

## Monitoramento Nanossísmico

Aline Gomes da Silva, PPGG/CCET/UFRN, Brasil

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica.

This paper was prepared for presentation at the 11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society, held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

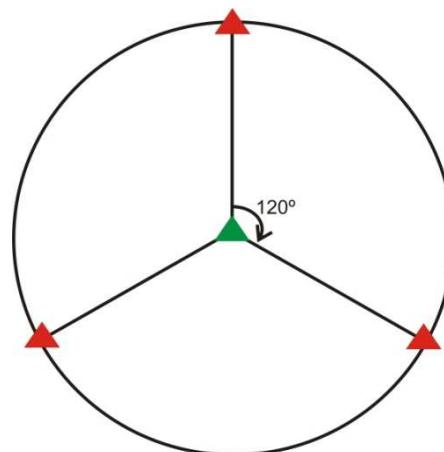
This work aims to divulge a recent technique developed by Manfred Joswig, in 2005, for determining hypocenter, magnitude and time of origin of earthquakes natural or induced, with a low ratio signal/noise, at a distance of 10 m to 10 km and magnitude ranges down to  $M_L -3.0$ , using the Seismic Navigation System. This technique is called Monitoring Nanoseismic. All the work was removed from the sites and articles available on the internet by Manfred Joswig.

### INTRODUÇÃO

Monitoramento nanossísmico é uma técnica desenvolvida por Manfred Joswig, professor do Instituto de Geofísica da Universidade Stuttgart, em 2005. Ele introduziu a concepção de monitoramento nanossísmico como um terceiro método para registrar sinal de fraturas na crosta superior. Sendo o primeiro e segundo método o monitoramento microssísmico e a sísmica passiva. O monitoramento nanossísmico visa determinar fonte de energia a uma distância de 10 m a 10 km, com baixa razão sinal-ruído, sendo a magnitude abaixo de  $M_L 0.0$ , por isso o nome nanossísmico. Essa técnica tem sido aplicada inicialmente para monitorar *aftershock* natural ou induzidos pelo homem, como monitoramento de explosões induzidas abaixo da superfície por armas nucleares, mapeamento de falhas ativas e monitoramento de cavidades em atividade.

### AQUISIÇÃO DE DADOS

O sistema de aquisição de dados da técnica nanossísmica é composto por quatro sensores, dispostos de acordo com a Figura 1. Os triângulos na Figura 1 são os sensores de curto período. O sensor central (triângulo verde) é triaxial. Já os demais, são de componente vertical (vermelho). Todos os verticais estão a uma mesma distância do central, ocupando os vértices de um triângulo equilátero. Essa distância pode ser de 30m a 100m dependendo a ser realizada. A esse sistema Joswig deu o nome de *Seismic Navigating System (SNS)*.



**Figura 1:** Arranjo dos sensores. Fonte: Desenhado pelo autor do desse trabalho.

Todo o equipamento para monitoramento consiste de três cabos de 100 metros cada, um notebook, quatro sensores descritos a cima, um GPS portátil e um *data log*. Somando tudo dá cerca de 20 kg, podendo ser transportado por apenas dois homens. Os equipamentos são mostrados na Figura 2, com exceção do notebook.



**Figura 2:** Na esquerda os três cabos junto com os sensores verticais, no centro o sensor triaxial e mais em cima o *data log*. Fonte: [www.nanoseismic.net](http://www.nanoseismic.net).

A localização dos sensores no campo requer enorme cuidado, uma vez que os sinais desejados podem ser confundidos com ruídos. Então, é necessário que se

verifique o ruído da região, escolhendo o local de mais baixo ruído possível. E os sensores precisam estar bem acoplados a superfície. Tudo isso contribui para se ter autonomia na localização do evento. Geralmente o monitoramento é feito no período da noite, onde possíveis ruídos oriundos de tráfego, tubulações, etc, interferem menos (se for o caso de existir próximo ao local). Os dados podem ser adquiridos durante poucas horas em várias noites.

### IDENTIFICAÇÃO DOS EVENTOS

Primeiro de tudo, temos que identificar os eventos. Como o evento que queremos analisar é de baixa energia, ele pode ser confundido com um ruído abrupto, então acabamos por ficar com vários sinais candidatos a evento. O que irá permitir distinguir entre um evento e um ruído nessa técnica é a análise de sonogramas, que se torna a ferramenta de diagnóstico mais versátil. A Figura 3 abaixo, mostra um sonograma, obtido pelo programa Sonodet de dados fornecido por Joswig no site [www.nanoseismic.net](http://www.nanoseismic.net), onde na parte superior do lado direito da figura temos o sonograma do sismograma logo abaixo ( a frequência do sinal varia com as cores) e na parte inferior da figura do lado esquerdo a Transformada de Fourier do sinal. Dessa forma, conhecendo a frequência característica de alguns tipos de ruídos podemos identificá-los no sinal, e conseqüentemente, também os eventos de interesse.

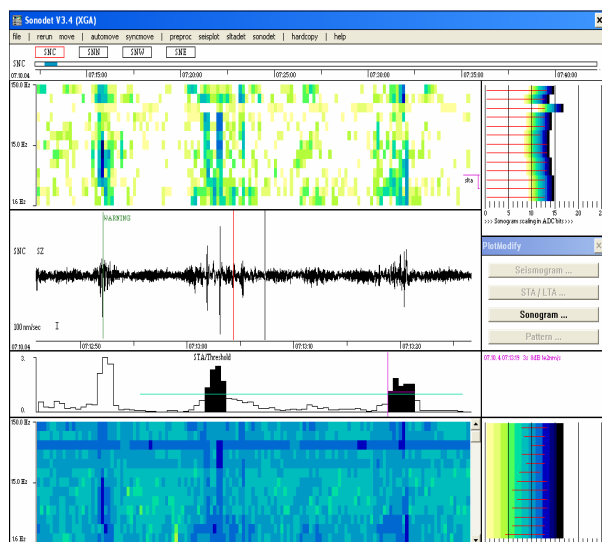


Figura 3: Sonograma.

### LOCALIZAÇÃO ESPAÇO-TEMPO DOS EVENTOS

Uma vez identificados os eventos, a localização é feita através do programa HypoLine. Esse programa permite encontrar o hipocentro, o tempo de origem e magnitude do evento, a uma baixa relação sinal-ruído.

Um das principais vantagens de seu uso é seu caráter interativo, onde os parâmetros como: hipocentro, epicentro, tempo de origem do evento, magnitude, vagarosidade, podem ser alterados com um clique e a atualização dos demais parâmetros é instantânea. Permitindo assim, um monitoramento em “tempo real”. O mesmo esquema interativo se aplica a parâmetros intrínsecos para localização do evento, como, velocidades e espessura da camada para diferentes modelos de camada ou correção da curva magnitude - distância. Os demais programas, como Hypo71e HypoLayer, uma vez encontrada a solução (minimizando o erro dos dados e resolvendo o sistema de equações sobre-determinados) não pode analisar esse sistema de forma a obter informação ou acrescentar informação. Outro diferencial do HypoLine é o *jack-knife* que contribui para uma maior autonomia na localização do evento, que consiste na identificação de um parâmetro errôneo, isto é, um parâmetro que se comporta fora da tendência dos demais e exclui-o. Agora vamos considerar um simples caso para encontrar a localização de um evento. Supomos que as estações estão na superfície, e a abaixo da superfície um semi-espço homogêneo. Então, a diferença de  $t_p - t_s$  em cada sensor cria uma semi-esfera que vincula a localização espacial abaixo da superfície, como mostra a Figura 4.

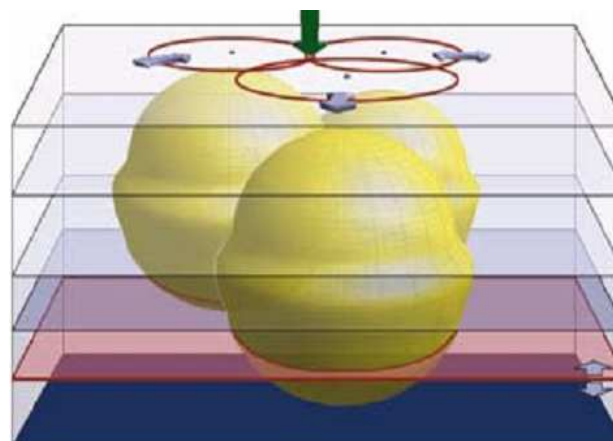


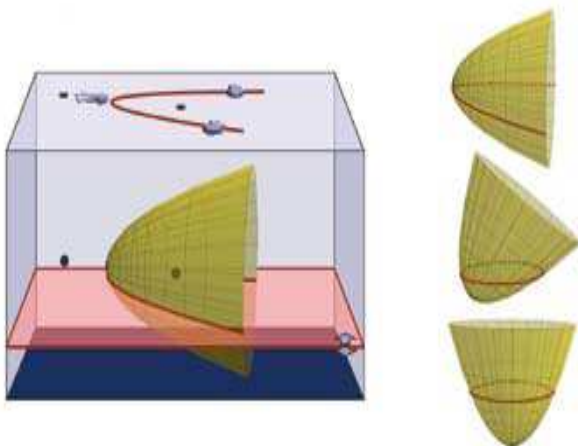
Figura 4: Intersecção entre as esferas vincula a localização do evento. Fonte: Artigo *Nanoseismic monitoring fills the gap between microseismic networks and passive seismic* de Malfred Joswig.

