



▲ Afb. 1. Porto Santo en de satellieteilandjes vanaf de ferry, in noordelijke richting.

## Algemene geologie

# Porto Santo, veilige haven dankzij ijstijdzand

## Geologie van de Madeira Archipel

door Annemieke van Roekel

redactie.vanroekel@gea-geologie.nl

De skyline is indrukwekkend, maar het naderen van Porto Santo maakt het beeld er niet spectaculairder op. Qua kleur en vorm oogt het hoofdeiland (ook zelf weer omgeven door een verzameling rotseilandjes) zelfs een beetje saai... Gelukkig maakt de geologie alles weer goed: de variatie aan toppen blijkt een bonte verzameling geërodeerde vulkanen te zijn.

Porto Santo (33 N, 16 W) ligt 45 km ten noordoosten van Madeira, op 2,5 uur varen van de hoofdstad Funchal. Dat Porto Santo pal NO ligt, is geen toeval, want de aardkorst schuift hier met een gemiddelde snelheid van ca 1,5 cm per jaar in noordoostelijke richting over een nog steeds actieve hotspot. Porto Santo is daarom vele miljoenen jaren ouder dan Madeira, waar het oudste gesteente op "slechts" 5,2 miljoen jaar is gedateerd.

### Vulkaanskeletten

De kenmerkende skyline van Porto Santo (afb. 1) wordt bepaald door skeletten van vulkanen: het inwendige en meest erosiebestendige deel van Mioceen vulkaancomplexen. Het eiland vormde zich submarien tijdens het Vroeg- en Midden-Mioceen (vanaf 19 miljoen

jaar geleden), gevolgd door vulkanisme boven zeeniveau (subaerisch) ten tijde van het Midden- en Laat-Mioceen (vanaf 14 miljoen jaar geleden) (Ferreira et al., 1988). Vanaf 10 miljoen jaar geleden beperkte de vulkanische activiteit zich tot de vorming van enkele dikes (verticale gangen), die bepalend zijn voor het huidige landschap, zoals Pico do Facho, omdat het zachtere gesteente eromheen is weg geërodeerd (afb. 2). Het vulkanisme eindigde 8 miljoen jaar geleden.

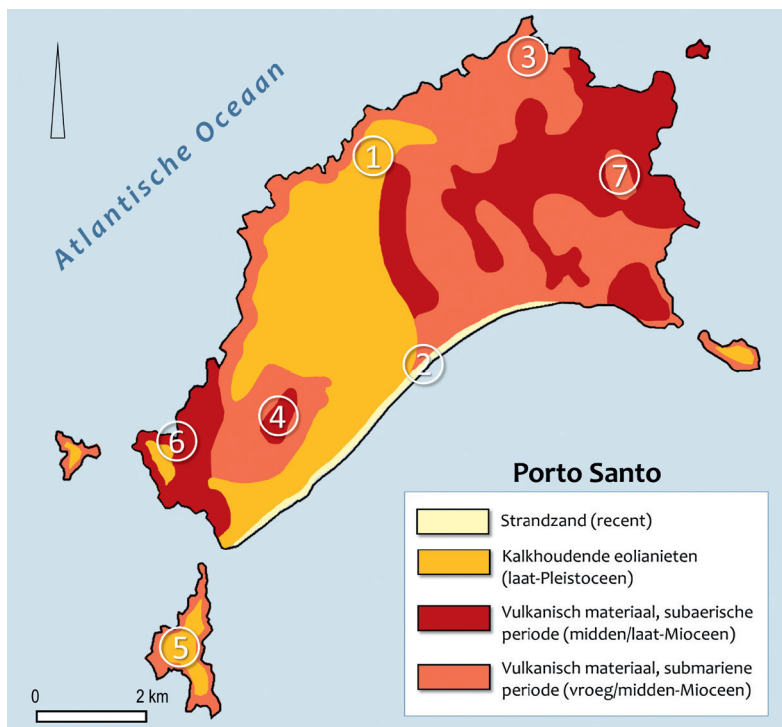
Op Porto Santo bevinden zich door latere opheffing aan het oppervlak relatief veel submarien gevormde vulkanische afzettingen; ook tijdens de 'eilandfase' ging vulkanisme onder zeeniveau door (afb. 3). Van alle eilanden in dit deel van de Atlantische Oceaan bevinden zich hier de oudste fossiele koraalriffen, gedateerd op 19-14 miljoen jaar. Verticale tektonische bewegingen van de oceaانبodem, oprijzende vulkaankegels en kanteling zijn bepalend geweest voor de vorm van de vulkanische complexen (Ferreira et al., 1988).

