



Sistema de monitoramento magnético, na banda ULF, de atividade sísmica e vulcânica para o complexo vulcânico Planchon-Peteroa, Argentina

Padovese, L. R.; LADIN, DEM, Escola Politécnica, USP
Bizutti, A.M.; LADIN, DEM, Escola Politécnica, USP;
Cavallaro, F. A.; DGSA, Instituto de Geociências, USP

Copyright 2010, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, Brasília, 14 a 17 de novembro de 2010. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do IV SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Resumo

Este artigo apresenta um sistema de monitoramento de atividades magnéticas na faixa ULF para sensoramento de atividades sísmicas-vulcânicas no Complexo Vulcânico Planchon-Peteroa, nos Andes argentinos. Particularmente visa-se a detecção de precursores a eventuais atividades mais fortes. São descritos o equipamento utilizado, desenvolvido no LADIN/USP, as condições de instalação e operação, bem como o âmbito institucional e cooperativo no qual o projeto se desenvolve.

Introdução

As primeiras campanhas sistemáticas de monitoramento magnético, tanto de atividades sísmicas quanto vulcânicas, iniciaram na década de 1990, quando as primeiras redes permanentes de monitoramento magnético começaram a serem instaladas (Park, 1997; Del Negro & Ferrucci 2000; Hayakawa et al, 2000; Del Negro et al, 2002). É do início desta década que a detecção de emissões ULF (do mHz a algumas dezenas de Hz) antecedendo fortes terremotos foram primeiramente e independentemente relatadas por Kopytenko (Hayakawa et al. 2000) e Frase-Smith (Frase-Smith et al., 1990).

Apesar de dezenas de trabalhos publicados, nas últimas duas décadas, sobre ocorrências de sinais ULF precursores de terremotos e atividades vulcânicas ainda há um certo grau de incerteza sobre suas condições de existência e detecção. Vários são os motivos que contribuem para essa incerteza: raridade de ocorrência desse tipo de eventos; poucas redes de monitoramento existentes; falta de repetibilidade pela impossibilidade de repetição do fenômeno ou pela não detecção simultânea por sistemas de sensoramento independentes; falta ou não utilização de ferramentas adequadas de processamento de sinais para detecção dos eventos; dificuldades de se separar eventos atmosféricos ou ionosféricos de eventos sísmicos ou vulcânicos, entre outros (Park, 1997, Zlotnicki et al. 2006; Kolar, 2010; Hayakawa et al 2007; Kotsarenko et al. 2005). De toda

maneira essas incertezas sobre o tema tende a diminuir na medida em que mais sistemas de monitoramento permanente são implantados e mais dados são coletados de uma maneira mais consistente.

O vulcão Planchon-Peteroa é um complexo vulcânico alongado, na fronteira andina Argentina-Chile (35°14'24"S, 70°34'12"W, 4107m), possuindo várias crateras (Figura 1). Tem estado ativo no tempo histórico, com predominância de atividades explosivas. As duas últimas erupções foram em 1998 (Vulcanic Explosive Index, VEI, 1) e em 1991 (VEI 2).

No lado argentino do vulcão há uma base de monitoramento mantido pelo nó argentino da Rede ICES (International Center for Earth Science). Esse centro é composto por 3 universidades italianas (Istituto di Acustica "O.M. Corbino", CNR, Roma Italia; "Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale" OGS, Trieste, Italia; "Osservatorio Sismologico", Università di Messina, Messina, Itália) e por algumas instituições argentinas (tais como Comisión Nacional de Energía Atômica - CNEA, Universidad de Cuyo e Municipalidad de Malargue).

Essa base de monitoramento já possui um conjunto de sensoramento de micro-sismos, baseados em sensores de Emissão Acústica, instalado pelo Istituto Corbino, Roma. A base também possui sistema de monitoramento de emissão de gases, da CNEA.

O presente trabalho apresenta o sistema de monitoramento magnético, a ser instalado na base Peteroa, para a campanha de 2011, a convite do diretor argentino do ICES. Os objetivos são três: estudar a possibilidade de detecção de precursores de atividades sísmicas e vulcânicas; analisar anomalias magnéticas durante essas atividades e obter uma base de dados sobre a atividade do sistema ionosférico na região.

