

Avaliação da suscetibilidade da ilha Terceira (Açores) a perigos vulcânicos

Assessment of Terceira Island (Azores) susceptibility to volcanic hazards

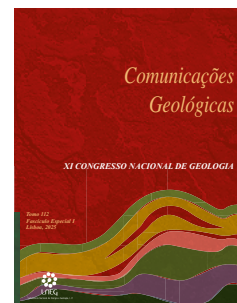
J. M. Pacheco^{1*}, S. Aguiar¹, A. Pimentel¹, T. Ferreira¹, J. L. Gaspar¹,
G. Queiroz¹, C. Goulart¹

DOI: <https://doi.org/10.34637/334p-kx41>

Recebido em 23/09/2023 / Aceite em 16/05/2024

Publicado online em abril de 2025

© 2025 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia IP



Artigo original
Original article

Abstrat: Terceira Island has three active volcanic systems, including two central volcanoes and a fissure zone. Terceira's eruptive history over the past 23,000 years has been marked by explosive eruptions of trachytic nature, with extrusion of trachytic lavas, as well as basaltic eruptions of low explosivity and hydromagmatic eruptions. All this diversity demonstrates that the island is exposed to a wide diversity of volcanic hazards. To assess the susceptibility of the island to these hazards its eruptive history was analyzed and used to produce simulations to determine the areas potentially affected by future eruptions.

Keywords: Volcanic hazards, susceptibility, Terceira Island, Azores

Resumo: A ilha Terceira possui três sistemas vulcânicos ativos, incluindo dois vulcões centrais e uma zona fissural. A história eruptiva da Terceira nos últimos 23.000 anos tem sido marcada por erupções explosivas de natureza traquítica, com extrusão de lavas traquíticas, bem como erupções basálticas de baixa explosividade e erupções hidromagmáticas. Toda esta diversidade demonstra que a ilha está exposta a uma multiplicidade de riscos vulcânicos.

Para avaliar a suscetibilidade da ilha a estes riscos, a sua história eruptiva foi analisada e utilizada para produzir simulações e determinar as áreas potencialmente afetadas por futuras erupções.

Palavras-chave: Perigos vulcânicos, Suscetibilidade, Ilha Terceira, Açores

¹ Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos (IVAR), Universidade dos Açores, Edifício do Complexo Científico, 2º Piso – Ala Sul, Rua da Mãe de Deus, 9500-321 Ponta Delgada, Açores. Portugal.

*Autor correspondente / Corresponding author: jose.mr.pacheco@azores.gov.pt

1. Introdução

Fruto do seu enquadramento geodinâmico, a região dos Açores é frequentemente afetada por diversos fenómenos geológicos, entre os quais se inserem as erupções vulcânicas. De facto, diversas formas de atividade vulcânica de diferentes estilos eruptivos e magnitudes têm marcado a história do arquipélago. Em particular, a ilha Terceira apresenta uma história geológica com grande diversidade de estilos eruptivos e, consequentemente, de perigos vulcânicos (Self, 1974; 1976; Pimentel, 2006; 2015).

À semelhança do que se observa noutros territórios insulares, também a população da Terceira se fixa em locais próximos dos vulcões

ativos ou em áreas de dispersão e deposição dos seus produtos, fazendo com que o risco vulcânico na ilha não possa ser negligenciado. Deste modo, torna-se fundamental proceder à avaliação do risco vulcânico para mitigação do impacto de futuras erupções vulcânicas na Terceira.

Entende-se por risco vulcânico a probabilidade de ocorrência de um fenómeno ou processo vulcânico, que afete uma determinada área, num determinado intervalo de tempo e com uma determinada severidade (Tilling, 1989), e a respetiva estimativa das suas consequências sobre pessoas, bens ou o ambiente, expressas em termos de danos corporais e/ou prejuízos materiais e funcionais, diretos ou indiretos, sendo a sua estimativa dada por:

$$\text{Risco} = (\text{Perigosidade} \times \text{Vulnerabilidade} \times \text{Valor}) / \text{Capacidade de Resposta}$$

Deste modo, a perigosidade define-se pela probabilidade de ocorrência de um fenómeno ou processo potencialmente destruidor afetar uma determinada área, num certo período, com uma determinada severidade (magnitude ou dimensão) (Connor *et al.*, 2015).

