

## 4 Ensaio Poliaxiais

Para avaliar o comportamento mecânico de rochas em situações como produção de areia no fraturamento hidráulico, são utilizados programas computacionais que tentam reproduzir as condições encontradas no campo. Na maior parte das vezes, esses programas são validados a partir do *feedback* das operações.

Ensaio de laboratório visam facilitar a obtenção de parâmetros para essas simulações, entretanto, simulações físicas nem sempre são processos simples e poucos laboratórios estão capacitados para executá-las, devido à necessidade de aplicação de altas cargas tridimensionais. Além disso, em geral, são feitos ensaios triaxiais convencionais, nos quais o estado de tensões é simplificado, resultando em duas componentes (axial e radial), o que pode induzir a erros na avaliação do comportamento do material, uma vez que os fenômenos de produção de areia e fraturamento hidráulico são influenciados por esse campo de tensões. Embora possam ocorrer situações em que as tensões *in situ* horizontais são muito próximas, em geral isto não ocorre.

Para o estudo destes fenômenos faz-se necessário, então, um equipamento com controle independente das tensões aplicadas na amostra. É possível realizar ensaios deste tipo nas chamadas células triaxiais verdadeiras ou poliaxiais.

Outro ponto que deve ser mencionado é a interferência dos efeitos de borda nos resultados obtidos. Para minimizar esses efeitos, é essencial trabalhar com amostras de grandes dimensões. Além do mais, realizar ensaios com amostras deste porte possibilita testar tubos e telas utilizados para contenção de produção de areia.

Não existem muitas células poliaxiais de referência que trabalhem com amostras grandes. A Universidade de Oklahoma em Norman (EUA) tem um equipamento de difícil manuseio, baseado em macacos planos independentes, que reagem contra as laterais de uma base de concreto para comprimir o bloco de

prova. A célula fecha por cima, com um tampo também de concreto, posicionado com uma talhadeira elétrica de grande porte (Bloch, 2003).

Na Universidade de Wisconsin (EUA) são realizados ensaios de formação de *breakouts* em amostras entre  $12,7 \times 12,7 \times 17,8 \text{ cm}^3$  e  $15 \times 15 \times 23 \text{ cm}^3$ . A amostra é inserida em uma célula que aplica cargas de até 150 MPa, biaxialmente, nas faces de 15 cm e 23 cm (fig. 4.1). Esta célula é inserida em um equipamento equipado com uma perfuratriz centralizada no topo e na base com um intensificador hidráulico, com capacidade de carregamento de 1,3 MN, que aplica a tensão vertical e no topo (fig. 4.2). Para minimizar o atrito entre os pistões e as faces do bloco, são instaladas placas finas de metal, untadas com ácido esteárico (Haimson e Lee, 2004).



Figura 4.1 – Célula biaxial (Haimson e Lee, 2004).

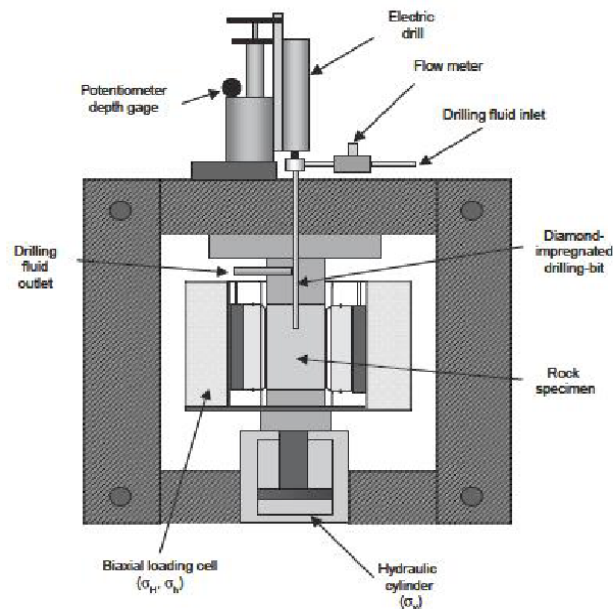


Figura 4.2 – Equipamento utilizado na Universidade de Wisconsin (Haimson, 2007).

