

## 3

### Montagem da bancada experimental

Neste capítulo, serão apresentados, a bancada experimental com descrição dos seus componentes, e o procedimento experimental utilizado neste trabalho.

#### 3.1

#### Descrição da bancada experimental

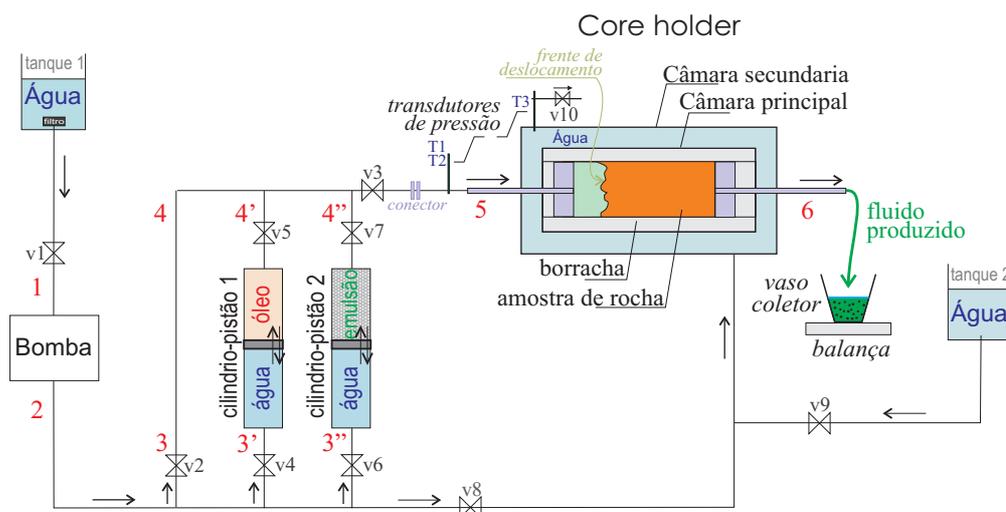


Figura 3.1: Representação esquemática da bancada experimental, onde percursos (i) 3-4 quando água é injetada, (ii) 3'-4' para injetar o óleo, e (iii) 3''-4'' para injetar a emulsão.

A bancada experimental utilizada neste trabalho foi projetada e construída durante o desenvolvimento desta dissertação. Encontra-se localizada no laboratório de Termociências do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio. Uma representação esquemática e uma foto da bancada são apresentadas nas Figs. 3.1 e 3.2, respectivamente. Os componentes principais e conexões auxiliares são mostrados: “porta-amostra” tipo Hassler (que

serve de alojamento do corpo de prova), reservatórios de água 1 e 2, bomba de vazão constante, cilindro-pistão 1 e 2, transdutores de pressão, computador, tubulações, válvulas, balança eletrônica e o vaso coletor.

A bancada foi projetada para realização de experimentos de escoamentos monofásicos e bi-fásicos através de um meio poroso. Os experimentos de escoamentos monofásicos foram realizados para saturar a amostra com óleo e determinar a permeabilidade da rocha utilizada. Os experimentos de escoamentos bi-fásicos foram realizados para estudar o processo de deslocamento de óleo através de injeção de água e/ou emulsões O/A. Os diferentes processos são descritos resumidamente a seguir.