Monitoramento de flutuações magnéticas

Tendo em vista a natureza do fenômeno monitorado, é necessário que este seja realizado de maneira contínua, permitindo a detecção de eventos precursores e também a caracterização da evolução do sinal de fundo. Uma boa caracterização do sinal de fundo contribui de maneira significativa à detecção e caracterização de eventos localizados no tempo, relacionados com precursores.

Um dos fatores de sucesso de detecção de precursoros, além da qualidade intrínseca dos sensores, é a não contaminação dos sinais por outras fontes naturais e/ou culturais. Tendo em vista as amplitudes dos sinais relacionados com precursoros, essa contaminação pode ser um problema sério, que algumas precauções podem minimizar (Johnston, 1997; Kotsarenko et al, 2007).

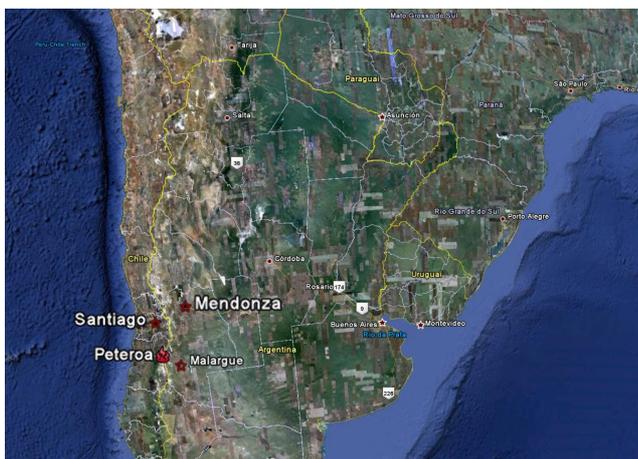


Figura 1. Localização do Vulcão Planchon-Peteroa

Fontes de flutuações magnéticas naturais, na faixa de frequência considerada no presente problema (mHz a algumas dezenas de Hz), são as perturbações magnéticas com origem na magnetosfera e ionosfera, devido à interação do vento solar com o campo magnético terrestre. Surge então a questão de como separar essas perturbações das originárias de atividades telúricas-vulcânicas. O método que será utilizado, no sistema Planchon-Peteroa, é o monitoramento simultâneo e geograficamente espaço com uma estação de referência, distante entre 100 e 200 km. Esta unidade de sensoramento fornecerá sinais de referência que possibilitam a decorrelação entre a atividade do sistema ionosférico e a de eventuais precursoros de atividades vulcânicas-sísmicas (Zlotnicki et al., 2000; Uyeda et al, 2002; Georgiadis et al. 2009).

A essa fonte de ruídos (entendido como tudo aquilo que não é informação pertinente) há possíveis contribuições de natureza mais localizada, e pertinente à base de referência. Fontes de ruído, relacionados com vento e ciclagem térmica diária, podem ser eliminados enterrando os sensores ou colocando-os em abrigos convenientes. Outras fontes possíveis são linhas de transmissão elétrica, indução magnética devido ao movimento do sensor por vibração (tráfego em estradas ou outras atividades mecânicas). Portanto, na escolha do local de instalação do sistema de monitoramento de referência, esses fatores têm de ser levados em conta. Uma boa caracterização de ruídos culturais inevitáveis pode abrir a possibilidade para sua redução via métodos filtragem (clássicos, adaptativos, clustering, entre outros) (Zlotnicki et al, 2000).

O sistema de monitoramento

O sistema de monitoramento magnético a ser instalado no Planchon-Peteroa foi desenvolvido integralmente pelo LADIN, Laboratório de Dinâmica e Instrumentação, da Escola Politécnica da USP. Serão instaladas duas unidades de monitoramento, um na base do Peteroa e outra, de referência, nas proximidades da cidade de Malargue, a 100km de distância.