A vulnerabilidade corresponde ao grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos expostos, como pessoas, património edificado ou atividades económicas, face à ocorrência de um fenómeno ou processo com uma determinada severidade e é expressa numa escala de 0 (sem perda) a 1 (perda total ou morte) (Blaikie *et al.*, 1994).

O valor representa a quantificação de um elemento ou conjunto de elementos expostos a um perigo, em termos de vidas humanas e valor monetário, e deve incluir a estimativa de perdas económicas diretas ou indiretas, resultantes da cessão ou interrupção de uma funcionalidade ou atividade (Cruz-Reyna, 1996).

Por fim, a capacidade de resposta é entendida como o conjunto de medidas que podem contribuir para minimizar a vulnerabilidade, sendo que quanto maior a capacidade de resposta, menor o risco (Cruz-Reyna, 1996).

No caso do risco vulcânico é muitas vezes difícil determinar com rigor a probabilidade temporal e magnitude de um fenómeno ou processo com base na caracterização de uma janela temporal relativamente reduzida. Por este motivo, a avaliação do risco vulcânico baseia-se frequentemente no conceito de suscetibilidade, em detrimento da perigosidade.

Neste sentido, a suscetibilidade expressa a incidência espacial de ocorrência de um fenómeno ou processo vulcânico e representa a propensão para uma área ser afetada por um determinado fenómeno ou processo potencialmente destruidor, em tempo indeterminado, sendo

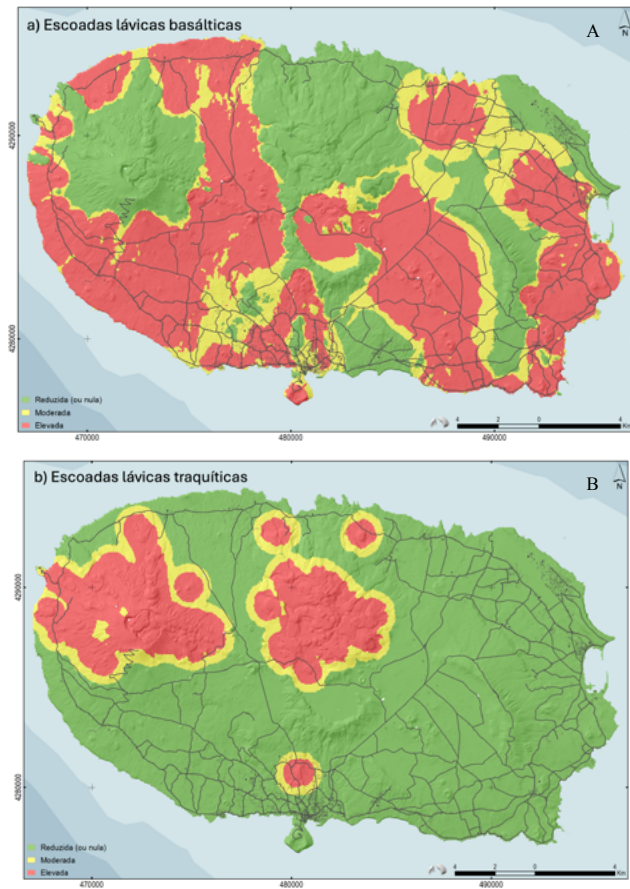


Figura 2. Mapas de suscetibilidade a escoadas lávicas: a) basálticas (s.l.) e b) traquíticas (s.l.).

Figure 2: Susceptibility maps to lava flows: a) basaltic (s.l.) and b) trachytic (s.l.).