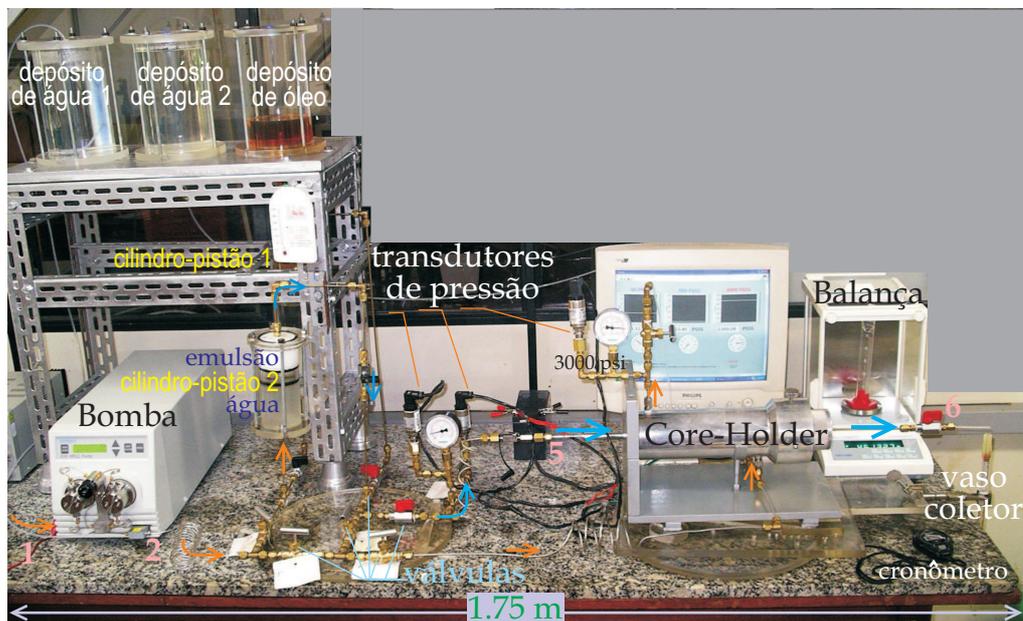


Figura 3.2: Fotografia da bancada experimental.

- Processo 1: injeção de óleo, seguindo o percurso 1-2-3'-4'-5-6 da Fig. 3.1. As válvulas são abertas e fechadas de forma que a água injetada pela bomba entre no cilindro-pistão 1, deslocando o óleo armazenado na parte superior do cilindro. O óleo desloca-se através do meio poroso até a vaso coletor. Os cilindros -pistão são necessários para evitar a troca do líquido que escoar através da bomba.
- Processo 2: injeção de água, seguindo o percurso 1-2-3-4-5-6 da Fig. 3.1. Neste caso a água injetada pela bomba escoar diretamente pela amostra de rocha, sem passar por algum cilindros-pistão.
- Processo 3: injeção da emulsão, seguindo o percurso 1-2-3''-4''-5-6 da Fig. 3.1. As válvulas são abertas e fechadas de forma que a água

injetada pela bomba entre no cilindro-pistão 2, deslocando a emulsão armazenada na parte superior do cilindro. Ao igual do que acontece com o óleo no processo 1, a emulsão também desloca-se através do meio poroso até a vaso coletor.

Uma descrição detalhada dos componentes da bancada é apresentada a seguir:

### **3.1.1 Bomba**

Utilizou-se uma bomba de deslocamento positivo e vazão constante, modelo Waters 515 HPLC.

Opera numa faixa de fluxo de 0 ml/min até 10 ml/min, com incremento de 0,001 ml/min e uma pressão máxima de 6000 psi (41370 kPa, 401 bars). Suas dimensões são 20,3 cm x 19,1 cm x 18.5 cm de altura, largura e profundidade respectivamente, e um peso de 15 kg. Fabricado em aço inox, safiro, selo de polímero reforçado com fluorocarbono e Tefcel de carbono reforçado. As temperaturas de operação recomendadas estão na faixa de 4°C a 40°C, e a umidade deve ser 80%. Alimentação recomendada de 110 VA (max) com 55 VA (típico), linha de voltagem de 85 a 264 VAC, frequência de 47 a 63 Hz monofásico, dois fusíveis de 3,15 A e 250 V.

A bomba contém um microprocessador que controla um motor de passo, e engranagens não circulares, que permitem entregar uma vazão constante e bastante precisa ao sistema.

Pelo motivo mencionado no parágrafo anterior, é imprescindível evitar o contato com elementos contaminantes que possam danificar seus componentes internos. A bomba foi utilizada unicamente para impulsionar água destilada. Para o óleo e a emulsão foi utilizado o mecanismo cilindro-pistão o qual evita o contato direto da bomba com estes fluidos. Um outro problema é que, ao ter contato a bomba com outros fluidos como o óleo e a emulsão, precisaria-se de limpar e lavar os componentes internos da bomba para cada mudança de processo.

### **3.1.2 Mecanismo cilindro-pistão**

Este sistema, como já foi mencionado, evita o contato direto de outros fluidos (óleo e emulsão) com a bomba, evitando a contaminação dos componentes internos da bomba e estendendo assim a sua vida útil.

Como o nome indica, é composto de um pistão que se desloca no interior de um cilindro (ambos de acrílico). Dois compartimentos são assim criados que permitem separar os dois fluidos: (i) água no compartimento inferior (em contato com a bomba), e (ii) óleo ou emulsão no compartimento superior (em contato com a câmara portadora de amostras).

O água impulsionada pela bomba, exerce pressão sobre o pistão móvel no interior do cilindro, que a sua vez empurra o fluido contido no compartimento superior deslocando-o ao largo da bancada experimental.

O cilindro-pistão trabalha a uma pressão ao redor de 50 psi (tendo o seu equivalente em 0.35 MPa) e 100 psi (0.7 MPa), sendo que em algumas ocasiões a pressão pode chegar a valores tão altos quanto 1000 PSI (7 MPa). Por tanto, deve-se verificar se a tensão tangencial à qual está submetido o dispositivo está dentro dos limites de tolerância recomendados pelos fabricantes de acrílicos.

Fabricantes nacionais como a INCOMPLAST e SAFPLAST, consideram que a tensão de ruptura à tração para o Acrílico varia entre 8000 PSI (55 MPa) e 11000 PSI (76 MPa), segundo os testes ASTM D 790. Por segurança utilizaremos uma tensão de ruptura máxima  $\sigma_{t_{max}} = 55$  MPa.

A tensão tangencial em cilindros de parede fina é calculada através da equação

$$\sigma_t = \frac{pr}{e} \quad (3-1)$$

onde  $p$  é a pressão interior no cilindro, considerada como 7 MPa,  $r$  é o raio interno do cilindro, igual a 2.937 cm, e  $e$  é a espessura da parede do cilindro igual a 0.5 cm. Com isso encontramos que a tensão de ruptura à flexão na direção tangencial é  $\sigma_t = 41.1$  MPa.

Observa-se que  $\sigma_t < \sigma_{t_{max}}$ , este resultado indica que o cilindro-pistão pode trabalhar nas condições de operação sem sofrer dano algum.

### 3.1.3 Câmara “porta-amostra”, tipo Hassler

A câmara “porta-amostra” ou “core-holder”, tipo Hassler utilizada para criar um fluxo unidirecional em uma amostra de rocha (recomendada por Koederitz et. al. [5]) é construída basicamente em alumínio 6351, para corpo de prova de comprimento máximo de 100 mm e pressão de trabalho de 2300 psi, com uma entrada e uma saída. A parte superior da fotografia apresentada na Fig. 3.3 mostra a câmara com suas dimensões, e na parte

inferior os componentes (tampa de entrada, amostra, tampa de saída e o tubo de borracha) desmontadas.

Na Fig. 3.4 um esquema com os detalhes do conjunto é apresentado. O core-holder é formado por duas câmaras cilíndricas concêntricas: uma câmara principal -cuja parede externa é o tubo de borracha- serve de recinto do corpo de prova, e uma câmara secundária externa à câmara principal que é preenchida com água a uma pressão confinante de 2300 PSI. As duas câmaras são mantidas isoladas entre elas pelo tubo de borracha.

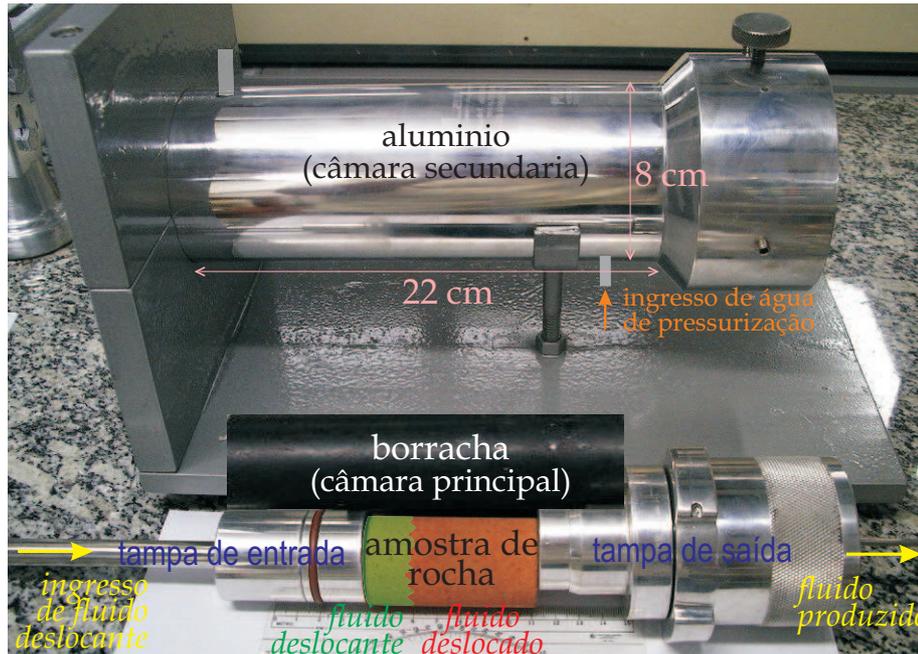


Figura 3.3: Esquema mostrando os componentes da câmara portadora de amostras.

A câmara secundária exerce uma pressão elevada sobre a borracha para mantê-la unida à superfície do corpo de prova, evitando assim o vazamento do fluido deslocante ou deslocado entre a borracha e a amostra. Com isso, o fluido é obrigado a escoar axialmente entre os canais porosos do corpo de prova cilíndrico. Não há troca de fluidos entre as duas câmaras nem com o exterior.

A câmara principal tem duas tampas identificadas como de entrada e de saída. A tampa de entrada é conectada à bomba e/ou ao cilindro-pistão, e a tampa de saída a um tubo que leva o líquido ao vaso coletor. As duas tampas contêm umas canaletas para permitir uma distribuição uniforme do fluido no corpo de prova.

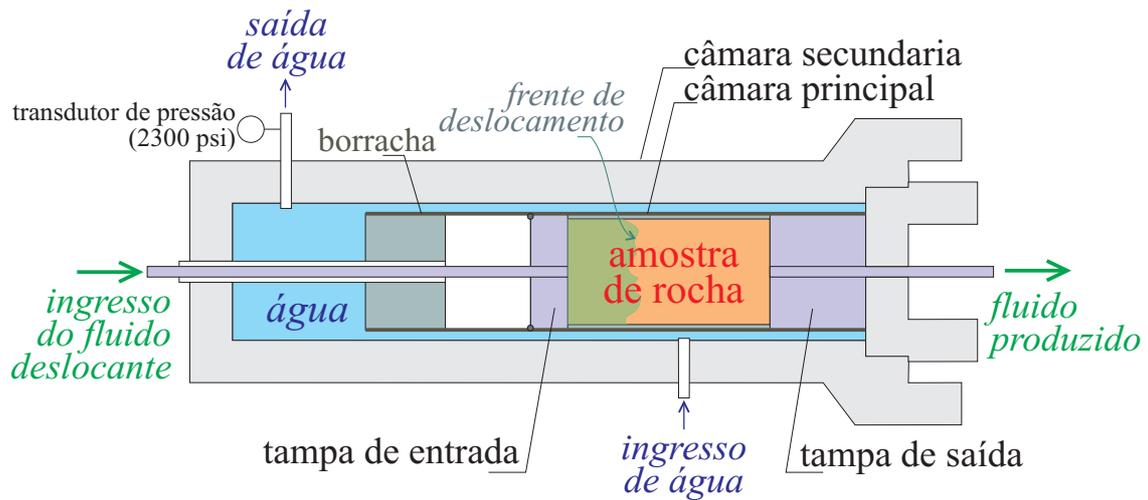


Figura 3.4: Esquema mostrando os componentes da câmara portadora de amostras.

### 3.1.4 Corpo de prova

O corpo de prova ou testemunho é uma amostra de rocha (arenito Arcósio de coloração avermelhada) que representa o meio poroso por onde os fluidos escoam. A amostra de formato cilíndrico tem 3.8 cm de diâmetro e 7.5 cm de comprimento. A fotografia da Fig. 3.5 mostra o corpo de prova e as vistas parciais das tampas de entrada e de saída com os detalhes dos canais de distribuição do fluido.



Figura 3.5: A amostra de rocha.

O arenito utilizado foi fornecido pela Petrobrás com valores de porosidade  $\phi = 27,3\%$  e permeabilidade absoluta de  $k = 193$  mD. Medições destas propriedades também foram efetuadas neste trabalho e o detalhe do procedimento é discutido na seção §4.1. O diâmetro médio dos poros ex-

ternos, foi determinado através de visualização com microscópio ótico e é considerado aproximadamente igual a  $\bar{D} = 30 \mu\text{m}$ .

### 3.1.5

#### Transdutores de pressão

A bancada experimental conta com três transdutores de pressão, com valores de fundo de escala iguais a 60 psi, 500 psi e 3000 psi. Como mostra as Figs. 3.2 e 3.1, os transdutores de 60 psi (T1) e de 500 psi (T2) estão instalados na entrada da câmara Hasler e servem para registrar a pressão com que o fluido ingressa à câmara. O transdutor de 3000 psi (T3) permite verificar a pressão de confinamento da câmara secundária.

Os transdutores Validyne (de 60 psi, 500 psi e 3000 psi) são modelos P2-60-V, P2-500-V e P2-3000-V respectivamente. A faixa de alimentação de voltagem é de 6,6 Vdc até 35 Vdc. Apresentam voltagem de saída de 0,1 Vdc até 5,1 Vdc.

### 3.1.6

#### Aquisição e armazenamento de dados

A parte responsável pela aquisição e armazenamento das medidas é composta pela placa de aquisição e o conjunto computador/software.

A placa de aquisição de dados recebe sinais analógicas dos transdutores de pressão e os converte em sinais digitais que podem ser processados pelo computador.

A placa utilizada é da *National Instrument*, modelo NI USB-6008, conta com 8 canais de entrada de 12-Bit de resolução e 10 kS/s de velocidade de aquisição, voltagem máxima de +/-20V; tem 2 canais de saída com uma resolução de 12 bits digitais. É conectada ao computador por meio de um cabo tipo USB.

A especificação mais importante para a placa é sua velocidade ou frequência de aquisição. Neste caso a frequência de operação da placa supera com folga os pulsos gerados pelos transdutores de pressão.

As incertezas para os transdutores de 60 psig, 500 psig e 3000 psig são 0,029297 psig, 0,24414 psig e 1,46484 psig respectivamente.

A bancada experimental conta com um computador Pentium 4, micro processador de 1,99 GHz e 480 MB de memória RAM.

A função do computador, é de obter os sinais fornecidos pela placa de aquisição, armazenar e registrar seus valores em arquivos de texto, que permitem o seu futuro processamento.

O software de controle foi desenvolvido no ambiente LabVIEW<sup>®</sup> 7.1. A interface permite executar diversos comandos de controle e monitoramento das medidas, permitindo a verificação do andamento do trabalho em tempo real.

### 3.1.7

#### Balança eletrônica

Para medir a massa de fluido coletada é usada uma balança analítica eletrônica digital Gehaca modelo AG-200, com carga máxima de 210 g e sensibilidade 0.0001 g.

A balança pesa 5,2 kg, conta com protetor de vento tipo capela de vidro, altura livre de 250 mm e três portas. Isto permite que o fluido recuperado seja pesado com máxima exatidão e mínima perturbação externa.

### 3.1.8

#### Óleos (Talpa 30 e Tivela 460)

um jeito ideal de realizar os experimentos, seria de recuperar óleo natural “cru” do corpo de prova, mas, o problema é a grande quantidade de componentes tóxicos e corrosivos que o conformam. Componentes como os aromáticos.

O óleo Talpa 30 é um óleo mineral com densidade 0.9101 g/ml e viscosidade 410 mPa-s 25 °C, propriedades que podem encontradas em alguns tipos de óleos naturais, mas, sem o problema dos componentes tóxicos. O Talpa 30 é utilizado para saturar o corpo de prova, óleo que será recuperado em processos posteriores mediante o deslocamento por injeção de água e/ou emulsão.

O óleo Tivela 460 é um óleo sintético, este óleo foi utilizado para preparar as emulsões, tem viscosidade de 1000 mPa-s e quase a mesma densidade da água destilada, igual a 998 g/ml. Foi escolhido um óleo com esta densidade para reduzir a separação da fase externa (água) com a fase interna (óleo) da emulsão.

Ambos óleos são produtos da Shell.

## 3.2 Procedimento experimental

Nesta seção será detalhado o procedimento adotado para obter os resultados experimentais apresentados no capítulo 5 deste trabalho.

Para facilitar a compreensão, a explicação do procedimento foi dividido em quatro etapas: (i) uma etapa inicial onde são explicadas as condições iniciais da bancada para se fazer uma boa experimentação; (ii) uma segunda etapa que é injeção de óleo para saturar o corpo de prova (com o óleo); (iii) uma terceira etapa onde água é injetada para recuperar o óleo contida no corpo de prova; e finalmente (iv) a quarta etapa onde emulsões são injetadas para recuperar o óleo, como alternativa à injeção de água.

Para ajudar na leitura, a Fig. 3.6 é mostrada novamente (já apresentada no início do capítulo), a qual será referenciada repetidamente ao longo desta seção.

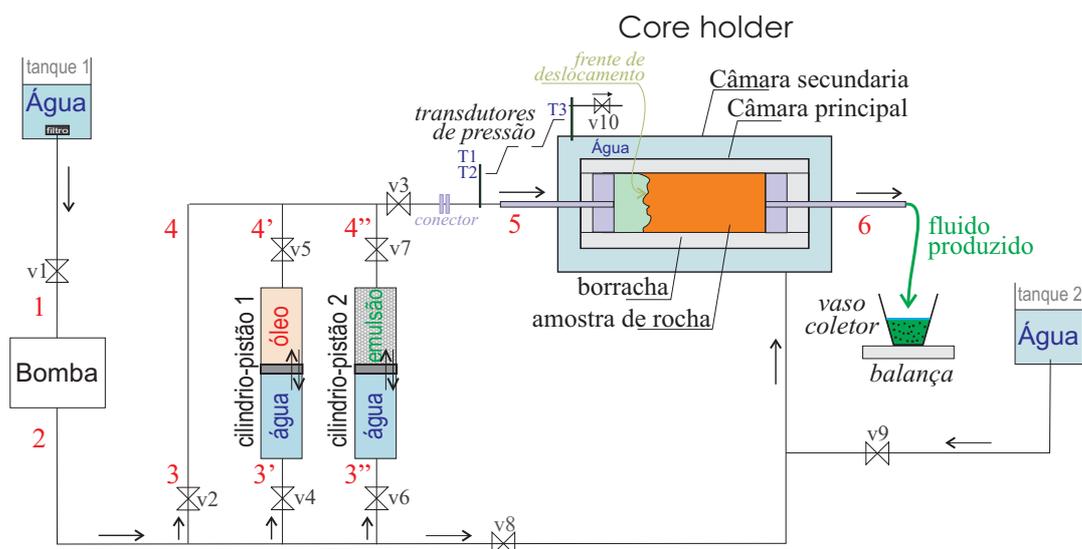


Figura 3.6: Representação esquemática da bancada experimental, onde os percursos 1-2 + (I) 3-4 para injeção de água, (II) 3'-4' para injeção de óleo, e (III) 3''-4'' para injeção da emulsão.

### 3.2.1 Preparação da bancada

Antes de proceder com os testes é necessário observar o correto funcionamento da bancada e seus componentes, ver Fig. 3.6.

1. Verificar que o volume de água e óleo (ou emulsão, dependendo do teste) nos reservatórios seja o suficiente para a realização do o experimento.
2. