



Piloto de sistema permanente para monitoramento sísmico em área terrestre

M.C. Schinelli*, J.F. Sobreira, (Petrobras) Eric Forgues and Julien Cotton (CGGVeritas)

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society 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

A pilot of Seismovie technology was installed in one of the mature field of Reconcavo basin to seismic monitoring of reservoirs submitted to CO₂ injection in an EOR process. That was the first permanent seismic monitoring project implemented in the country, and designed to evaluate the effectiveness of this technology in a production environment typical of Brazilian onshore fields. During the first phase of this project, three months of continuous monitoring were recorded, using two sources and 444 receivers spreaded over a rectangular area around one of the injection wells, before starting CO₂ injection. Obtained results confirmed the sensitivity of this PRM technology, and revealed important features associated with seismic response variation related with operational activities and other near surface variations.

Introdução

O monitoramento sísmico em áreas terrestres é bastante dificultado por variações associadas às condições de superfície, o que faz com que a sísmica 4D não seja usada de forma tão rotineira (e bem sucedida) como acontece em áreas marinhas. Condições superficiais desafiadoras para monitoramento sísmico de processos de EOR, como as que impactaram no passado a sísmica 4D de alta resolução usada para monitoramento da injeção de vapor no campo de Fazenda Alvorada na Bacia do Recôncavo (*1), apontavam para a necessidade de novas soluções tecnológicas para monitoramento sísmico em áreas terrestres. A tecnologia *Seismovie* surgiu com o propósito de preencher esta lacuna, proporcionando sensibilidade 4D muito superior à tradicional sísmica de superfície. Este trabalho relata a experiência com a primeira fase do dispositivo piloto concebido para avaliação daquela tecnologia no contexto do monitoramento da injeção de CO₂ em campo do Recôncavo baiano. Trata-se de uma iniciativa pioneira no Brasil, para teste de uma nova tecnologia, utilizada em apenas alguns poucos lugares do Mundo.

A tecnologia Seismovie

Desenvolvida pelo Instituto Francês do Petróleo, aperfeiçoada e disponibilizada pela CGGVeritas, a técnica *Seismovie* surgiu como alternativa para o monitoramento sísmico em áreas terrestres, tendo como diferencial, a utilização de fontes e receptores enterrados e cimentados em poços rasos, a profundidades abaixo da zona superficial de alta variabilidade (figura 1), o que além de aumentar a sensibilidade do método, permite também atenuar sobremaneira as próprias ondas superficiais geradas pela própria fonte. O dispositivo permanente maximiza a repetitividade, requerimento fundamental para uma boa resposta sísmica time lapse, tanto do lado dos receptores (que são permanentemente enterrados e cimentados em subsuperfície) como do lado da fonte (também enterrada em subsuperfície), que neste caso consiste de dispositivo vibracional eletromagnético de emissão contínua e de alta frequência, mas de baixa potência, e que não altera, no curto prazo, as condições físicas de sua vizinhança. Além do mais, esta tecnologia possibilita registro contínuo, e que permite avaliar as variações da resposta sísmica em ciclos de tempo muito curtos, com periodicidade de dias, semanas ou meses. Esse diferencial torna o método muito apropriado para o monitoramento de processos de EOR com efeitos mais rápidos, em períodos de tempo tão reduzidos quanto dois meses (ou menos). Tal conjunto de predicados resulta em sensibilidade para detectar variações de tempo de trânsito da ordem do décimo de milissegundo. O *Seismovie* também se vale de benefícios da Sísmica Multicomponente e da Sísmica de Poço, ao utilizar receptores do tipo biphones, em que um geofone e um sensor acústico (como um hidrofone) são co-localizados, permitindo assim melhor separar os campos de onda ascendente e descendente.

Metodologia para definição e características do dispositivo piloto.

A definição do dispositivo (figura 2) foi feita com abordagem pouco convencional, se comparada com a metodologia para escolha de parâmetros de aquisição em projetos de sísmica de superfície. Por exemplo, a estimativa de intervalos de afastamento máximo e mínimo, para evitar contaminação dos registros pelo cone de *ground roll*, é muito importante considerando-se a baixa multiplicidade da técnica e a necessidade de que a reflexão dos objetivos possa ser observada sem interferências. Tal estimativa é feita através da análise de registros de sísmica convencional disponíveis na área, e complementado por modelagem numérica (via *wave equation*) de registros brutos, utilizando-se as características da ZBV que foram obtidas através da realização de experimentos do tipo "uphole" e outras

informações disponíveis sobre o comportamento de velocidade e absorção das zonas superficiais.

