

Aquisição automática de formas de ondas (P e S) em amostras de rochas reais/sintéticas com formatos cilíndrico e quadrático

Celso R. L. Lima (Instituto Federal do Pará, Faculdade de Geofísica-UFPA), Mykel da Silva Sousa (Faculdade de Geofísica-UFPA), José J. S. de Figueiredo (Faculdade de Geofísica-UFPA e INCT-GP) & Leo K. Santos (Faculdade de Geofísica-UFPA)

Copyright 2017, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica.

This paper was prepared for presentation during the 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 31 July to 3 August, 2017.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 15th 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

Este trabalho propõe o desenvolvimento de sistema automático de baixo custo para medidas ultrassônicas em amostras de rocha sintéticas anisotrópicas fissuradas com formatos de cubos ou plugs cilíndricos. A partir dessas medições automáticas foi possível obter sismogramas de formas de onda P e S. Nesses dados os sismogramas no tempo variam com o ângulo, $0 - 180^\circ$ (onda S) e $0 - 90^\circ$ (onda P). Para testar a viabilidade da nossa instrumentação, medidas ultrassônicas foram realizadas em amostras anisotrópicas (em estado seco) com formatos cúbicos e cilíndricos. O tempo estimado para obtenção dos dados de onda S foi de 00:17:30 minutos (para amostras cúbicas) e para dados de onda-P foi de 00:10:00 minutos (para amostras cilíndricas).

Introdução

Sendo a subsuperfície composta por heterogeneidades, fraturas e fissuras existe a necessidade de estudos cada vez mais detalhados e confiáveis das observações das propriedades físicas do meio (Figueiredo et al., 2013). Desse modo, precisa-se de equipamentos que auxiliem nas observações, seja em campo ou laboratório. O presente trabalho visa auxiliar ao interessado em pesquisa geofísica em dimensões laboratoriais.

É notório que em toda medida experimental existem erros associados, seja intrínseco do equipamento, seja da aquisição de dados. Visando minimizar o segundo tipo de erro propõem-se um Sistema de Aquisição Automática de Medidas de Ondas-P -S que auxilie nas operações de medidas em laboratório. Depois de montado, o sistema de aquisição automática adquire diversos traços (de ondas P ou S) que posteriormente são processados pelo MATLAB gerando os sismogramas. Como aplicação da nossa instrumentação, para cada amostra sintética, realizou-se o "picking" de tempo nas formas de onda, com o objetivo de se obter as velocidades necessárias para o cálculo dos parâmetros de Thomsen (1986, 1995). Para testar a viabilidade da nossa instrumentação, medidas ultrassônicas foram realizadas em amostras anisotrópicas (em estado seco) com formatos cúbicos e cilíndricos.

Metodologia

A construção das amostras, bem como as medidas ultrassônicas, foram realizadas no Laboratory of Petrophysics and Rock Physics-Dr. Om Prakash Verma (LPRP), na Universidade Federal do Pará (UFPA). Sob condições controladas três amostras sintéticas representando arenitas fraturas foram construídas utilizando a técnica desenvolvida por Santos et al. (2017).

As medidas ultrassônicas foram realizadas utilizando-se o Sistema Ultrassônico do LPRP, com a técnica de transmissão de pulso (Santos et al., 2016). A taxa de amostragem por canal para todas as medidas das formas de onda P foi $0,002 \mu s$ e para onda S foi de $0,01 \mu s$. A Figura 1 mostra uma imagem deste sistema ultrassônico.

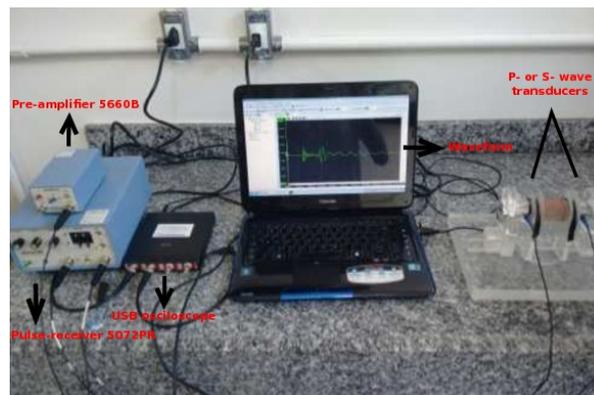


Figure 1: Estrutura de Aquisição.