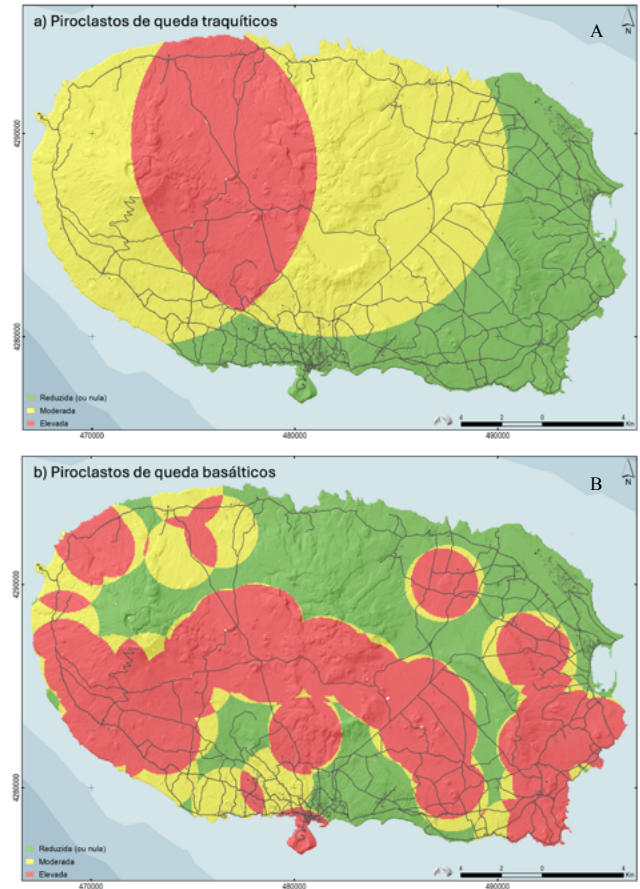


Figura 3. Mapas de suscetibilidade a piroclastos de queda: a) traquíticos (s.l.) e b) basálticos (s.l.).

Figure 3: Susceptibility maps to tephra fall: a) trachytic (s.l.) and b) basaltic (s.l.).

eruptivos traquíticos (s.l.).

Tendo por base as áreas fonte e a dispersão máxima de piroclastos de queda, procedeu-se à projeção das áreas de impacto e à elaboração dos mapas de suscetibilidade aos piroclastos de queda produzidos no decorrer de erupções traquíticas (s.l.) (Figura 3a) e basálticas (s.l.) (Figura 3b),

Atendendo à projeção das áreas de impacto dos piroclastos de queda, distinguiram-se 3 níveis de suscetibilidade:

Suscetibilidade Elevada – Áreas atingidas por 1 m de espessura de piroclastos de queda provenientes de 2 ou mais centros eruptivos.
 Suscetibilidade Moderada – Áreas atingidas por 1 m de espessura de piroclastos de queda provenientes de apenas 1 centro eruptivo.

Suscetibilidade Reduzida ou Nula – Áreas localizadas fora da zona definida pela dispersão de 1 m de espessura de piroclastos de queda em condições de ausência de vento.

• Escoadas piroclásticas

Para a elaboração do mapa de suscetibilidade a escoadas piroclásticas determinaram-se as áreas propensas a alojar novos centros eruptivos associados a erupções de VEI 4 e 5, através da análise da história eruptiva dos sistemas vulcânicos e da geomorfologia dos seus edifícios. Desta análise concluiu-se considerar apenas as situações em que a origem das escoadas piroclásticas está associada à atividade dos vulcões centrais.

Determinados os potenciais centros eruptivos, procedeu-se à simulação da emissão de escoadas piroclásticas a partir destes centros utilizando o modelo do cone de energia (Malin e

Sheridan, 1982), resultando na definição de zonas com diferente suscetibilidade à inundação por escoadas piroclásticas (Figura 4). Tendo em conta o resultado das simulações discriminaram-se 3 níveis de suscetibilidade de acordo com a probabilidade de cada célula ser afetada:

Suscetibilidade Elevada – Células afetadas por escoadas piroclásticas provenientes de 2 ou mais vulcões centrais.

Suscetibilidade Moderada – Células afetadas por escoadas piroclásticas provenientes de 1 vulcão central.

Suscetibilidade Reduzida ou Nula – Células não afetadas por escoadas piroclásticas.

