

## **MONITORIZAÇÃO E VIGILÂNCIA SÍSMICA NOS AÇORES PERSPETIVAS FUTURAS**

Matilde Silva <sup>(1)</sup>, Fernando Carrilho <sup>(2)</sup> & Covisa Team<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto Português do Mar e da Atmosfera (Delegação Regional dos Açores), matilde.silva@ipma.pt

<sup>(2)</sup> Instituto Português do Mar e da Atmosfera, Rua C do Aeroporto (Lisboa), fernando.carrilho@ipma.pt

### **1- Introdução**

O Arquipélago dos Açores localiza-se na área de confluência de três placas litosféricas: a placa Americana, a placa Euroasiática e a placa Núbia ou Africana. Devido a este enquadramento, é uma região de elevada sismicidade, de origem tectónica ou associada a fenómenos vulcânicos, que importa monitorizar.

Neste âmbito, faz parte da estrutura orgânica do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) a Divisão de Geofísica (DivGE), destacando-se as seguintes competências:

- Proceder à vigilância sísmica do território nacional, elaborar e difundir avisos e alertas sempre que necessário;
- Proceder à vigilância de tsunamis no território nacional, elaborar e difundir informação apropriada para o sistema de proteção civil;
- Promover a manutenção, a calibração e o eficiente funcionamento dos sistemas de medição sísmica e geomagnética, e o processamento, difusão, gestão e disponibilização da informação recolhida;
- Assegurar a participação nacional nas redes de observação sísmica e geomagnética, europeias e globais;
- Assegurar a representação nacional e internacional nas áreas da sua competência, nomeadamente da geofísica;
- Integrar sistemas de alerta precoce de tsunamis e exercer as funções de Ponto Focal Nacional para o sistema de alerta do Atlântico Nordeste, Mediterrâneo e Mares Conexos;
- Assegurar a ligação operacional com a Autoridade Nacional de Proteção Civil nos domínios da geofísica da sua competência;
- Definir normas, métodos de observação e processamento nas áreas da monitorização geofísica, assegurando o seu cumprimento;
- Assegurar a assessoria técnico-científica à autoridade nacional para o tratado de proibição de testes nucleares (CTBTO), nas áreas das tecnologias de forma de onda, mantendo o Centro Nacional Dados (NDC);
- Coordenar tecnicamente, no domínio da geofísica, as atividades da Delegação Regional dos Açores e prestar apoio na sua execução;
- Certificar a ocorrência de fenómenos geofísicos e emitir pareceres técnicos nas suas áreas de competência;

## 2- Ambiente Geodinâmico

O ambiente geodinâmico do Arquipélago dos Açores confere-lhe uma sismicidade elevada em termos de frequência, no entanto, a generalidade dos sismos são de baixa magnitude (até  $ML < 4$ ) (figura 1).