O sistema é formado por um receptor de pulso 5072PR e um pré-amplificador 5660B da Olympus, um osciloscópio USB de 50 MHz da Handscope, e dois transdutores de 1MHz (onda P) e 500 kHz (onda S) também da Olympus (ver Figura 1). Os transdutores (fonte e receptor) foram dispostos em lados opostos das amostras, separados pelos seus comprimentos. Para assegurar que a propagação da onda estava na região desejada das amostras, os transdutores foram colocados no centro de cada face. Isto foi feito para ambos os modos de propagação de ondas.

O sistema projetado consiste em três partes básicas: interface gráfica (Labview), microcontrolador e os drivers de motor de passo. Ele está representado na Figura 2. Nesse sistema a interface gráfica comunica-se com o microcontrolador que, por sua vez, controla o sistema mecânico através dos drivers de motor de passo.

O sistema mecânico, por sua vez, faz as variações angulares dos transdutores conforme o interesse do operador (por exemplo, 0° a 180° medindo de 10° em 10° em relação ao plano de fraturas). A cada medição, os dados são salvos por um segundo operador em outro computador. É importante ressaltar que o sistema que consiste na interface gráfica e no sistema mecânico, é um sistema semiautomático, necessitando os ajustes dos posicionamentos angulares a cada medida, dessa forma, é apropriado que tenham dois operadores para a aquisição dos dados, sendo um para controlar o sistema mecânico e outro para salvar cada dado. Na Figura 3 pode-se ver o fluxograma do sistema de monitoramento e controle junto ao sistema mecânico atuando sobre a amostra a ser medida.

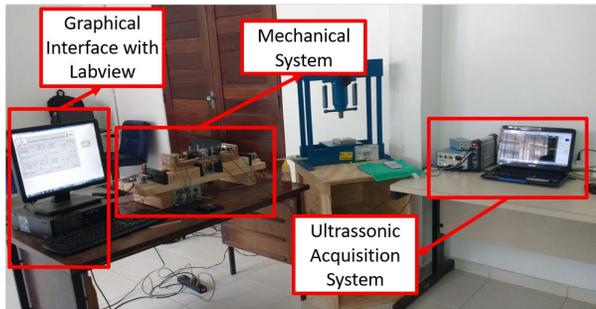


Figure 2: Estrutura montada para fazer aquisição de dados.

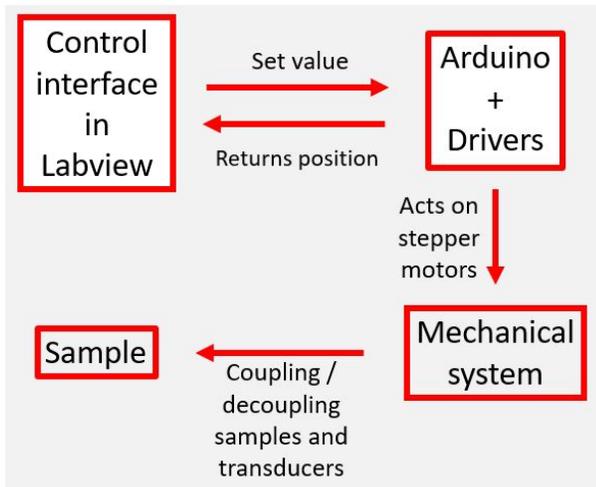


Figure 3: Fluxograma do sistema atuando sobre as amostras.