A intersecção entre os círculos (projecção da esfera na superfície) fornece a localização do epicentro (x, y). A estimativa da profundidade é considerada como um parâmetro externo que pode ser modificado pelo analista (a pessoa que está operando o programa), em vez de ser determinado pela inversão dos dados, como é feito comumente. Para encontrar a profundidade, sabemos que cada semi-esfera se reduz a um círculo na intersecção dela com o plano do hipocentro. Sabemos também, que cada  $t_p - t_p$  entre dois sensores

forma um semi-hiperbolóide que se reduz a uma hipérbole com a interseção com o plano do hipocentro, como mostra a Figura 5. Entretanto, para uma solução 3-D (x, y, to), epicentro e tempo de origem, dois sensores fornece apenas uma hipérbole, formando um problema sob-determinado (três incógnitas e uma equação), sendo assim, necessários três sensores. A interseção entre as três hipérbolas, devido aos três sensores, é chamada de ponto triplo e será nossa solução. Para o caso do SNS que são quatro sensores, teremos de acordo com a Equação 1 e 2 (onde H é o número de hipérbole N o número de sensores.), seis hipérbolas e quatro ponto triplo, que nesse caso, a medida do espalhamento deles será a medida da consistência da localização. O operador do programa ajustando a profundidade para um mínimo de espalhamento dentro do círculo (interseção da semi-esfera com o plano do hipocentro), a melhor solução está encontrada.

$$H = \sum_{k=1}^{N-1} k = \frac{N!}{(N-2)!2!} \quad (1)$$

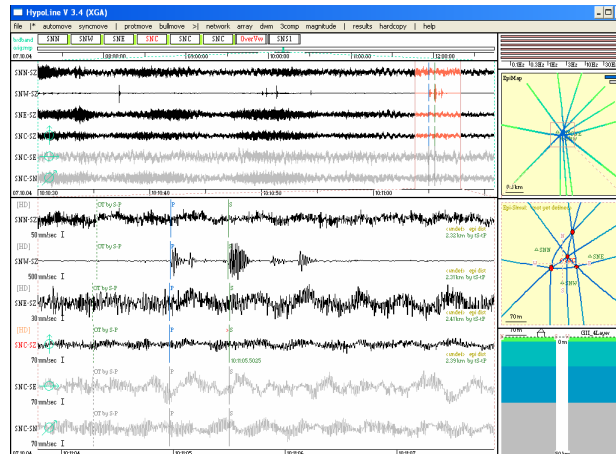
$$T = \sum_{k=1}^{N-2} k(N-1-k) = \frac{N!}{(N-3)!3!} \quad (2)$$



**Figura 5:** Interseção entre os hiperbolóides e o plano do hipocentro vincula a localização do evento. Fonte: Artigo *Nanoseismic monitoring fills the gap between microseismic networks and passive seismic* de Malfred Joswig.

A Figura 6 mostra a janela do HypoLine, onde do lado direito temos um mapa que mostra a distribuição das hipérbolas ( e os pontos triplo pintados de vermelho) no plano a uma certa profundidade e logo abaixo uma ampliação da parte que queremos analisar. A profundidade que queremos analisar pode ser escolhida com apenas um clique no modelo de camada

logo abaixo. Do lado esquerdo temos um sismograma de duração de 40 segundos e logo abaixo um de 4 segundos, que a ampliação da parte selecionada pelo analista no sismograma acima.



**Figura 5:** Janela do HypoLine.

Para encontrar a magnitude, os traços do sensor triaxial são convertidos para deslocamento da Terra para simular os sismogramas do sismógrafo de Wood-Anderson. Uma vez que o máximo e o mínimo da metade de uma onda são determinados com um clique no mouse, e tendo-se a distância do evento, a magnitude é mostrada junto com as curvas de correção distância-magnitude

### Conclusão

O monitoramento nanossismo realizado por Joswig Malfred em Dead Sea e em uma inspeção da CTBT mostrou que a técnica é eficaz, para o problema que foi proposto nas duas citações distintas. Com sua divulgação, poderemos ter mais aplicações, inclusive na indústria do petróleo , para monitoramento microsísmico em reservatório, testando sua potencialidade, limitações, etc.

### Referência

**Joswig, M.,** 2008, *Nanoseismic monitoring fills the gap between microseismic networks and passive seismic.*

**Wust, B., Joswig, M.,** 2006, *Pre-collapse identification of sinkholes in unconsolidated media at Dead Sea area by 'nanoseismic monitoring' (graphical jackknife location of weak sources by few, low-SNR records).*

**Joswig, M.,** *Nanoseismic Monitoring: Method and First Applications.*

[www.nanoseismic.net](http://www.nanoseismic.net)