Os ensaios de *breakout* executados na Universidade de Wisconsin utilizaram amostras de arenitos *Berea*, rocha com grãos de quartzo de tamanho grande (Haimson, 2001), de arenitos *Tablerock*, material bem-graduado com 55% quartzo, 37% feldspato e 8% outros minerais e arenitos *Mansfield*, com 90% de quartzo (Haimson e Lee, 2004) e granito *Westerly*, rocha cristalina muito utilizada em ensaios de mecânica das rochas (Haimson, 2007).

Na Universidade Tecnológica de Delft (Holanda), corpos de prova cúbicos, de 30 cm de aresta, são utilizados nos ensaios de fraturamento hidráulico. Eles são carregados por uma célula triaxial verdadeira, que reproduz as condições de tensão *in situ*, onde, entretanto, não podem ser aplicadas poropressões (fig. 4.3). Para minimizar o atrito entre os pistões e a amostra, são colocadas folhas de teflon untadas com vaselina. A instrumentação para medida de deformação é feita com seis LVDT's (Dam *et al*, 1998). Foram utilizados corpos de prova de três tipos: diatomita (rocha), cimento e gesso.

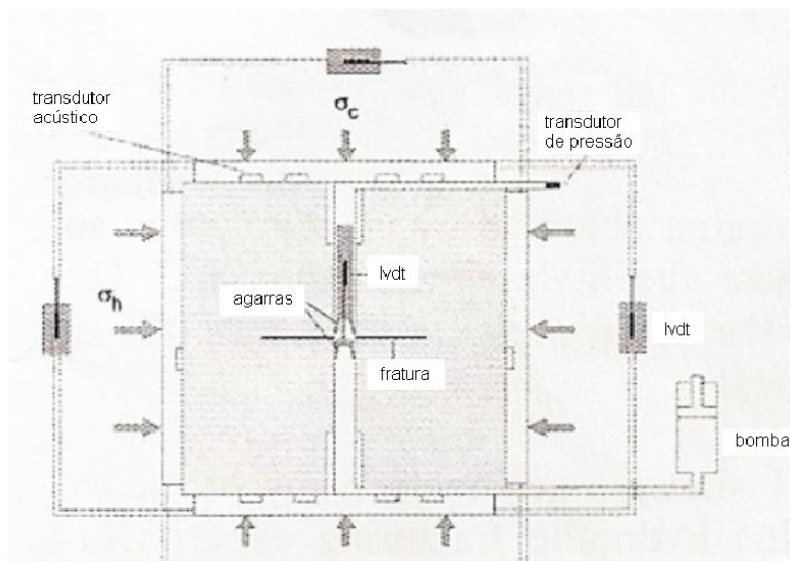


Figura 4.3 – Equipamento utilizado na Universidade Tecnológica de Delft (Dam *et al*, 2000).

A TerraTek Inc (USA) desenvolveu estudos de produção de areia em blocos de grande porte para investigar a influência do aumento das tensões efetivas e *drawdown* no comportamento do fenômeno levando em consideração situações de poço perfurado, revestido e cimentado. A amostra, de dimensão 70 x 70 x 81 cm<sup>3</sup>, é inserida em uma célula poliaxial que possui seis controladores independentes, cada

um com capacidade de carregamento de 55 MPa (fig. 4.4). A poropressão é distribuída ao longo das quatro faces verticais, através de uma mangueira de borracha ligada a um depósito alocado no topo da célula. O topo e a base foram vedados com folhas de borracha e os espaços entre o bloco e a célula preenchidos com grãos de bauxita malha 16/20. Devido à dificuldade de obtenção de amostras de grande porte, foi utilizado o arenito sintético, com resistência à compressão uniaxial de 10 MPa e de composição mineralógica 70% de quartzo e 30% feldspato e fragmentos de rocha. Para o ensaio de produção de areia, foi feito um furo centralizado, com diâmetro de 10,2 cm, perpendicular aos planos de acamamento (Kooijman *et al*, 1992).