O projeto das unidades de monitoramento foi realizado procurando otimizar seguintes características: baixo custo, facilidade de instalação, manutenção e replicação, modulariedade e conectividade para flexibilidade de uso. Com estas características, aumenta-se a viabilidade de implementação de uma rede de monitoramento eletromagnética mais ampla.

Para a campanha de medição de 2011 cada unidade de monitoramento é composta por um sistema vetorial magnético com três sensores magnéticos (componentes horizontais e vertical), na faixa ULF, 0,01Hz a 20Hz. Um dos componentes horizontais de campo magnético é alinhado com o campo magnético terrestre, e os demais ortogonalmente a ele. O sensor magnético é do tipo bobina, com alta sensibilidade, e com ruído de fundo da ordem de 0,01 nT rms. Cada unidade de monitoramento conta com dispositivo GPS para sincronização temporal entre unidades instaladas em locais diferentes (Figura 3).

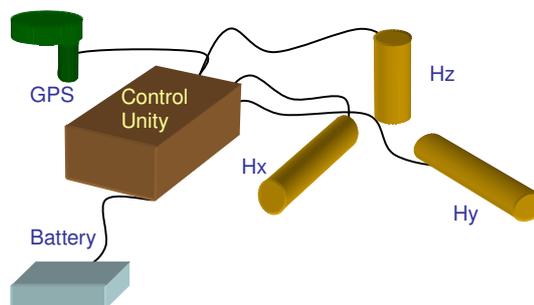


Figura 3. Unidade de monitoramento com 3 sensores magnéticos e GPS para sincronização temporal.

Os sensores da unidade Peteroa são alojados em uma câmara escavada em um pequeno maciço rochoso, enquanto que a unidade de controle está instalada em um container, conforme pode ser visto na Figura 4. Painéis solares e um conjunto de baterias fornece a energia para a instrumentação.

Devido aos rigores inverniais, todo o sistema de monitoramento está projetado para operar até -30°C . A unidade de controle tem capacidade de armazenamento de 16 Gb, para a campanha de 2011, sendo expansível em caso de necessidade. Pode operar com uma ampla gama de banda de frequências. Suporta dezenas de sensores dos mais variados tipos na banda ULF, além de até uma dezena de sensores na faixa de áudio (até 20kHz de banda passante). Por ser um sistema

computadorizado, possui capacidade de programação e cálculo mais simples, em tempo real. Desta maneira é possível implementar capacidade de alarme de ocorrência de eventos, comunicando uma equipe de operadores (em caso de disponibilidade de algum tipo de conexão de rede) sobre acontecimentos que necessitem análise mais pormenorizada.

Como o local tem acesso limitado a três meses ao ano (janeiro a março), devido às condições climáticas, e apesar de uma conexão por satélite estar em estudo de implementação para 2011 (o que possibilitaria a extração de dados ao longo do ano) a unidade de controle foi projetado com capacidade de armazenamento suficiente para um ano de operação, para 4 canais a uma taxa de amostragem de 50 Hz por canal.



Figura 4. Base de monitoramento no vulcão Planchon-Peteroa. Pode ser visto a câmara escavada num maciço rochoso, para abrigar os sensores, e um container para alojamento do resto da instrumentação, bem como os painéis solares para energia.

Uma vez concluído a fase de implementação do sistema de monitoramento Peteroa, está planejado o desenvolvimento de dois tipos adicionais de sensores, a serem incorporados futuramente no sistema de monitoramento: dipolos elétricos, para monitoramento de campo elétrico e infrasônico.

Discussão e Conclusões

Foi apresentado o sistema de monitoramento magnético, na banda ULF, para monitoramento de precursoros magnéticos e de atividades sísmicas e vulcânicas para o complexo vulcânico Planchon-Peteroa, na Argentina. O sistema de monitoramento é composto por duas unidades, uma no vulcão e outra distante 100km. O volume de dados gerados permitirá uma ampla variedade de estudos e análises em diversas áreas: estudo da dinâmica magnético do próprio vulcão, da ionosfera, desenvolvimento de métodos de processamento de sinais para detecção de anomalias associadas a precursoros, para citar apenas alguns.