Na parte eletrônica temos o microcontrolador Arduino Uno, que é um microcontrolador com quatorze portas digitais e seis portas analógicas. O microcontrolador controla, através das portas digitais, o driver de motor de passo modelo DRV8825. Este driver recebe os comandos e direção do passo advindos do Arduino. Conforme os comandos, o driver energiza os motores de passo de maneira a movimentarem-se de acordo com os comandos.

O Arduino comunica-se com o Labview através da porta USB utilizando a comunicação serial. Para fazer essa

comunicação precisa-se fazer o download da biblioteca NI VISA no site da National Instruments. Ao fazer o download dessa biblioteca, ficarão disponíveis os blocos de comunicação serial no Labview. Como mostra o fluxograma da Figura 3. O Arduino recebe um código predeterminado do Labview, faz os movimentos de acordo com o interesse do operador e em seguida ele retorna para o Labview o movimento que ele fez.

O controle das posições dos motores de passo é feito em malha aberta, ou seja, não tem nenhum sensor que retorne para o sistema a real posição do motor de passo. Foi preferido fazer dessa forma por dois motivos: primeiro que o sistema proposto sempre terá um operador para verificar se há algum problema no movimento do sistema, e segundo que a movimentação angular exige um torque muito abaixo do que o motor pode fornecer, dessa forma, é muito difícil de acontecer com que o sistema perca a referência do movimento.

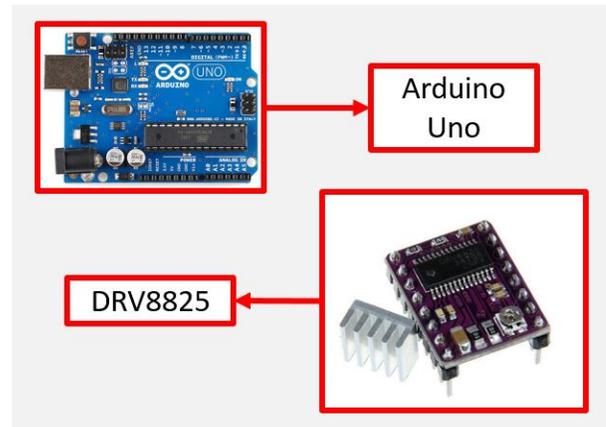


Figure 4: Microcontrolador e Driver utilizado.

O motor de passo é um Nema 17 de torque nominal, de 1,1 kgf.cm. Para a alimentação do driver do motor e das bobinas do motor foi utilizado uma fonte usada em PCs, que possui terminais de 5 e 12 volts. Assim como na alimentação dos motores, utilizamos apenas os terminais de 12 volts da fonte. A energização do CI do driver é de 5 volts, fornecida pela placa do Arduino. O terminal de 12 volts suporta uma demanda de corrente de em torno de 18 amperes. Como a corrente máxima em cada motor será de 2 amperes, utilizaremos pelo menos 6 amperes abaixo da corrente máxima da fonte.

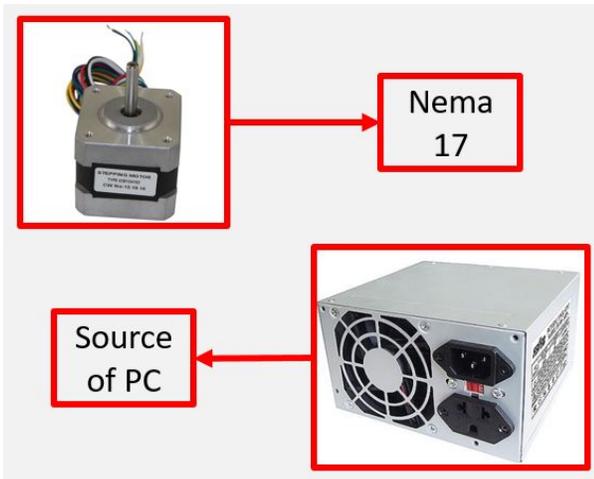


Figure 5: Motor de Passo e fonte utilizada.