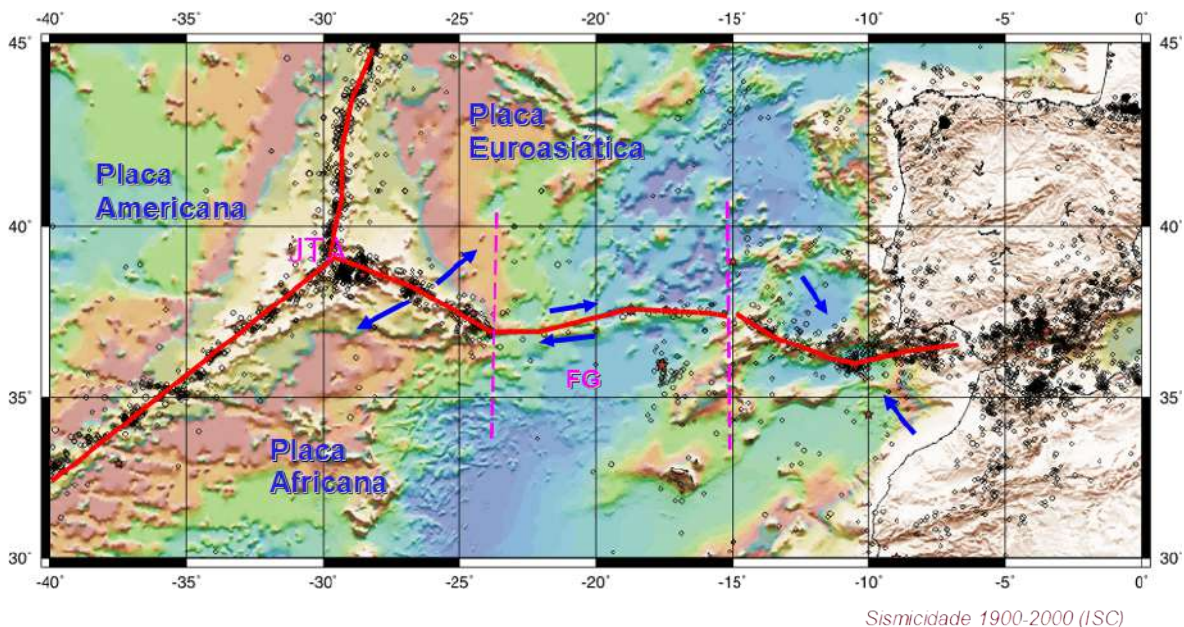


Fig. 1 - Enquadramento geodinâmico do arquipélago dos Açores.

## 3- Instalações e redes sísmicas

O IPMA tem vindo a modernizar e ampliar a rede sísmica nos Açores, o sistema de comunicações, a melhorar os métodos de análise e os procedimentos de modo a permitir a divulgação dos parâmetros sísmicos com mais celeridade e maior precisão.

A vigilância sísmica da região dos Açores é feita, em modo complementar, em três polos, no Observatório Afonso Chaves (S. Miguel), no Observatório José Agostinho (Terceira) e no Observatório Príncipe Alberto do Mónaco (Faial), com recurso a 49 estações sísmicas.

A rede sísmica do IPMA nos Açores é uma rede com estações sísmicas digitais de curto período, curto período estendido e de Banda Larga, 12 das quais têm sensores acelerométricos em complemento (permite ter informação instrumental de qualidade e sem saturar em eventos de maior magnitude).

A rede é reforçada por estações de entidades parceiras como a rede internacional IDA (International Deployment of Accelerometers) com a estação CMLA, o IGN (VPORT) e UAC (SET3) e 15 estações acelerométricas, instaladas em parceria com o IST, que permite melhorar as diversas componentes do tratamento da informação sísmica digital com consequências práticas como encurtar os tempos de alerta após ocorrência de um sismo com maior precisão da informação divulgada, permitir o desenvolvimento de Shakemaps.

## 4- Protocolos de colaboração

Para além da sua função na vigilância sísmica regional e nacional, onde é componente essencial no processo de certificação das ocorrências sísmicas em todo o território nacional, e ainda internacional em particular no âmbito do Atlântico Norte, o IPMA tem colaboração com várias entidades nacionais e internacionais, quer na operação e manutenção de estações sísmicas, quer na disponibilização de dados, tais como o IST (Instituto Superior Técnico), a rede IDA (International Deployment of

Accelerometers), a comissão CTBTO (Commission for the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization), e o sistema internacional de alerta precoce de tsunamis, em particular o do Atlântico Nordeste, Mediterrâneo e Mares Conexos no âmbito da Comissão Oceanográfica Intergovernamental (NEAMTWS -North-East Atlantic and Mediterranean Tsunami Warning System).

Toda a informação dos parâmetros sísmicos e as leituras das fases para eventos com magnitude local  $ML \geq 3$ , sismos sentidos e telessismos, é enviada para o CSEM (European-Mediterranean Seismological Centre) após o processamento automático, ser revisto manualmente.

A informação sísmica mensal é revista e enviada para o ISC (Internacional Seismological Centre).

## 5- Monitorização sísmica

Para uma eficiente vigilância sísmica, e para além dos sistemas de visualização habituais, é utilizado um sistema de deteção automático baseado na razão STA/LTA (relação média de curto período/média de longo período) do registos das estações (SeiscomP/Data\_extract), e um sistema de monitorização de parâmetros sísmicos de várias agências que permite a ativação de alertas audio e texto, exportação para o SEISAN, cálculo dos tempos de percursos teóricos das ondas volúmicas, ondas superficiais e ondas T (*Monparsi*). A operacionalidade das estações é monitorizada através de um sistema que permite controlar a latência dos dados e ainda diagnosticar o estado das estações (tensão nas baterias; relógio interno; posição das massas dos sensores; etc) (figura 2).



### OAC - Ponta Delgada - COVISA

Real-time stations

Station	Latencies		
	Data	Feed	Diff.
PM PIRA	2.2 m	28.2 m	2.9 m
PM HOB	2.7 m	89.8 m	94.9 m
PM ANH	2.4 m	89.8 m	81.2 m
PM FEI3	2.3 m	--	--
PM FMA2	2.2 m	--	--
PM FEZ	2.2 m	--	--
PM FEV	2.3 m	--	--
PM FHO2	2.1 m	--	--
PM FPA	2.0 m	19.8 m	100.8 m
PM FLA2	117.0 m	--	--
PM PPOV	102.0 m	--	--
PM FOVA	96.0 m	--	--
II OMLA	96.0 m	[eh50]	[eh80]
PM HRC	89.7 m	8.9 m	84.8 m
PM FRO	89.0 m	--	--
PM FMA	80.7 m	1.5 m	79.2 m
PM FPI2	87.0 m	--	--
IM HO7B1	26.8 m	7.8 m	19.0 m
IM HO7B1	26.8 m	7.7 m	19.1 m
PM SHAM	20.5 m	14.1 m	6.3 m
PM FVA2	14.3 m	7.6 m	6.7 m
PM FCAN	12.9 m	6.4 m	6.5 m
PM FOL2	9.9 m	9.7 m	6.2 m
PM CALA	9.9 m	4.2 m	5.7 m
PM FASU	9.8 m	3.6 m	6.2 m
PM FESTA	9.5 m	4.4 m	5.0 m
PM ROSA	8.7 m	4.3 m	4.4 m
PM FICO	8.2 m	8.2 m	0.0 m
PM FRET	7.9 m	2.6 m	5.3 m
PM FPM2	7.6 m	1.2 m	6.4 m
PM FBO2	6.1 m	2.4 m	3.7 m
PM FIC2	6.0 m	--	--
PM FBA	5.8 m	9.5 m	2.8 m
PM FCO2	4.0 m	--	--
PM BARE	3.9 m	2.0 m	1.9 m
PM FCAF2	3.0 m	--	--
II OMLA	2.0 m	[eh10]	[eh10]
PM FID	2.4 m	1.6 m	0.8 m
PM FRO2	2.4 m	0.7 m	1.7 m
PM FCE2	2.0 m	1.3 m	0.7 m
PM FBO2	1.9 m	1.1 m	0.8 m
PM FMAN	1.8 m	0.9 m	0.7 m
PM FMO2	0.2 m	--	--

### IPMA, NDC Portugal StatOH Monitor

Estacao	Data/Hora	Bateria(V)	Off-set(Us)	Deriva(Us)	Massas(%)	Temp(C)
PBSF	2017-09-27 15:09:52	14.2	212	-17.0	8.4	21.9
SAPT	2017-09-27 14:50:00	12.2	0	0	0	23.0
PBO2	2017-03-27 15:04:59	13.9	111	0.0	0.0	19.9
PCAL2	2017-09-27 16:14:58	13.9	270	0.0	-1.1	21.7
FEET (S)	2017-09-27 15:18:16	13.9	236	-14.0	-11.9	19.0
FRO2	2017-05-27 15:13:58	13.9	232	12.0	0.0	16.4
FEON (S)	2017-09-27 14:57:00	13.1	0	0	0	23.0
ROSA	2017-03-27 15:15:00	12.4	221	0.0	17.0	19.0
PRA2	2017-03-27 14:56:00	13.5	221	0.0	13.14	20.3
PORA (S)	2017-03-27 13:58:06	12.2	0	0	13.14	20.3
FIC (S)	2017-03-27 14:56:00	14.2	0	0	0	21.9
FRO (S)	2017-03-27 14:56:00	13.9	0	0	0	24.2
FICO (S)	2017-03-27 15:13:58	13.3	288	1.0	9.15	20.8
PPRO (S)	2017-03-27 15:06:05	13.3	0	0	0	24.2
FCO2	2017-03-27 15:02:00	13.4	0	0	0	20.8
CALA (S)	2017-01-31 10:15:00	16.9	104811	0	0	23.2
PBRA (S)	2017-09-26 12:19:00	13.9	0	0	0	21.9

Código:

atrasado normal proximo do critico valor critico erro GPS sem dados

Fig.2 - Sistemas de visualização

## 6- Aquisição e processamento dos dados sísmicos

Com a melhoria das comunicações com transmissão digital de maior qualidade, a receção dos dados é feita em tempo quase-real. A qualidade destes dados permite a implementação de processos semiautomáticos, que vão desde a deteção sísmica até à localização hipocentral e avaliação da magnitude (figura 3) (Carrilho *et al.*, 2021).

Devido às características geográficas do arquipélago esta informação tem que ser sempre revista e validada pelo operacional de serviço, mas permite celeridade na divulgação de informação com interesse para a população, através do Serviço Regional de Proteção Civil e Bombeiros dos Açores (SRPCBA), da Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC) e através dos produtos de divulgação da informação em tempo útil (minutos depois).

São publicados no portal web do IPMA (e na aplicação sismo@IPMA) todos os eventos registados pela rede sísmica da Delegação Regional dos Açores com  $ML \geq 2$  e são disponibilizadas as fases para as agências internacionais para eventos com  $ML \geq 3$ .

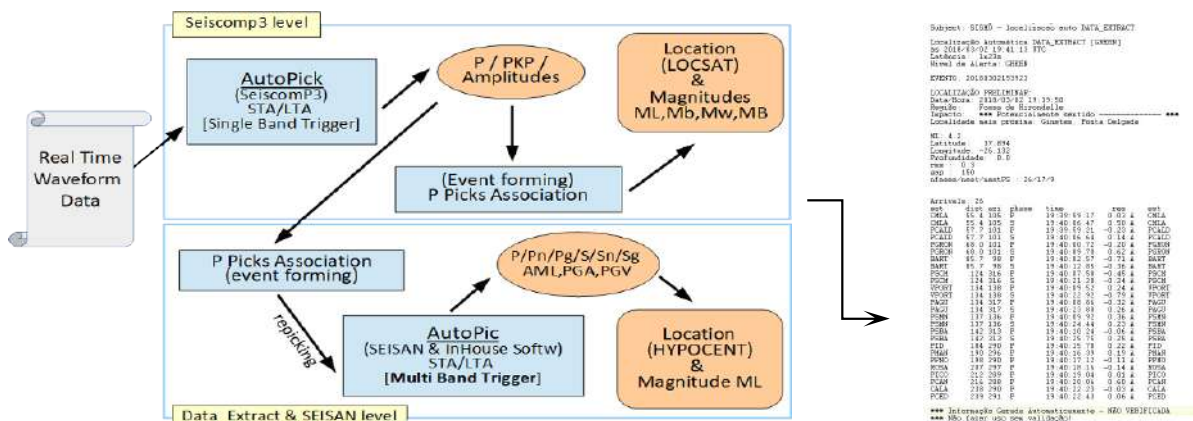


Fig. 3 – Sistemas semiautomáticos de aquisição e processamento de dados que funcionam na Delegação Regional dos Açores

## 7- Avisos e comunicados

Baseado no historial da macrossísmica e na sismicidade instrumental do arquipélago, estabeleceram-se valores de ML em função da distância do epicentro à população mais próxima, a partir dos quais um evento pode ser sentido pela população. Isto permite, após a análise preliminar do evento, saber se é possível que seja sentido e se assim for, é enviado um aviso para o sistema de proteção civil (ANEPC e SRPCBA) (figura 4). Depois faz-se o tratamento da informação macrossísmica recebida, através do inquérito online no portal do IPMA e/ou pelos contactos telefónicos obtidos (para completar a informação recebida).

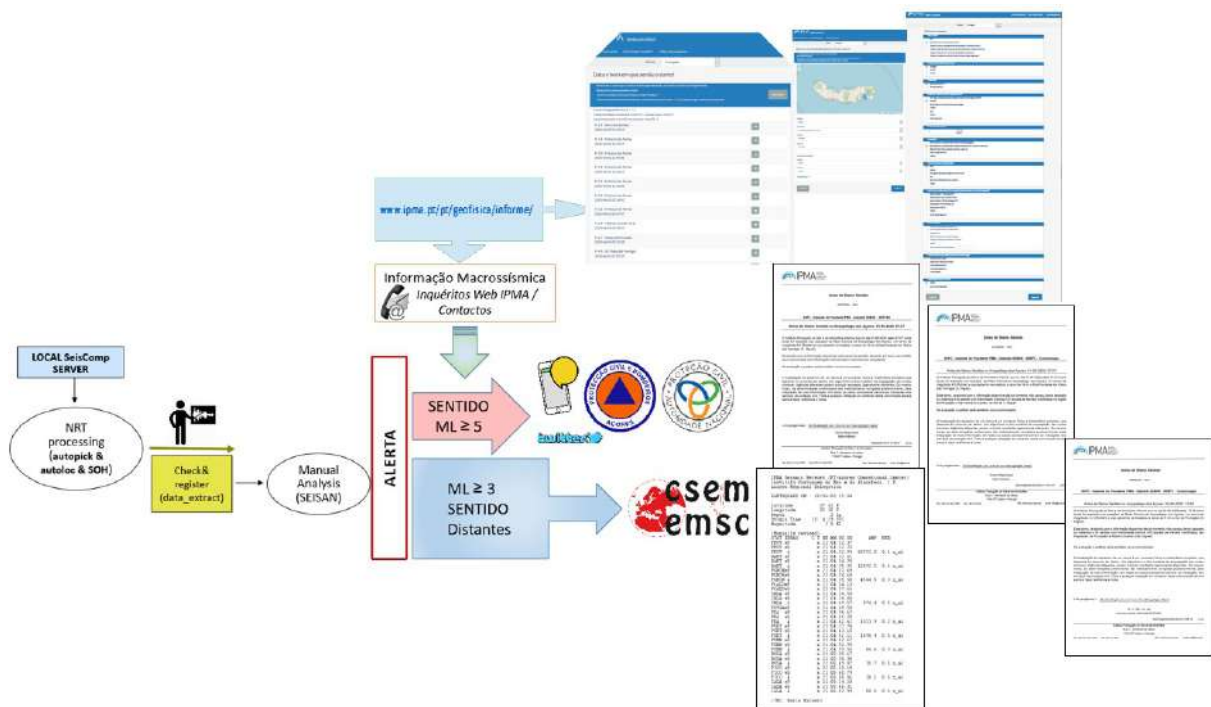


Fig. 4- Esquema dos procedimentos de disseminação da informação e comunicados.

Para cada evento é publicada a localização epicentral e respetivos parâmetros no portal do IPMA e enviada para as agências internacionais a informação manualmente revista.

Se há confirmação de que o sismo foi sentido é enviado um segundo comunicado com a informação da localização epicentral, a magnitude local (ML) e a distribuição de intensidades atribuídas com base na informação macrossísmica recolhida.

## 8- Divulgação dos dados sísmicos

Os dados da sismicidade são publicados no portal do IPMA e na aplicação sismo@IPMA (eventos sentidos e/ou com  $ML \geq 2$ ). O IPMA publica toda a informação de sismicidade dos Açores nos boletins preliminares mensais. Esta informação fica disponível ao público no portal de Internet, sendo também enviada para as agências de informação sísmica que compilam a informação de todas as agências creditadas mundialmente (figura 5).

São também, disponibilizadas no portal da Internet publicações não periódicas, tais como relatórios técnicos com informação de um determinado evento sísmico (relevante pela sua magnitude ou pela sua intensidade), com a localização epicentral, profundidade focal, magnitude, mecanismo focal e Shakemap.

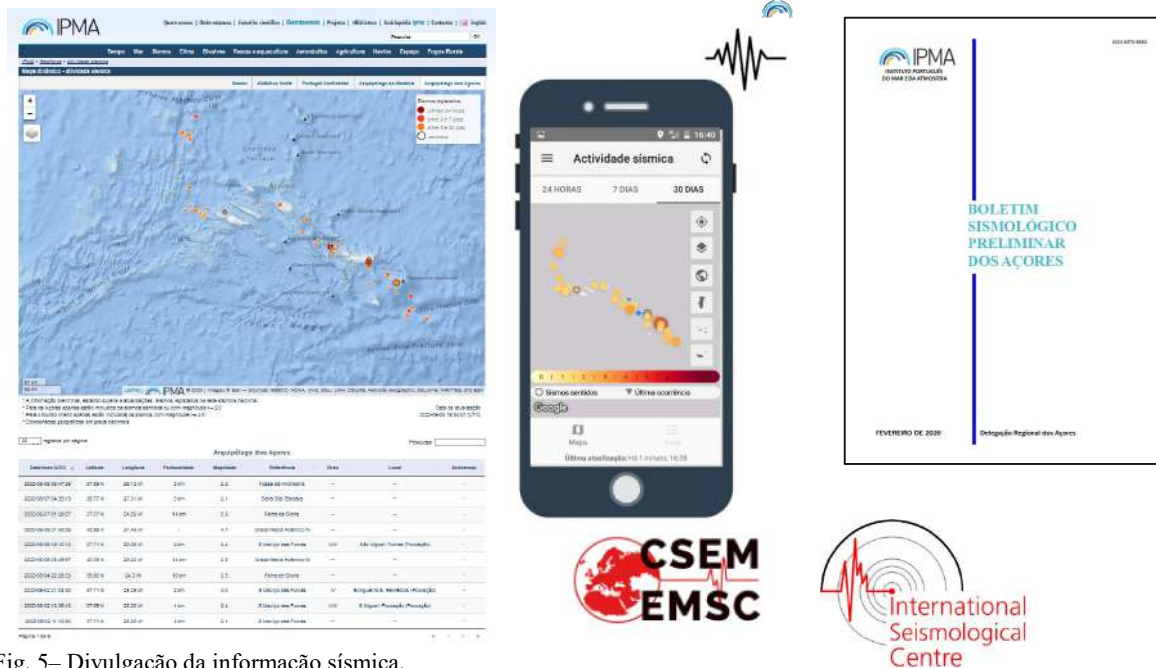


Fig. 5– Divulgação da informação sísmica.

## 9- Perspetivas futuras

Reforço da equipa técnica que assegura a vigilância e monitorização sísmica, tendo em conta vários aspetos, em particular os relacionados com o extraordinário aumento do volume de informação a processar.

Melhoria na qualidade e na redundância dos sistemas de transmissão de dados, em particular adotando mais acessos via satélite (VSAT).

Melhoria e reforço da rede já existente, a ser feita em diversas frentes. Em primeiro lugar vários dispositivos de monitorização apresentam alguns constrangimentos decorrentes da tecnologia utilizada ser já mais antiga. Num segundo nível há que ver a questão da deficiente cobertura azimutal da rede sísmica baseada em instrumentos instalados em terra, devido às limitações decorrentes da exiguidade de "terrenos" emersos (ilhas), sendo necessário dispor de instrumentação em zonas submersas. Esta monitorização pode ser conseguida com recurso aos cabos de telecomunicações existentes e que venham a existir.

Nos cabos já existentes, existe já uma tecnologia desenvolvida, DAS (Distributed Acquisition Sensing), a qual permite sensorizar os primeiros 50km de cabo após a estação de amarração, sendo uma possível solução para algumas (não todas) zonas sismogénicas da Região. Mas a grande melhoria pode decorrer do aproveitamento da atualização do anel CAM (Continente-Açores-Madeira), sendo expectável que o mesmo seja equipado com tecnologia SMART, ou seja, com instalação de sensores sísmicos/acelerométricos nos repetidores dos cabos (tipicamente distanciados de 70km). Esta tecnologia permitirá uma melhoria na qualidade das localizações epicentrais, diminuindo o risco de falsos alertas, bem como no alerta precoce de tsunamis com um ganho no tempo de deteção, permitindo uma validação antecipada do alerta inicial e uma modelação em tempo útil (Matias, L. *et al* -2021).

## 10- Referências

- Instituto Português do Mar e da Atmosfera I.P.* (1980-2022), Base de dados de parâmetros sísmicos.
- Carrilho, F.* (2014), The Portuguese National Tsunami Warning Center, TsuMaMos - Málaga.
- Carrilho, F.; Custódio, S.; Bezzeghoud, M.; Oliveira, C.S.; Marreiros, C.; Vales, D.; Alves, P.; Pena, A.; Madureira, G.; Escuer, M.; Silveira, G.; Corela, C.; Matias, L.; Silva, M.; Veludo, I.; Dias, N.A.; Loureiro, A.; Borges, J.F.; Caldeira, B.; Wachilala, P.; Fontiela, J.* (2021). “The Portuguese National Seismic Network—Products and Services”. *Seismological Research Letters* – online, doi: [doi.org/10.1785/0220200407](https://doi.org/10.1785/0220200407).
- Havskov, J., and L. Ottemöller* (2005). SEISAN: The Earthquake Analysis Software, Department of Earth Science, University of Bergen, Bergen, Norway.
- Matias, L. et al* (2021) The contribution of submarine optical fiber telecom cables to the monitoring of earthquakes and tsunamis in the NE Atlantic. *Frontiers in Earth Science*. July 2021, Volume 9, Article 686296
- Silva, M.; Escuer, M.; Carrondo, L.; Marques, L.; Carrilho, F.* (2009) Revisão dos parâmetros de magnitude local para os Açores. 6º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG. Peniche (Portugal), 16 a 18 de Março de 2009 pp 86-90