• Surges hidromagmáticos

Para a elaboração do mapa de suscetibilidade a surges hidromagmáticos, determinaram-se as áreas propensas a alojar novos centros eruptivos ao longo da faixa costeira da ilha Terceira e, posteriormente, determinou-se o alcance máximo de surges gerados por erupções hidromagmáticas nesses centros eruptivos. Por fim, procedeu-se à elaboração do respetivo mapa de suscetibilidade (Figura 5) discriminando-se 3 níveis de suscetibilidade:

Suscetibilidade Elevada – Áreas localizadas dentro da zona definida pelo alcance dos surges gerados na linha de costa, com origem nas zonas propensas a alojar novos centros eruptivos.

Suscetibilidade Moderada – Áreas localizadas dentro da zona definida pelo alcance dos surges gerados na linha de costa, com origem fora das zonas propensas a alojar novos centros eruptivos.

Suscetibilidade Reduzida ou Nula – Áreas localizadas fora da

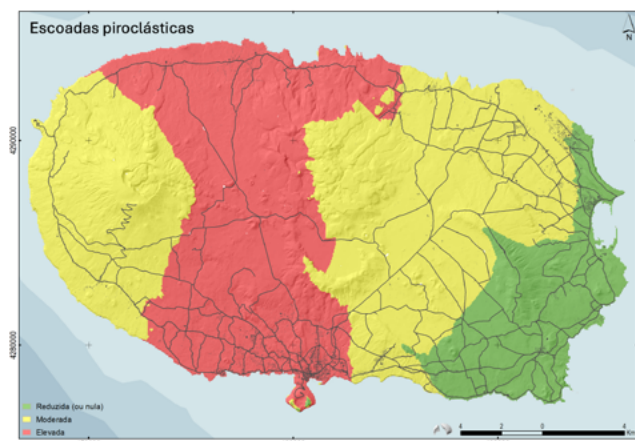


Figura 4. Mapa de suscetibilidade a escoadas piroclásticas.

Figure 4. Susceptibility map to pyroclastic flows.

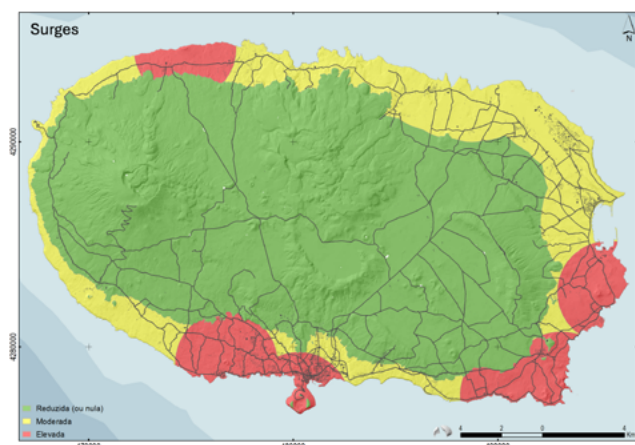


Figura 5. Mapa de suscetibilidade a surges hidromagmáticos.

Figure 5. Susceptibility map to hydromagmatic surges.

zona definida pelo alcance dos surges gerados na linha de costa.

4.1. Análise da suscetibilidade

Os mapas de suscetibilidade aos vários perigos vulcânicos elaborados para a ilha Terceira permitem observar que esta exhibe suscetibilidades muito diversas aos perigos vulcânicos considerados. Neste contexto, verifica-se que toda a área em torno do Vulcão de Santa Bárbara, entre as freguesias de Altares e São Pedro, a área sul de Posto Santo, a caldeira do Vulcão Guilherme Moniz, bem como toda a freguesia de São Bartolomeu e a área leste da ilha, correspondente ao *Graben* das Lajes, apresentam uma suscetibilidade elevada a escoadas lávicas basálticas (s.l.) (Figura 2a), cobrindo, assim, grande parte da ilha Terceira. O mesmo não acontece para o caso das escoadas lávicas traquíticas (s.l.) (Figura 2b), dado que os locais com maior suscetibilidade a este perigo estão restritos, principalmente, às áreas correspondentes ao Vulcão de Santa Bárbara e ao Vulcão do Pico Alto.

Quanto aos piroclastos de queda traquíticos (s.l.), verifica-se que toda a parte central e Oeste da ilha é moderadamente suscetível de ser afetada por este perigo, atingindo um grau de suscetibilidade elevada na área correspondente às freguesias de São Bartolomeu, Altares e Biscoitos (Figura 3a).