Devido a essa diversidade e potencialidade de estudos os dados serão disponibilizados para o público, procurando incentivar a colaboração da comunidade científica e utilização em diversas atividades pesquisa multidisciplinar. Essa colaboração também é desejável na elaboração, implementação e gestão da base de dados informática, de sensores e na expansão da rede de monitoramento para uma escala nacional ou sul-americana.

Referências

- Del Negro, C. & Ferrucci, F.; 2000. Volcanomagnetic effects at Vulcano Island (Aelian archipelago, Italy); *Geophysics Journal International*; 140
- Del Negro, C.; Napoli, R.; & Sicali, A., 2002. Automated system for magnetic monitoring of active volcanoes, *Bull Volcanol*, 64
- Fraser-Smith, A.C.; Bernardi, A.; McGill, P.R.; Ladd, M.E.; Helliwell, R.A. & Villard, O.G.; 1990. Low-Frequency magnetic field measurements near the epicentre of the Ms 7.1, Loma Pireta Earthquake, *Geophysics Letter*; 17
- Johnston, M.J.S.; 1997. Review of electric and magnetic fields accompanying seismic and volcanic activity; *Surveys in Geophysics*, 18
- Georgiadis, P.; Cavouras, D.; Sidiropoulos, K.; Ninos, K. & Nomicos, C.; 2009. Remote monitoring of electromagnetic signals and seismic events using smart mobile devices; *Computers & Geosciences*; 35
- Hayakawa, M.; Kopytenko, Yu.; Smirnova, N.; Troyan, V. & Peterson, Th.; 2000. Monitoring ULF Magnetic Disturbances and Schemes for Recognizing Earthquake Precursors; *Phys. Chem. Earth (A)*, 25(3)
- Hayakawa, M.; Hatorri, K. & Ohta, K.; 2007. Monitoring of ULF geomagnetic variations associated with earthquakes; *Sensors*, 7
- Kolar, P.; 2010. Some possible correlations between electro-magnetic emission and seismic activity during West Bohemia 2008 earthquake swarm; *Solid Earth Discussions*.; 2
- Kotsarenko, A.; Molchanov, O.; Hayakawa, M.; Koshevaya, S.; Grimalsky, V.; Pérez Enríquez, R. & López Cruz-Abeyro, J.A.; 2005. Investigation of ULF magnetic anomaly during Izu earthquake swarm and Miyakejima volcano eruption at summer 2000, Japan; *Natural Hazards and Earth System Sciences*; 5
- Kotsarenko, A.; Grimalsky, V.; Pérez Enríquez, R.; Valdez-González, C.; Koshevaya, S.; López Cruz-Abeyro, J.A.; & Yutis, V.; 2007. Volcano Popocatepetl, Mexico: ULF geomagnetics anomalies observed at Tlamacas station during March-July, 2005; *Natural Hazards Earth Syst. Sciences*, 7
- Park, S.K., 1997. Electromagnetic precursors to earthquakes: a search for predictors; *Science Progress*, 80(1)

Uyeda, S.; Hayakawa, M.; Nagao, T.; Molchanov, O.; Hattori, K.; Orihara, Y.; Gotoh, K.; Akinaga, Y. & Tanaka, H.; 2002. Electric and magnetic phenomena observed before the volcano-seismic activity in 2000 in the Izu Island Region, Japan; PNAS, 99(11)

Zlotnicki, J.; Bof, M.; Perdereau, L.; Yvetot, P.; Tjetjep, W.; Sukhyar, R.; Purbawinata, W. & Suharno; 2000. Magnetic monitoring at Merapi volcano, Indonesia; Journal of Volcanology and Geothermal Research; 100

Zlotnicki, J.; Le Mouel, J.L.; Kanwar, R.; Yvetot, P.; Vargemezis, G.; Menny, P. & Fauquet, F.; 2006. Ground-based electromagnetic studies combined with remote sensing based on Demeter mission: A way to monitor active faults and volcanoes; Planetary and Space Science, 54