No driver DRV8825 (Figura 4), pode-se configurar os valores dos passos de maneira com que a rotação forneça uma precisão maior. Um passo do motor Nema 17 (Figura 5), tem o valor de 1.8° , e o driver de motor de passo pode fracionar esse movimento, bastando alterar algumas conexões. Desta forma, configuramos os movimentos angulares para cada passo, movimentar $1/32$ de passo do motor, ou seja, um passo terá o movimento de $0,05625^\circ$. Assim, teremos um erro desprezível do ângulo de rotação dos transdutores, Essa redução do passo deixa o movimento proporcionalmente mais lento, com isso, os movimentos de distancia entre transdutores (afastar/aproximar) terá o passo normal.

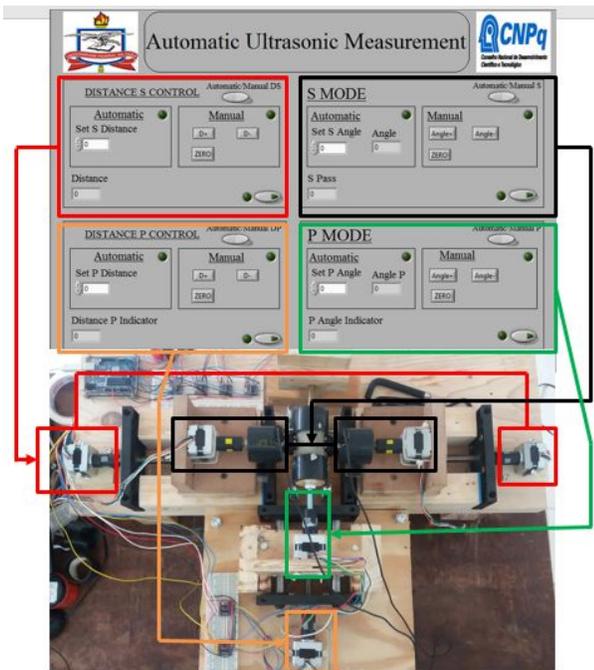


Figure 6: Interface Gráfica e Estrutura Mecânica

A parte superior da Figura 6 destaca a interface gráfica utilizada para controlar o sistema mecânico. O botão no

canto inferior direito em cada quadro é o que ativa as funções de cada um deles. Com a chave superior direita determina-se se o controle dos movimentos é manual ou automático. No modo automático o operador determina a distância ou o ângulo com o qual o motor de passo se movimentará em relação à amostra. A parte de baixo da Figura destaca a estrutura mecânica que irá receber estes comandos e fará a aquisição das formas de onda em cada uma das amostras sintéticas.

Na aquisição utilizando transdutores de onda S são utilizadas as partes indicadas por quadrados vermelhos e preto. Em uma aquisição, a amostra é colocada no centro do sistema e os transdutores são colocados em uma espécie de casco que os envolve. Após esse passo o sistema é ligado, de modo que os casco que envolve os transdutores se desloca ao longo de um trilho até que haja o acoplamento com a amostra. Neste momento as formas de onda são detectadas e salvas no computador.

O próximo passo é afastar os transdutores das amostras de forma que não haja contato, para que seja possível a rotação dos transdutores para uma posição desejada. Esta rotação possibilita a aquisição da onda S para diferentes polarizações. Tendo o ângulo desejado sido alcançado, os transdutores movem-se novamente até se acoplarem ao modelo sintético. O procedimento é repetido para todos os ângulos de polarização desejados.

Na aquisição com o transdutor de onda P, são utilizadas as partes em vermelho, preto e laranja indicados na Figura 6. Na aquisição, a amostra cilíndrica é acoplada ao motor controlado pelo quadro em verde. A parte em laranja vai ajustar a posição da amostra cilíndrica a ser medida com o transdutor de onda P. O quadro em vermelho vai controlar o acoplamento/desacoplamento do transdutor com a amostra e, no quadro em verde, é feita a variação angular da amostra para cada aquisição.

Resultados

Nesta seção mostraremos a viabilidade do uso da nossa instrumentação através de medidas ultrassônicas em três amostras sintéticas (anisotrópicas).

Sismogramas de Ondas-S

A partir da aquisição de onda-S utilizando o sistema apresentado neste trabalho, gera-se sismogramas que apresentam as formas de onda-S para diferentes ângulos de polarização. A partir do "picking" de tempo de trânsito feito nos sismogramas, é possível estimar as velocidades dos dois modos de vibração da onda S. Estes dois modos referem-se a onda rápida (S1), relacionada a polarização da onda paralela ao plano de fraturas e a onda lenta (S2) relacionada a polarização da onda perpendicular ao plano de fraturas. Para todos os casos descritos a seguir, a polarização paralela ao plano de fraturas refere-se ao ângulo 0° e a polarização perpendicular ao ângulo 90° . A partir da informação dos tempos de trânsito para cada modo de onda S, é possível se determinar o parâmetro γ , dado por [Thomsen \(1986\)](#):

$$\gamma = \frac{C_{66} - C_{44}}{2C_{44}} = \frac{1}{2} \left(\frac{t_{S2}}{t_{S1}} - 1 \right) \quad (1)$$

no qual C_{66} é parâmetro elástico relacionado com a onda rápida enquanto C_{44} com a onda lenta.

Na Figura 7 está sendo mostrada a aquisição de onda-S em uma amostra cúbica. Para esta amostra a aquisição da onda S foi realizada para polarizações indo de 0° a 180°, em um intervalo de 10° para cada medida. O sismograma representado na Figura 8 refere-se a essa medida. Nele estão indicados os tempos estimados de chegada para os dois modos de vibração de onda S. Nas Figuras 9 e 10 temos outra amostra cúbica sintética com seu respectivo sismograma. Esta amostra possui uma densidade de fissura distinta da amostra HD7. Nas Figuras 11 e 12 temos uma amostra cilíndrica e os registros de onda S associado a ela.

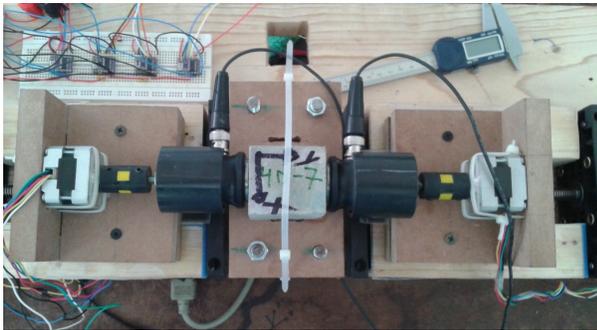


Figure 7: Amostra cubica HD7 pronta para coleta de dados.

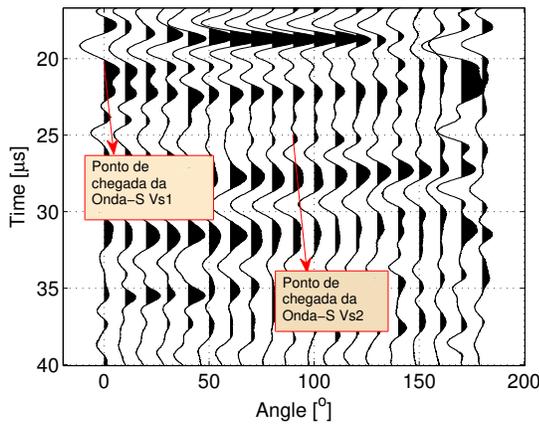


Figure 8: Sismograma da amostra cubica HD7.

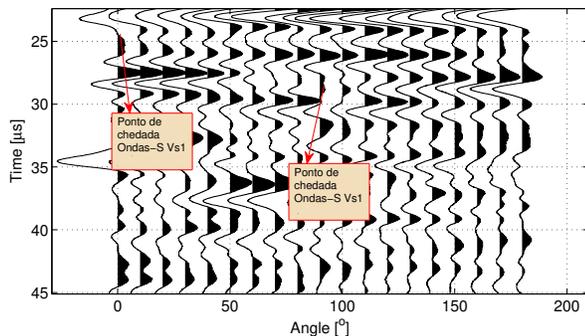


Figure 10: Sismograma da amostra cubica C5.