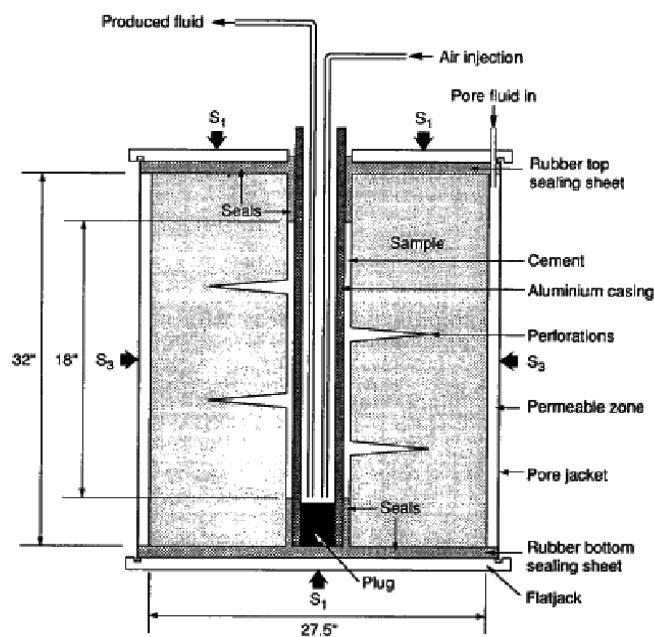


Figura 4.4 – Equipamento utilizado na Terra Tek Inc (Kooijman *et al*, 1992).

Ainda em estudos realizados na Terra Tek Inc com blocos de grande porte, foram utilizadas seis amostras de dimensões  $26,25 \times 26,25 \times 38 \text{ cm}^3$ , com furo centralizado de 2,54 cm, para entender o comportamento de *liners* abertos em arenitos inconsolidados. As amostras de arenito sintético foram confeccionadas com areia fina de Ottawa, cimento e água, seguindo um padrão controlado e resultando em amostras de resistência à compressão uniaxial de 1,1 MPa. Corpos de prova sintéticos mostraram-se como melhor opção em relação às rochas parcialmente consolidadas, uma vez que rochas de baixa resistência apresentam características mecânicas e físicas variáveis. Os ensaios foram conduzidos em

uma célula poliaxial, capacitada para aplicar poropressões, que reproduziu as tensões de campo. O ensaio foi monitorado a partir de *calipers* instalados no interior do furo e, periodicamente, o fluxo foi cortado para monitoramento do furo através de endoscopia (Van den Hoek *et al*, 2000).

Os ensaios desenvolvidos neste trabalho levaram em consideração os desafios enfrentados pelos autores mencionados. Devido à dificuldade de obtenção de amostras de grande porte foram confeccionadas amostras de arenito sintético, utilizando areia normatizada, cimento e água. O equipamento, instalado na Gerência de Tecnologia de Engenharia de Poços (TEP), do CENPES/PETROBRÁS, é uma célula poliaxial que permite ensaiar amostras cúbicas de até 30 cm de aresta (fig. 4.5). Para minimizar o atrito entre os atuadores e as faces do bloco e distribuir os esforços de maneira uniforme, foram colocadas folhas de papelão untadas com uma mistura de ácido esteárico.

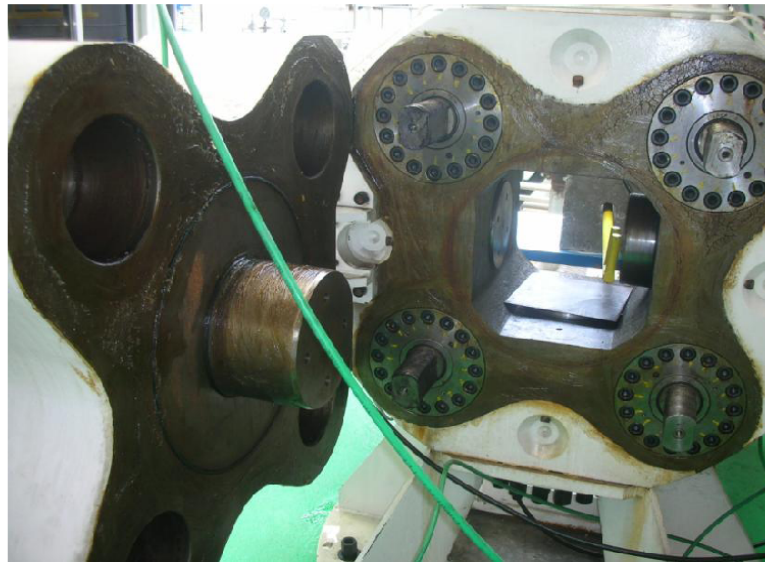


Figura 4.5 – Vista Geral da Célula Poliaxial.