Além dos vulcões centrais, a Terceira apresenta outros centros

eruptivos monogenéticos capazes de emitir piroclastos de queda basálticos (s.l.). Relativamente a este perigo, observa-se que todo o sector a sudoeste do Vulcão de Santa Bárbara, que compreende o norte das freguesias de São Bartolomeu e de Posto Santo, até à faixa costeira da freguesia de Porto Judeu, apresenta um grau de suscetibilidade elevado. Igualmente suscetível encontra-se grande parte do sector leste, onde estão as freguesias de Santa Cruz, Cabo da Praia, Porto Martins e Fonte do Bastardo, tal como parte dos sectores Sudoeste e Oeste, que correspondem às freguesias de Santa Bárbara, Cinco Ribeiras, Doze Ribeiras, Serreta e Raminho (Figura 3b).

A figura 4 mostra que, à exceção do sector Sudeste e de uma pequena porção do sector leste, toda a ilha se encontra suscetível à ocorrência de escoadas piroclásticas, sendo que as áreas a Oeste do Vulcão de Santa Bárbara e a Este dos vulcões do Pico Alto e Guilherme Moniz, apresentam suscetibilidade moderada e a faixa entre os vulcões centrais de Santa Bárbara, Guilherme Moniz e Pico Alto, que se estende em direção a Norte e Sul da ilha, apresenta suscetibilidade elevada, incidindo sobre as freguesias de Altares, Biscoitos, Quatro Ribeiras, Agualva, São Bartolomeu, Cinco Ribeiras, Terra Chã, São Mateus, Posto Santo, São Pedro e o centro de Angra do Heroísmo.

De um modo geral, toda a faixa costeira apresenta suscetibilidade moderada a surges (Figura 5), dado que este perigo resulta de erupções hidromagmáticas. Assim, verifica-se que as áreas mais suscetíveis aos efeitos resultantes dos surges correspondem às freguesias de Altares, Cabo da Praia, Porto Martins, São Sebastião, Porto Judeu, São Mateus, São Pedro e ao centro da cidade de Angra do Heroísmo.

5. Conclusões

Desta análise conclui-se que a suscetibilidade aos diferentes perigos vulcânicos não é homogênea, sendo as escoadas lávicas basálticas (s.l.) o perigo a que a Terceira é mais vulnerável. De facto, as lavas basálticas (s.l.) constituem uma ameaça significativa na região central da ilha podendo propagar-se até à linha de costa.

A vulnerabilidade a piroclastos de queda basálticos (s.l.) também é elevada numa área muito significativa da ilha. No entanto, atendendo à natureza destes eventos, a área total afetada por uma erupção basáltica (s.l.) é normalmente circunscrita a uma zona de poucos quilómetros quadrados em torno do centro emissor. Contrariamente a estas, as erupções explosivas traquíticas (s.l.) podem afetar áreas muito vastas.

Outro perigo associado a erupções explosivas traquíticas (s.l.) é o desenvolvimento de fluxos piroclásticos que podem ter efeitos devastadores. A quase totalidade da superfície da ilha é suscetível a esse perigo, incluindo Angra do Heroísmo e parte da Praia da Vitória.

A análise dos elementos expostos, permitiu ainda verificar que os principais agregados populacionais e estradas da ilha se localizam ao longo da faixa costeira, pelo que, além da vulnerabilidade aos perigos já referidos, são também particularmente vulneráveis aos surges hidromagmáticos.

Os resultados do presente estudo representam um contributo importante para o conhecimento do risco vulcânico na ilha Terceira e demonstram a importância da avaliação desse risco como ferramenta fundamental para o melhor ordenamento do território e planeamento de emergência na Terceira.

Referências

- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., Wisner, B., 1994. *At risk: natural hazards, peoples' vulnerability, and disasters*. London, Routledge.
- Casas, D., Pimentel, A., Pacheco, J., Martorelli, E., Sposato, A., Ercilla, G., Alonso, B., Chiocci, F., 2018. Serreta 1998-2001 submarine volcanic eruption, offshore Terceira (Azores): characterization of the vent and inferences about the eruptive dynamics. *Journal of Volcanology and*

- Geothermal Research*, **356**: 12-140.
- Connor, C., Bebbington, M., Maezocchi, W., 2015. Probabilistic Volcanic Hazard Assessment. In: Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S.R., Rymer, H., Stix, J. (eds.), *The Encyclopedia of Volcanoes*, Second Edition. Academic Press, 897-910.
- Cruz-Reyna, S., 1996. Long-term probabilistic analysis of future explosive eruptions. In: Scarpa, e Tilling (eds.), *Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards*, Springer-Verlag, 599-630.
- Felpeto, A., Araña, V., Ortiz, R., Astiz, M., García, A., 2001. Assessment and modelling of lava flow hazard on Lanzarote (Canary Islands). *Natural Hazards*, **23**: 247-257.
- Gaspar, J. L., Queiroz, G., Ferreira, T., Coutinho, R., Almeida, M. H., Wallenstein, N., Pacheco, J., 2000. *A erupção vulcânica de 1998-1999 na Crista Submarina da Serreta (W da ilha Terceira, Açores): modelo eruptivo*. 2ª Assembleia Luso Espanhola de Geodesia e Geofísica, Lagos.
- Gaspar, J. L., Queiroz, G., Pacheco, J. M., Ferreira, T., Wallenstein, N., Almeida, M. H., Coutinho, R., 2003. Basaltic lava balloons produced during the 1998-2001 Serreta Submarine Ridge eruption (Azores). In: White, J.D.L., Smellie, J. L., Clague, D. A. (eds.) *Explosive Subaqueous Volcanism*, Geophysical Monograph 140, AGU, Washington D.C.
- Kueppers, U., Nichols, A. R. L., Zanon, V., Potuzak, M., Pacheco, J. M., 2012. Lava balloons – peculiar products of basaltic submarine eruptions. *Bulletin of Volcanology*, **74**(6): 1379-1393.
- Pacheco, J. M., 2001. *Processos associados ao desenvolvimento de erupções vulcânicas hidromagmáticas explosivas na ilha do Faial e a sua interpretação numa perspectiva de avaliação do hazard e minimização do risco*. Tese de Doutoramento, Universidade dos Açores.
- Pacheco, J. M., Ferreira, T., Queiroz, G., Wallenstein, N., Coutinho, R., Cruz, J. V., Pimentel, A., Silva, R., Gaspar, J. L., Goulart, C., 2013. Notas sobre geologia do arquipélago dos Açores. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, T., Kullberg, J. C. (eds). *Geologia de Portugal*, **2**, Escolar Editora, 596-690.
- Pimentel, A., 2006. *Domos e coulées da ilha Terceira (Açores): Contribuição para o estudo dos mecanismos de instalação*. Tese de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores.
- Pimentel, A., 2015. *Pyroclastic density current-forming eruptions on Faial and Terceira islands, Azores*. Tese de Doutoramento, Universidade dos Açores.
- Pimentel, A., Zanon, V., De Groot, L. V., Hipólito, A., Di Chiara, A., Self, S., 2016. Stress-induced comenditic trachyte effusion triggered by trachybasalt intrusion: multidisciplinary study of the AD 1761 eruption at Terceira Island (Azores). *Bulletin of Volcanology*, **78**(3): 22.
- Queiroz, G., Gaspar, J. L., Madeira, J., Alves, P., 2001. *EIA - Projecto geotérmico da ilha Terceira. Análise do risco sísmico*. DTC 04/ CVARG/01. Universidade dos Açores.
- Self, S., 1974. *Recent volcanism on Terceira, Azores*. Tese de Doutoramento, Imperial College London.
- Self, S., 1976. The recent volcanology of Terceira, Azores. *Journal of the Geological Society*, London, **132**: 645-666.
- Zbyszewski, G., Medeiros, A. C., Ferreira, O. V., Assunção, C. T., 1971. *Carta geológica de Portugal*, na escala de 1/50 000. Notícia explicativa da folha da ilha Terceira. Serviços Geológicos de Portugal.