### Opgeheven zeebodem

Samen vormen Madeira, de Desertas en Porto Santo de noordelijke groep van de "Archipel



◀ Afb. 2. De 'picos' op Porto Santo zijn verticale gangen (dikes). V.l.n.r.: Pico Ana Ferreira, Pico do Castelo, Pico do Facho (met 507 m de hoogste top van het eiland).



▲ Afb. 3. Geologische kaart van Porto Santo, met daarop aangegeven de in dit artikel beschreven zeven geolocaties (GL): 1. Fonte da Areia; 2. zandstrand (tevens de locatie van de zandmonsters); 3. oudste geologische deel (submarin vulkanisme); 4. Pico de Ana Ferreira; 5. Ilhéu de Baixo; 6. Morenos; 7. Serra de Dentro. Cartografie: Jan S. Heutink.

van Madeira en Selvagens”. De zuidelijke groep omvat de Canarische Eilanden en de Selvagens. Qua tektoniek zijn de Selvagens meer gerelateerd aan de Canarische archipel, maar het vulkanisme is veel ouder (27–24 Ma, Ferreira et al., 1988).

De noordelijke groep is gelegen op het ZW-deel van de meer dan 1000 km lange Madeira-Tore Rise (afb. 4), een opgeheven deel van de zeebodem die deel uitmaakt van de Afrikaanse plaat (Nubische Plaat), zuidelijk van de Azores-Gibraltar Transform Fault (AGFZ). De oceanische korst is hier 140 miljoen jaar oud. De AGFZ, een seismisch actieve breuklijn die de grens vormt tussen de Afrikaanse en Euraziatische Plaat, schreef geschiedenis met de beruchte aardbeving van Lissabon in 1755.

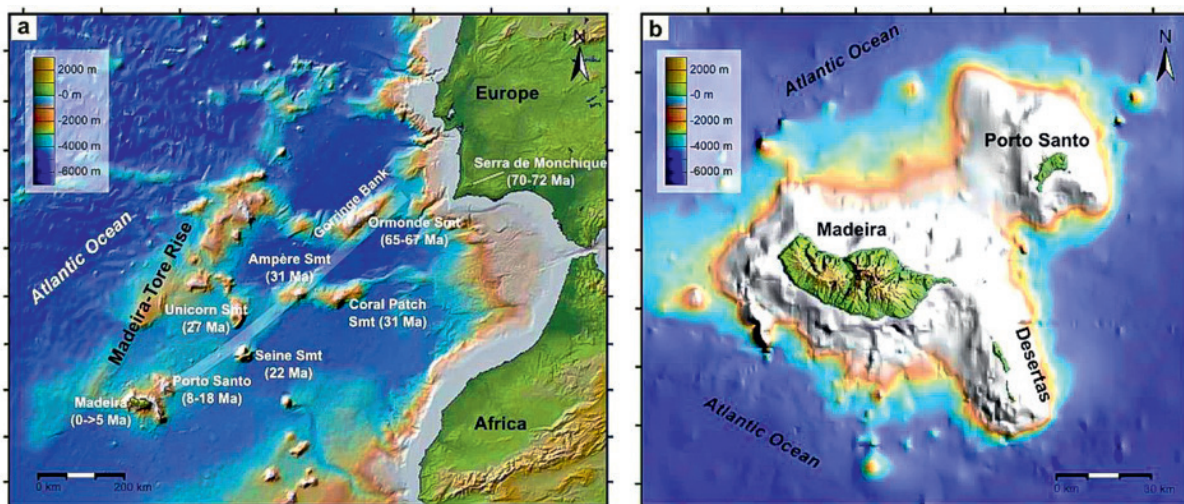
### Riftzone

De bootreis vanaf Madeira naar Porto Santo is al zeer de moeite waard, varende langs de imposante kliffen van het ‘hoofdeiland’. Eenmaal