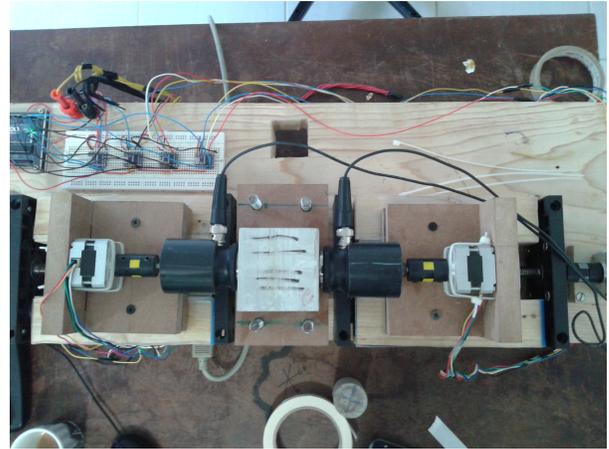


Figure 9: Amostra cubica C5 pronta para coleta de dados.

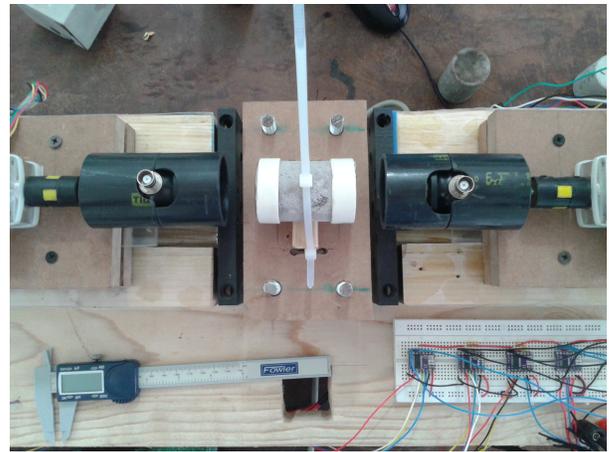


Figure 11: Amostra cilíndrica pronta para coleta de dados.

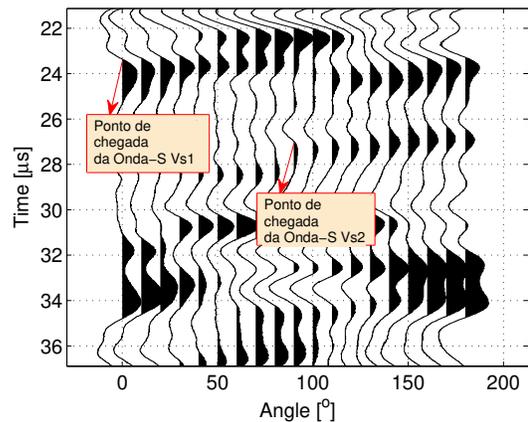


Figure 12: Sismograma da amostra cilíndrica - plug.

Sismogramas de Ondas-P

A partir da análise dos sismogramas de onda P, estima-se tanto a velocidade de onda P. A Figura 12 mostra o processo de aquisição de onda P para uma amostra

cúbica. A Figura 13 mostra o sismograma associado a esta aquisição. A onda P foi estimada em 10 direções possíveis, de 0° (propagação paralela ao plano de fratura) a 90° (propagação perpendicular ao plano de fratura).

