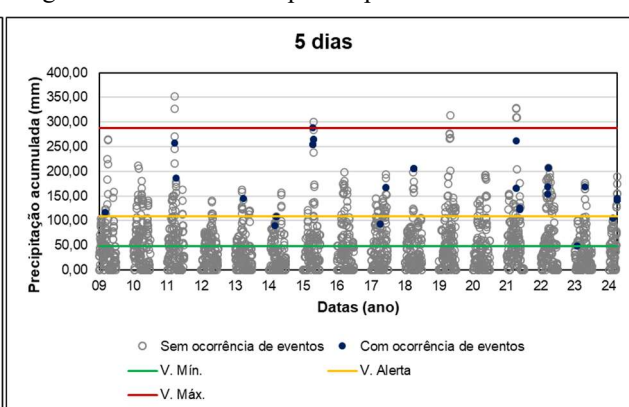
Fonte: Ribeiro (2024)

Figura 5 – Gráfico de dispersão para 4 dias antecedentes.



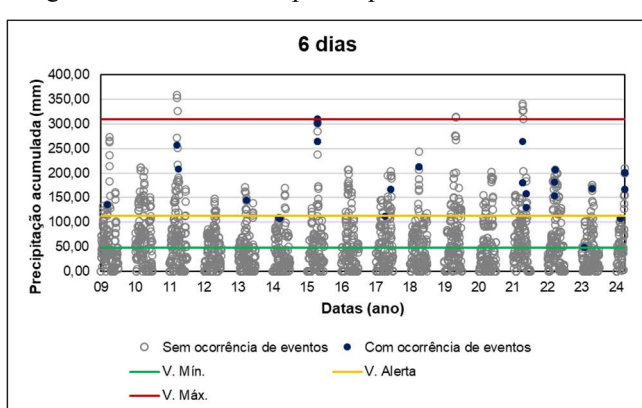
Fonte: Ribeiro (2024)

Figura 6 – Gráfico de dispersão para 5 dias antecedentes.



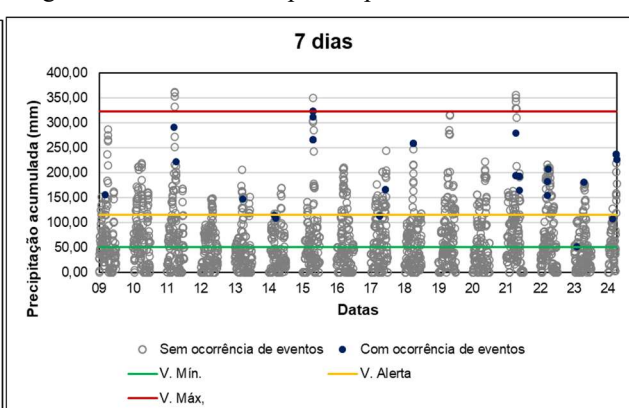
Fonte: Ribeiro (2024)

Figura 7 – Gráfico de dispersão para 6 dias antecedentes.



Fonte: Ribeiro (2024)

Figura 8 – Gráfico de dispersão para 7 dias antecedentes.



Fonte: Ribeiro (2024)

A comparação com estudos realizados em municípios com características semelhantes, como Ouro Preto (CASTRO, 2006), demonstra coerência nos valores obtidos, especialmente para acumulados de curta duração, o que pode ser atribuído às similaridades regionais em termos de regime pluviométrico, geologia e padrão de ocupação urbana.

Tabela 2 – Limiares definidos a partir dos gráficos de dispersão.

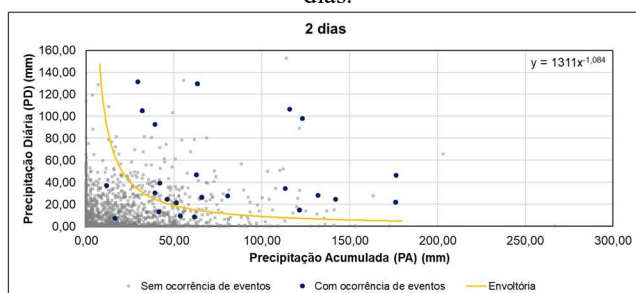
Dias acumulados	V. Mínimo (mm)	V. Alerta (mm)	V. Máximo (mm)
2	24,30	73,30	222,90
3	48,50	86,00	248,70
4	48,50	103,70	261,20
5	48,50	108,80	288,40
6	48,50	112,50	310,20
7	50,60	114,50	322,50
8	55,30	149,70	333,40
9	55,30	153,20	333,40
10	55,30	153,20	353,50
Mínimo	24,30	73,30	222,90
Médio	48,31	117,21	297,13
Máximo	55,30	153,20	353,50

Fonte: Ribeiro (2024).

No âmbito do sistema de alerta, as curvas envoltórias dos eventos foram definidas a partir dos dados analisados, conforme apresentado nas Figuras 9 a 14. Essas envoltórias permitem delimitar zonas de maior probabilidade de ocorrência de movimentos de massa, constituindo importante ferramenta para a definição de critérios operacionais de monitoramento. Observa-se que, à medida que aumenta o período de acumulação, há um deslocamento dessas envoltórias, refletindo a influência do acúmulo progressivo de umidade no solo sobre a estabilidade das encostas.

Figura 9 – Envoltória de movimento de massa para 2

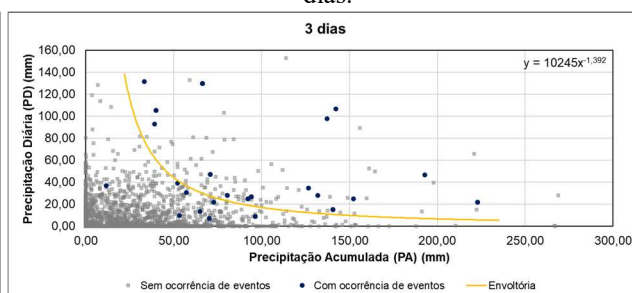
dias.



Fonte: Ribeiro (2024)

Figura 10 – Envoltória de movimento de massa para 3

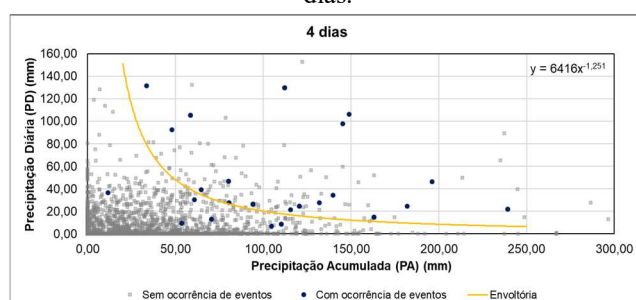
dias.



Fonte: Ribeiro (2024)

Figura 11 – Envoltória de movimento de massa para 4

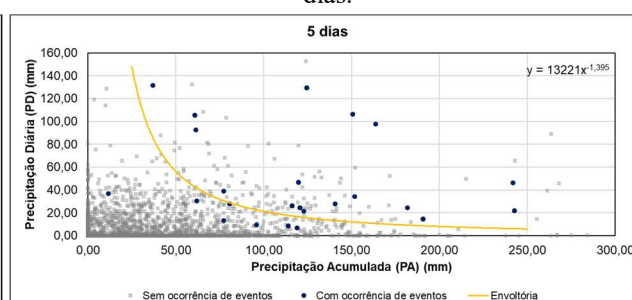
dias.



Fonte: Ribeiro (2024)

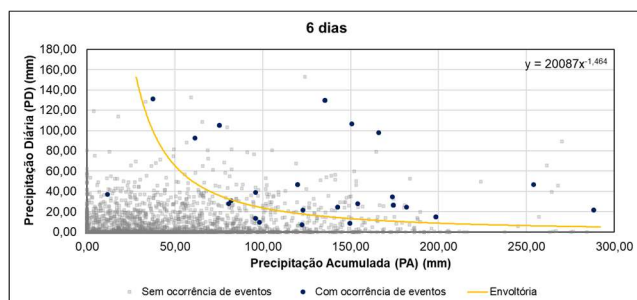
Figura 12 – Envoltória de movimento de massa para 5

dias.



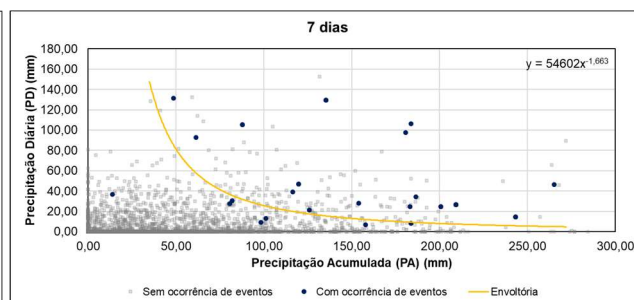
Fonte: Ribeiro (2024)

Figura 13 – Envoltória de movimento de massa para 6 dias.



Fonte: Ribeiro (2024)

Figura 14 – Envoltória de movimento de massa para 7 dias.



Fonte: Ribeiro (2024)

O Coeficiente de Precipitação Crítica (CPC) foi empregado como parâmetro auxiliar na avaliação da criticidade da chuva antecedente, permitindo relacionar a precipitação diária à precipitação acumulada e identificar situações em que o sistema se aproxima de condições favoráveis à deflagração de escorregamentos. Os valores obtidos, apresentados na Tabela 3, evidenciam a variação da criticidade pluviométrica ao longo dos diferentes intervalos analisados.

Tabela 3 – Valores de CPC de 2 a 7 dias acumulados.

PERÍODO CHUVOSO	DIAS ACUMULADOS	a	b	PA	CPC
	2	1311,00	1,084	31,33	1,00
	3	14428,00	1,466	48,60	1,00
	4	6416,00	1,251	49,12	1,00
	5	13221,00	1,395	52,56	1,00
	6	20087,00	1,464	55,75	1,00
	7	54602,00	1,663	60,09	1,00

Fonte: Ribeiro (2024)

A análise desses valores reforça a importância da interpretação integrada entre intensidade recente da chuva e acúmulo antecedente, uma vez que a ocorrência dos eventos está associada à combinação entre saturação progressiva do solo e novos aportes de precipitação. Dessa forma, o CPC se apresenta como um indicador complementar relevante para subsidiar a tomada de decisão em sistemas de monitoramento.

A aplicação dos limiares definidos deve ocorrer de forma integrada ao monitoramento territorial, sendo utilizada como gatilho para a intensificação de vistorias em áreas historicamente suscetíveis, especialmente durante períodos de chuva acumulada significativa. Nesse contexto, a operacionalização dos resultados depende de sua tradução em critérios práticos de resposta.

A organização dos níveis de operação, apresentada na Tabela 4, permite estruturar essa transposição, associando os limiares pluviométricos a diferentes estágios de monitoramento e ação. Essa abordagem possibilita que os acumulados de precipitação sejam interpretados dentro de uma lógica progressiva de alerta, evitando sua utilização de forma isolada e descontextualizada.

Tabela 4 – Níveis de operação para monitoramento.

Risco	Monitoramento	Nível de alerta	Acionamento dos alertas	Nível de emergência a ser acionado
Movimentos de massa	Informações dos órgãos do Sistema de Proteção e Defesa Civil – Nacional ou Estadual. Chuva acumulada. Previsão de chuva. Vistorias nas áreas de risco.	Verde	Verde: neste nível é feito o monitoramento meteorológico, com especial cuidado quando da previsão de ocorrência de precipitações.	Observação
		Amarelo	Amarelo: quando a chuva acumulada e a previsão de chuva indicarem; ou quando as vistorias nas áreas de risco constatarem indicativos de risco de movimentos de massa; ou quando houver indicações dos órgãos oficiais de monitoramento; ou quando de decisão da Defesa Civil.	Atenção
		Laranja	Laranja: quando a chuva acumulada e a previsão de chuva indicarem; ou quando as vistorias nas áreas de risco indicarem ocorrências de movimentos de massa em vários locais; ou quando houver indicações dos órgãos oficiais de monitoramento; ou quando de decisão da Defesa Civil.	Alerta
		Vermelho	Vermelho: quando as vistorias nas áreas de risco indicarem ocorrências generalizadas de movimentos de massa; ou quando de decisão da Defesa Civil.	Emergência

Fonte: Ribeiro (2024)

Os resultados indicam que, para o município de Sabará, o uso operacional da chuva antecedente deve priorizar os acumulados de 2 a 7 dias, com destaque para o limiar de aproximadamente 73,3 mm em 2 dias. No entanto, sua aplicação deve ser sempre associada às áreas previamente mapeadas como suscetíveis, uma vez que a resposta das encostas varia significativamente em função de suas características físicas e antrópicas.

Nesse sentido, áreas com maior declividade, solos rasos, intervenções antrópicas inadequadas e sistemas de drenagem deficientes tendem a atingir condições críticas com volumes inferiores aos observados em áreas menos vulneráveis, reforçando a necessidade de integração entre dados pluviométricos e informações territoriais na análise do risco.

Por fim, recomenda-se que os limiares apresentados sejam utilizados como referência inicial e continuamente calibrados a partir da incorporação de novos registros. À medida que o município consolide uma base de dados mais robusta e sistematizada, será possível reduzir as incertezas associadas aos valores definidos e aprimorar os modelos de previsão.

Dessa forma, o monitoramento pluviométrico deve ser articulado com mapeamentos de risco, planos de contingência, estratégias de educação comunitária e protocolos institucionais de resposta, de modo a constituir um sistema integrado e eficaz de gestão de riscos associados a movimentos de massa.

CONCLUSÃO

Os resultados evidenciam que a precipitação antecedente exerce papel determinante na deflagração de movimentos de massa no município de Sabará-MG, especialmente quando associada a fatores geotécnicos, geomorfológicos e antrópicos. Os acumulados entre 2 e 7 dias apresentaram maior correlação com os eventos registrados, indicando que a saturação progressiva do solo constitui o principal mecanismo de instabilização das encostas no contexto analisado.

O limiar de aproximadamente 73,3 mm em 2 dias acumulados mostrou-se um parâmetro relevante para sistemas municipais de monitoramento. Contudo, sua aplicação deve considerar a variabilidade espacial da precipitação, a heterogeneidade dos materiais e as limitações da base de dados, sendo interpretado como um indicador probabilístico de aumento de risco, e não como um valor determinístico de ruptura.

Adicionalmente, os resultados reforçam que a ocorrência dos movimentos de massa decorre da interação entre condições naturais e intervenções antrópicas, como ocupação inadequada, deficiência de drenagem e características do relevo e do solo. Nesse sentido, os limiares definidos podem subsidiar sistemas de alerta e orientar ações preventivas em áreas suscetíveis, desde que utilizados de forma integrada ao monitoramento territorial e continuamente calibrados com novos registros.

REFERÊNCIAS

- AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica**. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas-COBRAE. Anais. 1992. p. 721-733.
- CASTRO, J. M. G. **Pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de Ouro Preto**. 2006.
- CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Dados pluviométricos e monitoramento de desastres naturais**. 2024. Disponível em: <https://www.cemaden.gov.br>. Acesso em: 19 set 2024.
- COBRAPE – Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos. **Diagnóstico ambiental e territorial do município de Sabará**. 2014.
- GERSCOVICH, D. M. S. **Estabilidade de taludes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados demográficos e territoriais do município de Sabará**. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 19 set 2024.
- LUMB, P. **Slope failures in Hong Kong**. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, v. 8, p. 31–65, 1975.
- TATIZANA, C. et al. **Análise da correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, Cubatão (SP)**. São Paulo: IPT, 1987.
- TOMINAGA, L. K. (Org.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.
- TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004.
- VARNES, D. J. **Slope movement types and processes**. In: SCHUSTER, R. L.; KRIZEK, R. J. (Ed.). *Landslides: analysis and control*. Washington: National Academy of Sciences, 1978. p. 11–33.