oostelijk van Madeira is het gehele eiland te zien, met op de voorgrond de lange en laaggelegen uitlopers van het schiereiland Ponta de São Lourenço (afb. 5). Het is het minst steile en meest oostelijke deel van de WO-lopende riftzone, waar Madeira zijn bestaan aan dankt. Hier begon 5,2 miljoen jaar geleden een vulkanisch actieve periode, in meerdere fasen. De onderzeese riftzone buigt bij Ponta de São Lourenço in ZO-richting af en loopt vervolgens parallel aan die van de Ilhas Desertas (afb. 6). Dit is een groep van drie fascinerende eilanden, die in een opvallend rechte lijn liggen, een breuk in de oceaankorst volgend. Topografische kaarten van de zeebodem laten zien dat de zee hier maximaal een halve kilometer diep is en suggereren een geologische relatie tussen Madeira en de Desertas. Geofysici suggereren dat Madeira en de Desertas deel uitmaken van één vulkanisch complex (Geldmacher, 2000). Even slaat de twijfel toe of een dagtrip (er varen regelmatig zeilschepen) naar de Desertas niet beter was geweest dan mijn tweede bezoek aan Porto Santo in één week (oktober 2020). Er wonen enkele natuurgidsen op de grootste (en middelste) van de drie, Deserta Grande, die er onder meer de bedreigde gewone monniksrobber in de gaten houden. Zoals zoveel (onbewoonde) oceaaneilandjes hebben de Desertas een bijzondere fauna: hier leeft de endemische en bedreigde spinnersoort *Hogna ingens*, de maar liefst 12 cm brede ‘Deserta Grande wolf spider’, evenals bedreigde zeevogels, zoals Zino’s petrel (madeirastormvogel).

### Een oceaan van seamounts

Tussen Madeira en Porto Santo is de oceaan met meer dan 2 km veel dieper dan tussen Madeira en de Desertas. Hier ontbreekt een directe geologische relatie dan ook; wel schoven beide eilanden (gelegen op 140



▲ Afb. 4. Ligging van de Madeira Archipel. (a) De reeks van seamounts op het onderzeese deel van de Afrikaanse Plaat. De AGFZ loopt vanaf Gibraltar pal west. (b) Topografie van de zeebodem. Credits: Ramalho et al., 2015, deel van fig. 1. American Geophysical Union.



▲ Afb. 5. Ponta de São Lourenço, de oostelijke uitloper van Madeira.

miljoen jaar oude oceaankorst) over dezelfde hotspot, die ruim 70 miljoen jaar geleden actief werd en verantwoordelijk is voor een bijna 1000 km lange keten van seamounts in NO-richting, tot aan de Serra de Monchique op het vasteland van Portugal (afb. 4). Gerekend vanaf Porto Santo creëerde de hotspot de seamounts Seine (22 Ma), Ampère (31 Ma), Coral Patch (31 Ma) en Ormonde (67–65 Ma), met dus mogelijk het oudste vulkanische complex van deze reeks in het westelijk deel van de Algarve. De nog steeds actieve hotspot bevindt zich op dit moment waarschijnlijk onder een seamount ten zuidwesten van Madeira, die 500 m onder zeeniveau ligt (Geldmacher, 2000).

Omdat Porto Santo, dat gelegen is op een uitgestrekt submarien plateau, veel ouder is dan Madeira, heeft erosie een veel grotere invloed op de vorming van het huidige landschap gehad. In dit artikel komen enkele geologisch interessante Geolocaties (GL) op Porto Santo aan bod, die op de geologische kaart zijn aangegeven (afb. 3, GL1 t/m GL7).

### De eolianieten van Fonte da Areia

Rondom Porto Santo ontwikkelde zich vanaf het Mioceen een uitgestrekt kalkplatform in de tropische wateren. Toen de zeespiegel tijdens de Pleistocene ijstijden sterk daalde (en mogelijk ook als gevolg van tektoniek en isostasie), kwam het kalkplatform droog te liggen. De als gevolg van erosie gevormde kalkkorrels werden door de overwegend noordelijke en noordwestelijke winden getransporteerd naar het centrale deel van het eiland, waar zij nu bij Fonte da Areia (GL1) als versteende duinen (eolianieten) aan het oppervlak liggen (afb. 7AB). Op sommige plaatsen zijn de zandafzettingen tientallen meters dik, met fossielen van slakken en plantenwortels (afb. 8); ze komen uit een periode met een natter klimaat, zo'n 30.000 jaar geleden.

De duinformaties bij Fonte da Areia en het strandzand waren eeuwen geleden al onderwerp van studie



▲ Afb. 6. Ilhas Desertas vanuit het vliegtuig. Van zuid naar noord (links naar rechts): Bugio, Deserta Grande (13 km lang) en Ilhéu Chão, het jongste eilandje. Foto: UNiesert via Wikimedia Commons/ Publiek domein.

onder gefascineerde geologen en natuuronderzoekers van het eerste uur! Madeira was tijdens het Victoriaanse tijdperk een geliefd oord voor Britten en andere West-Europeanen om te overwinteren, met of zonder doktersbriefje, en ook Porto Santo werd bezocht. Op oude foto's is te zien hoe de bezoekers op de rug van eilanders vanuit bootjes naar het strand worden gedragen, om droge voeten te houden.



7A



7B

◀ Afb. 7A. Eolianieten bij Fonte da Areia: al dan niet geconsolideerde zandduinen die een derde van het eiland bedekken en tijdens een periode van lage zeespiegelstanden door erosie van het nabijgelegen droogliggende rif werden gevormd. Bij Fonte da Areia bereiken de sedimenten een maximale dikte van 40 m. Winderosie veroorzaakte de grillige vormen.

◀ Afb. 7B. Eolianieten met de jongste toppen op de achtergrond: Pico Juliana (links, 440 m) en Pico do Facho (met meteorologische radar, 517 m). Een deel van het versteende duin moest in 1960 wijken voor de aanleg van de pal noord-zuid gelegen (militaire) landingsbaan.



▲ Afb. 8. Gefossiliseerde plantenwortels in de eolianieten, rond 30.000 jaar oud, herinneren aan een natter klimaat en een veel rijkere vegetatie dan tegenwoordig. De huidige bomen (uit Syrië geïmporteerde dennen) zijn allemaal aangeplant, met als doel erosie tegen te gaan.



▲ Afb. 9. Het zandstrand, 9 km lang, is tijdens het Holoceen gevormd uit de noordelijker gelegen geërodeerde zandduinen.

► Afb. 10. A. Zandmonster uit placer. BB 12 mm. B. Uitvergroting van A. BB 5 mm. C. Zandmonster waarbij de sortering minder is (delen nog ongelijker van grootte). Met name de schelpdelen/kalkdelen zijn nog duidelijk herkenbaar. BB 12 mm. Fotografie: Ap Bernhart.



De duinformaties werden in 1864 voor het eerst gedateerd door Hartung onder invloed van de beroemde geoloog Lyell (zie verderop in dit artikel) op Plio-Pleistocene ouderdom (Mitchell-Thomé, 1976). Toen later bleek dat fossielen van landslakken van deze locatie niet uitgestorven waren, corrigeerde Hartung de datering naar Kwartaire ouderdom.

### Het zand van Porto Santo

Deze duinen zijn op hun beurt weer de bron geweest van de zandafzettingen aan de zuidkust van het eiland (GL2, afb. 9). Het kalkzand bestaat uit fragmenten van schelpen, koralen en kalkalgen en is via afstroom van regenwater aan de gehele zuidkant van het eiland terechtgekomen. Voor een vulkanisch eiland is de aanwezigheid van dit 9 km lange zandstrand langs vrijwel de gehele zuidkust uniek. Het zandstrand is een populaire toeristische bestemming en was vroeger zelfs een bekende plek voor “zandtherapie”.

De werkgroep Zand van GEA motiveerde mij om zandmonsters op het bijzondere strand van Porto Santo te nemen. Ap Bernhart van de Werkgroep Zand heeft verschillende zandmonsters gefotografeerd en bekeken. Bernhart: “Al het zand uit de monsters is van gemengde oorsprong, d.w.z. dat het bestaat uit mineralen én kalkresten van o.a. schelpen en dus een gemengde kristallijne en biogene samenstelling heeft. Wat ook opvalt is dat de erosie bij alle monsters even groot is en de meeste korrels zelfs een gepolijst uiterlijk hebben, wat een gevolg is van de sterke golfslag en branding.”

Bernhart: “In het zandmonster (afb. 10A en B) is de verhouding licht gekleurde en donker gekleurde korrels haast fifty-fifty, omdat het vergeleken met de andere zandmonsters (afb. 10C) meer donkere korrels (lava/obsidiaan) bevat. Aangezien het vulkanisch materiaal een groter soortelijk gewicht heeft dan de rest van het materiaal, is er meer kracht voor nodig om dit op het strand af te zetten. Na een storm of bij een sterke branding heeft de golf kracht genoeg om het af te zetten, maar





Vooral aan de noordzijde is vanwege de dominante noordwinden het eiland omgeven door een 50-100 meter diep gelegen abrasieplatform, dat zich tot 18.000 jaar geleden heeft gevormd, tevens de bron van eerdergenoemde sedimentaire afzettingen (Ribeiro et al., 2010). De zeespiegel lag toen 130 meter lager dan nu. Voor Porto Santo betekende dit dat de oppervlakte boven zeeniveau destijds wel vijfmaal groter moet zijn geweest dan de huidige oppervlakte van 42 km<sup>2</sup>.

◀ Afb. 11. Placers op het strand, eveneens de bron van zandmonster 10AB.

de zwakkere terugvloedgolf heeft niet meer de kracht het mee terug te nemen. Het blijft dan vaak als donkere vlekken en/of strepen op het strand achter.”

Monster 10AB was dan ook een zandmonster genomen langs de vloedlijn, uit een zogeheten *placer*: een secundaire afzetting van geconcentreerde zwaardere mineralen, die vaak in mooie, opvallende patronen aanwezig is (afb. 11).

In de oudheid was het zandstrand een plek waar schepen eenvoudig voor anker konden gaan, een reden ook dat het eiland veelvuldig door piraten werd belaagd. De bewoners vluchtten dan naar het noordelijke deel, dat qua geologie het oudste deel van Porto Santo is (GL3, afb. 12 en 13).

### De basaltzuilen van de Ana Ferreira

Eén van de karakteristieke toppen van Porto Santo is de Pico de Ana Ferreira (GL4, afb. 14 en 15, zie ook afb. 2), in het zuidwesten. Hier ligt een oude steengroeve waar basaltzuilen werden gewonnen (mugeariet, basalt van trachitische samenstelling), een activiteit die de vorm van de top mede heeft bepaald.

Basaltzuilen, hier gevormd in een gang of als diepe opvulling van een kraterpijp, ontstaan door krimpings tijdens de afkoeling van magma. De trachiet vormde zich hier tussen 12,7 en 12,5 miljoen jaar geleden; het (verdwenen) omringende gesteente maakte deel uit van een omvangrijk sterk geërodeerd vulkanisch complex. In 2009 kreeg de groeve de status van Geomonument.



12

◀ Afb. 12 en 13. De oudste geologische formaties op Porto Santo liggen in het noorden. Op de voorgrond een ruïne en verlaten landbouwterrasen; op de top van afb. 12 een historische walvisuitkijkpost.



13

► Afb. 14 en 15. Basaltzuilen in de oude steengroeve in de Pico Ana Ferreira, nu een Geomonument.



### Ilhéu de Baixo

Ilhéu de Baixo (GL5, afb. 16 en 17) was tot het Plioceen met Porto Santo verbonden. Het wordt ook wel Ilhéu da Cal genoemd, letterlijk “kalkeiland”. Vanaf de 18<sup>e</sup> eeuw werd er kalksteen gewonnen, dat in de bouw en landbouw werd toegepast. Hoewel de kalkwinning sinds een jaar of veertig is gestopt, zijn de uitgehakte exploitatiegangen nog te zien (afb. 18). Meer dan 10.000 kubieke meter kalksteen (calcareniet) werd handmatig gewonnen in de Blandy Brothers-mijn, in het zuiden van het eilandje (Gudveig Baarli, 2013). Het calcareniet, een carbonaatvariant van zandsteen, is afkomstig van een 15,2 miljoen jaar oud rif van rode algen en andere mariene afzettingen, gelegen op submariene gevormde vulkanische afzettingen.

Ook Ilhéu de Baixo werd door Lyell en Hartung bezocht, en zij verbaasden zich over het op tuf gelegen kalkrif (Wyse Jackson, 2007):

► Afb. 16. Ilhéu de Baixo vanaf het uitkijkpunt Miradouro das Flores, in het uiterste zuiden.





◀ Afb. 17. Ilhéu de Baixo (zuidoostpunt).



### Duurzame daken bij Serra de Dentro

Echt duurzaam is de dakbedekking van de traditionele huizen op het eilandje: een laag van bentoniet, waarmee daken waterdicht worden gemaakt. Bentoniet is een submariene vulkanische as (tuf) die tot kleilig materiaal is verweerd. Het wordt lokaal onder meer gewonnen in de bergen in de omgeving van Serra de Dentro (GL7, afb. 21). Na periodes van heftige regen, moet er opnieuw bentoniet worden aangebracht. Ook tegenwoordig wordt het soms nog op het eiland als dakbedekking gebruikt (afb. 22).

◀ Afb. 18. Met de hand uitgehakte gangen in de gesloten mijn op Ilhéu de Baixo. Bron: Ferreira, 2014, <https://geodiversidade.madeira.gov.pt/geos-sitios/porto-santo/41-ilheu-da-cal.html>. With kind permission.

*At the beginning of January 1854, Lyell and Hartung spent three days on the island of Porto Santo, thirty miles NE of Madeira, to which they sailed in the British warship HMS St Jean d'Acre through the kindness of its captain. Porto Santo was a volcanic island, formed much like Madeira by volcanic eruptions on land. On the small island of Baixo off the west end of Porto Santo, they found a fossil coral reef, resting on volcanic tuff. Baixo provided clear evidence of the elevation of formerly submarine volcanic rocks.*

### Tot slot

Porto Santo is een verrassing voor geologisch geïnteresseerden. De geologische fenomenen zijn er op korte afstand van elkaar te zien en bovendien goed bereikbaar. Als dagtrip vanaf Madeira is een reisje naar Porto Santo goed

### Kleurige Morenos

Eveneens aan de westpunt is bij Morenos (GL6, afb. 19 en de achterplaat) een kleurrijk schouwspel van pyroclastische afzettingen te bewonderen. In deze ontsluiting, langs de steile kust, is vulkanisch gesteente uit zowel submariene als subaerische periodes te zien, die worden doorsneden door gangen van basalt en trachiet, soms met zuilvorming (afb. 20). De gangen van het hardere gesteente behoeden de kliffen van pyroclastisch sediment voor snelle erosie (Ribeiro et al., 2010).



◀ Afb. 19. Morenos: kliffen met kleurrijke pyroclastische sedimenten doorsneden door gangen. Met uitzondering van het zuidelijke zandstrand heeft Porto Santo een steile en ontoegankelijke kust.



◀ Afb. 20. Detail van afb. 19. Horizontale lavaflows, verticale gangen (dikes) en basaltzuilen in het klif bij Morenos.

► Afb. 21. Serra de Dentro, met ontsluitingen van bentoniet, een uit submariene vulkanische tuf verweerde klei.



▲ Afb. 22. Waterdichte dakbedekking met bentoniet was vooral vroeger populair op het eiland.

te doen, maar er overnachten en de tijd te nemen dit eiland te verkennen, is natuurlijk aan te raden. Een uitgebreid overzicht van tien *Geosites*, met toelichting in het Engels en voorzien van gedetailleerde kaarten, is te raadplegen op een website van de overheid van Madeira: [geodiversidade.madeira.gov.pt/en/geosites/porto-santo.html](https://geodiversidade.madeira.gov.pt/en/geosites/porto-santo.html).

### Dankwoord

Hierbij wil ik Frank Beunk (VU) en Bert Boekschoten (VU) bedanken voor hun commentaar. Veel dank aan Jan Heutink voor het maken van de geologische kaart.

*Alle foto's zijn van de auteur, tenzij anders vermeld.*

### Bronnen en meer lezen

- Bert Boekschoten en Hanneke Meijer (2010). Zeilen naar fossielen. In *Gea* 43/1. Online te lezen via [natuurtijdschriften.nl/pub/442193](https://natuurtijdschriften.nl/pub/442193).
- Baarli, B.Gudveig, Mário Cachão, Carlos M. da Silva, Markes E. Johnson, Eduardo J. Mayoral, Ana Santos, (2013). A Middle Miocene carbonate embankment on an active volcanic slope: Ilhéu de Baixo, Madeira Archipelago, Eastern Atlantic. *Geological Journal*, 49, 90–106. ISSN 0072–1050.

eISSN. <http://dx.doi.org/10.1002/gj.2513>.

- Michael Czajkowski, Nottingham University, Excursion guide 15. A geological tour of the islands of Madeira and Porto Santo, Blackwell Science Ltd, *Geology Today*, Vol. 18, No. 1, 2002.
- Ferreira, M.P., Macedo, C.R. & Ferreira, J.F., 1988. K-Ar geochronology in the Selvagens, Porto Santo and Madeira islands (Eastern Central Atlantic): A 30 m.y. spectrum of submarine and subaerial volcanism. *Lunar Planetary Institute Abstracts* 19, 325–326.
- Ferreira, M.R. (2014). Património Geológico da Ilha do Porto Santo e Ilhéus Adjacentes (Madeira): Inventariação, Avaliação e Valorização como Contributo para a Geoconservação. Dissertação de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos. Departamento de Geociências da Universidade dos Açores. In: <https://geodiversidade.madeira.gov.pt>.
- Geldmacher, J., Bogaard, P. v. d., Hoernle, K. & Schmincke, H.-U., 2000. The  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age dating of the Madeira Archipelago and hotspot track (eastern North Atlantic). *Geochem. Geophys. Geosyst.* 1, GQ000018.
- Mitchell-Thomé, R.C. (1976). *Geology of the Middle Atlantic Islands*. Stuttgart: Borntraeger, Beitr. Reg. Geol. Erde, Vol. 12.
- Ramalho, R. S., A. Brum da Silveira, P. E. Fonseca, J. Madeira, M. Cosca, M. Cachão, M. M. Fonseca, and S. N. Prada (2015), The emergence of volcanic oceanic islands on a slow-moving plate: The example of Madeira Island, NE Atlantic, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, American Geophysical Union, 16, doi:10.1002/2014GC005657.
- Região Autónoma da Madeira (2013). *As Ilhas Desertas* (tweetalig). Lees online via [issuu.com/parquenaturalmadeira/docs/ilhasdesertas](https://issuu.com/parquenaturalmadeira/docs/ilhasdesertas).
- Ribeiro, Maria Luisa & Miguel Magalhães Ramalho (2010). A Geological tour of the Archipelago of Madeira, Main geo-touristic sites. Direcção Regional do Comércio, Indústria e Energia Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P. Lissabon, 2010.
- Wyse Jackson, Patrick N. (ed.) (2007). *Global peregrinations: four centuries of geological travel*. Geological Society, London, Special Publications, 287, <https://doi.org/10.1144/SP287.1>.