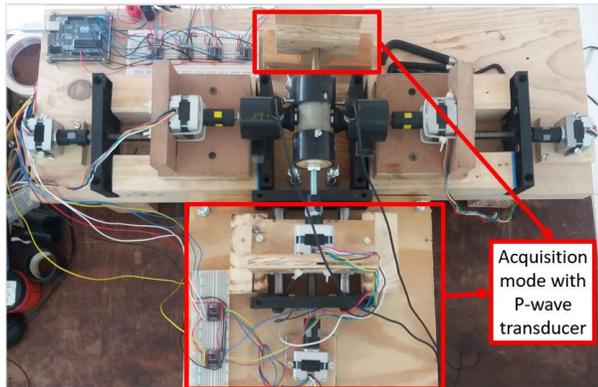


Figure 13: Amostra cilíndrica pronta para coleta de dados.

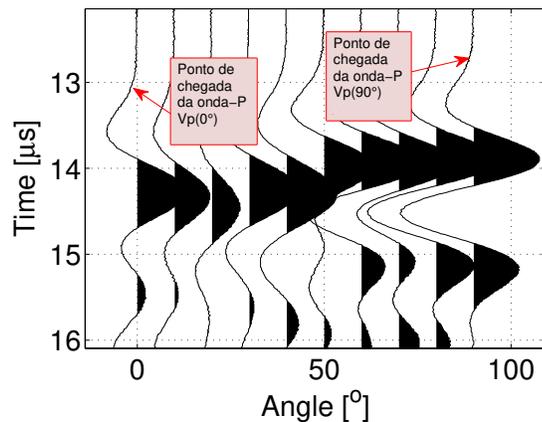


Figure 14: Sismograma da amostra cilíndrica (plug).

As Tabelas abaixo mostram as velocidades de propagação dos modos de vibração P e S e o parâmetro γ calculado em função das velocidade V_{s1} e V_{s2} .

Table 1: Velocidades de onda P e S e parâmetro γ estimados para as amostras.

Amostra	V_P (m/s)	V_{S1} (m/s)	V_{S2} (m/s)	γ %
HD-7	3595	2644	2440	8.6
C-5	3229	2347	2219	5.9
Plug-1	3650	2441	2042	19.4

Conclusões

Neste trabalho, o novo sistema de aquisição automático de medidas ultrassônicas, mostrou-se viável no objetivo de coletar dados ultrassônicas (P e S) de amostras sintéticas. A partir destas medidas foi possível minimizar o erro inerente a qualquer aquisição de dados dessa categoria. No presente trabalho foi realizado levantamentos de dados

com propagação de ondas-P e -S que proporcionaram sismogramas com excelente qualidades de visualização.

A partir do desenvolvimento desta instrumentação eletrônica foi possível introduzir precisão e repetibilidade na obtenção de dados ultrassônicos em amostras sintéticas em dimensões laboratoriais. Consequentemente, possibilitou maior acuracidade na obtenção das velocidades elásticas, dos parâmetros elásticos e dos parâmetros de Thomsen.

Agradecimentos

The authors would like to thank PET (ME)-GEOFISICA-UFGA, CNPq (grant number: 459063/2014-6) and PROPESP-UFGA for financial support.

Referências

- Figueiredo, D., S, J. J., Schleicher, J., Stewart, R. R., Dayur, N., Omoboya, B., Wiley, R., and William, A. (2013). Shear wave anisotropy from aligned inclusions: ultrasonic frequency dependence of velocity and attenuation. *Geophysical Journal International*, 193(1):475–488.
- Santos, K. L., de Figueiredo, J. J. S., and Da Silva, C. B. (2016). A study of ultrasonic physical modeling of isotropic media based on dynamic similitude. *Geophysics*, 70:227–237.
- Santos, L. K., De Figueiredo, J. J. S., Macedo, D. L., and Da Silva, C. B. (2017). A new way to construct synthetic porous fractured medium. *Journal of Petroleum Science and Eng.*, Manuscript under Revision.
- Thomsen, L. (1986). Weak elastic anisotropy. *GEOPHYSICS*, 51(10):1954–1966.
- Thomsen, L. (1995). Elastic anisotropy due to aligned cracks in porous rock1. *Geophysical Prospecting*, 43(6):805–829.