Já a profundidade dos 444 receptores foi definida após avaliação das variações sazonais da superfície piezométrica, com propósito de evitar variações de tempo de trânsito associadas à movimentação do aquífero, tendo-se decidido por sua instalação a 10 metros de profundidade. As duas fontes vibracionais foram instaladas em poços com 50 m de profundidade. Idealmente, a profundidade ótima para fontes e receptores deve ser definida somente após a fase experimental no campo, com uso de fontes e receptores em diferentes profundidades.

Tanto as fontes como receptores foram cimentados (exceto alguns hidrofones de pântano, usados experimentalmente em uma das linhas, associados à geofones, e que foram instalados em furos contendo bentonita).

Outra característica da Tecnologia, que a difere da sísmica convencional, é o fato de se utilizar comumente um dispositivo esparsos (do lado da fonte), cuja multiplicidade reduzida impede a geração de um efetivo volume 3D (e sua migração), o que requer uma modelagem muito precisa para posicionamento de fontes e receptores. Os parâmetros de registro são:

- cada fonte (duas, no total) emite simultaneamente quatrocentos *sweeps* com monofrequências, variando entre 3 e 202 Hz, em intervalos de 0,5Hz (embora ambas vibrem com frequências diferentes). A frequência máxima das fontes foi limitada em 202 Hz após análise da razão sinal/ruído dos primeiros registros;
- registros com 24 segundos de duração (sweep de 22 segundos + 2 segundos adicionais, para registro);
- intervalo de amostragem de 1 ms;
- geofones com frequência natural de 10 Hz

Tratamento dos dados

Na primeira fase do piloto foram realizados aproximadamente 550.000 registros ininterruptos, no período compreendido entre 12 de Junho e 9 de Setembro de 2010. As primeiras análises mostraram que a intensa circulação de pessoas e veículos naquela área e presença de vários equipamentos de bombeio e pistoneio, reduziam significativamente a razão sinal/ruído ao nível dos reservatórios e introduziam artefatos que impactavam a sensibilidade do método. Embora a técnica *Seismovie* não recomende a utilização de processos que possam interferir na sua sensibilidade e resolução, para atenuar aqueles efeitos foram testadas e desenvolvidas diferentes metodologias:

- Para atenuação do ruído de baixa frequência associado ao bombeamento, foi especialmente desenvolvido processo baseado na estimativa do ruído utilizando-se o registro do sensor mais próximo da fonte de ruído, e sua subtração direta de cada registro bruto, antes do

processo de reconstrução (stack vertical). A figura 3 exemplifica o resultado da sua aplicação.

- Após o processo de atenuação da interferência do bombeio mecânico, com o propósito de otimizar a razão sinal/ruído foi utilizado processo de soma adaptativa semelhante ao *diversity stacking* (P. Embree ET all), com aplicação de função gaussiana bi-direcional móvel para obtenção de traço médio, que era então subtraído de cada traço da matriz originalmente considerada no seu cálculo (Figura 4).

Análise 4D

O monitoramento das primeiras quebras, separadamente para cada uma das duas fontes, comprovou que uma delas manteve-se estável durante o período, provavelmente devido à problemas com sua instalação (fraturamento do cimento por contração?) e por essa razão não foi utilizada para a geração dos mapas de variação 4D.

Mapas de variação de tempo de trânsito ao longo do período de monitoramento foram construídos com análise dos eventos (reflexões) presentes em janelas de três diferentes intervalos de tempo: 120-200 ms, 400-600 ms e 900-1100 ms. Naqueles mapas (Figuras 5 a 7) podemos observar que os refletores mais rasos são mais estáveis que os profundos, possivelmente devido a uma melhor razão sinal/ruído. Naqueles intervalos as variações observadas foram respectivamente +- 0,2 ms para o intervalo mais raso, +- 1 ms para o intervalo intermediário, e +- 3 ms para o intervalo mais profundo.

O monitoramento da resposta de geofones instalados a diferentes profundidades (a cada 5 m) acima de cada uma das duas fontes (chamados de antenas) possibilitou a caracterização de que eventos meteorológicos (chuvas) podem introduzir variações de tempo de trânsito relacionadas à variação da superfície piezométrica.

Conclusões

Considerando que a tecnologia aqui avaliada foi aplicada em condições extremas no que diz respeito às condições superficiais adversas, profundidade dos reservatórios (a maioria dos projetos *Seismovie* são utilizados para reservatórios a profundidades inferiores a 800m), e reduzido quantitativo de equipamentos, podemos afirmar que os resultados obtidos nesta primeira fase do projeto confirmam a alta sensibilidade e resolução da técnica *Seismovie*;

A definição da profundidade para instalação de fontes e receptores, assim como um cuidadoso processo de perfuração e cimentação são aspectos fundamentais para garantir a eficiência e sensibilidade do dispositivo;

O impacto dos ruídos associados à atividade operacional foi muito bem caracterizado pelo dispositivo e levou ao desenvolvimento de metodologias para sua mitigação e que poderão ser otimizados para futuras campanhas. Além disso possibilitou a quantificação do impacto de

eventos climáticos na resposta sísmica com precisão jamais observada com a sísmica convencional;

Dadas as características da área e profundidade dos reservatórios avalia-se no momento a utilização nas próximas fases, de fonte com maior potência, maior multiplicidade (mais receptores em profundidades superiores a 20 m), e estratégias (desligamento de bombas, por exemplo) que possam contribuir para o aumento da razão sinal/ruído.

Agradecimentos

A Petrobras pela oportunidade de divulgação desses resultados.

Referências

(*1) Schinelli M., Sacramento S., Keller O. e Lino U., Steam injection monitoring with high resolution time lapse seismic. 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Brazil, 2005.

E. Forgues, J. Meunier, FX. Grésillon, Compagn, C. Hubans, D. Druesne,. Continuous High-Resolution Seismic Monitoring of SAGD.

E Forgues, Julien Meunier, Christian Hubans,. Steam Injection Seismic Monitoring Experiment. CSEG-CPG - CWLS convention, 2006

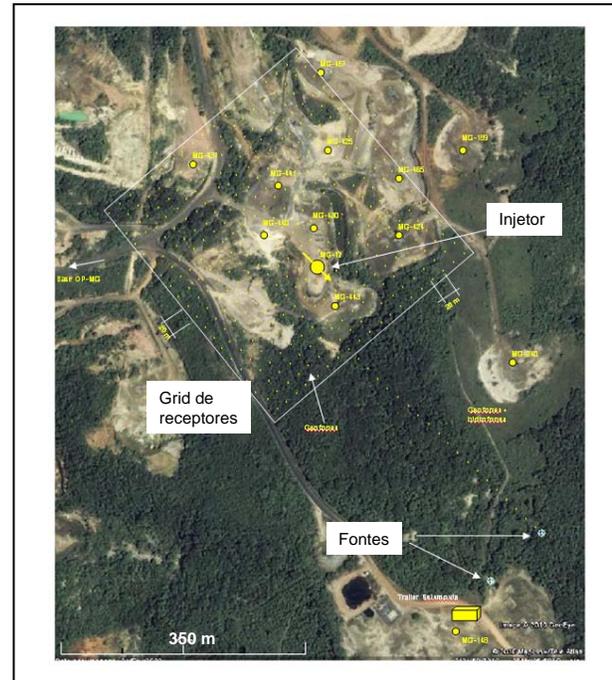


Figura 2. Foto aérea do dispositivo *Seismovie* utilizado. A assimetria do dispositivo em relação ao poço injetor deve-se ao mergulho do reservatório.

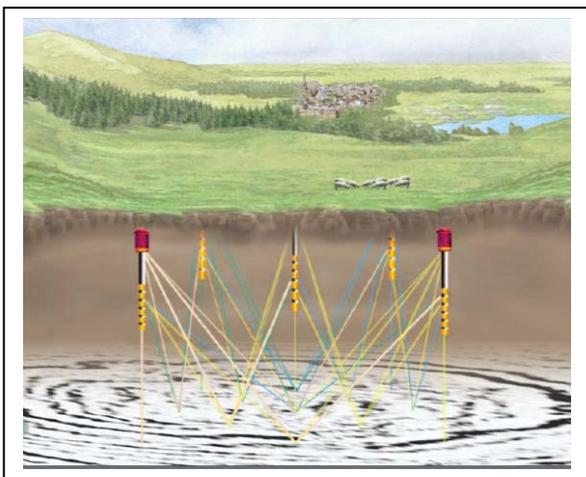


Figura 1. Desenho esquemático da técnica *Seismovie*.

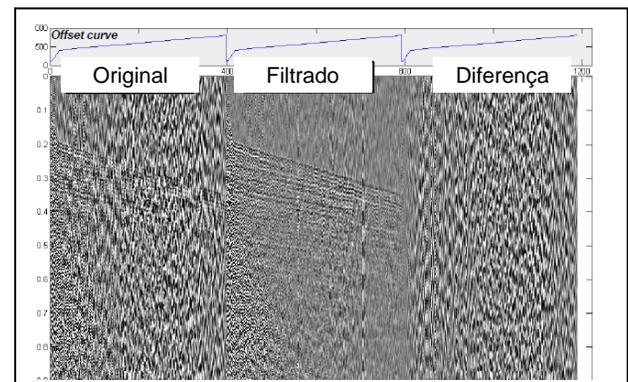


Figura 3. Exemplo de registro contaminado pelo ruído de bombas existentes na área do grid, antes e depois da aplicação do filtro especialmente projetado.

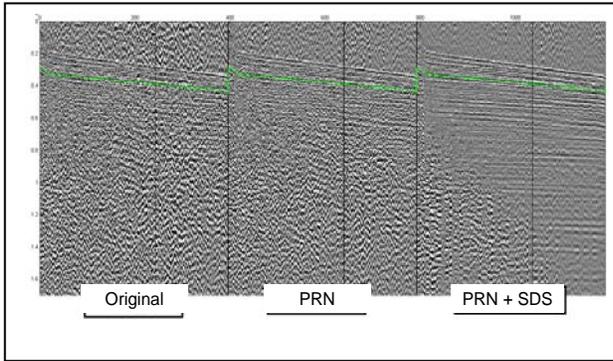


Figura 4. Registro original com LMO – Linear moveout (soma de 28 dias de registros) após aplicação do PNR (pump noise removal) e SDS (spacial diversity stack).

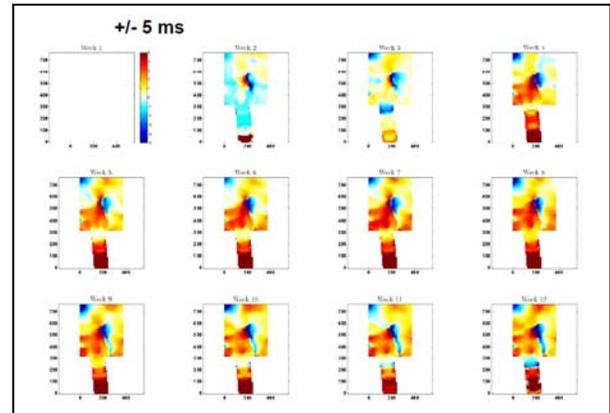


Figura 7. Variações observadas no intervalo 900-1100 ms

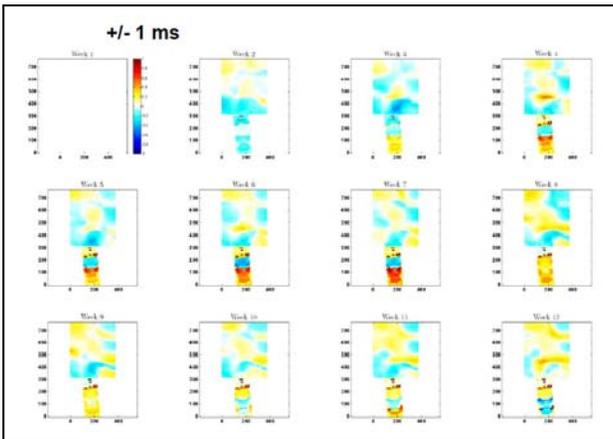


Figura 5. Variações observadas no intervalo 120-200 ms

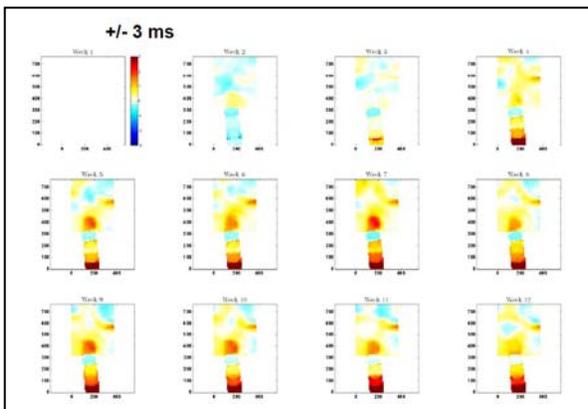


Figura 6. Variações observadas no intervalo 400-600 ms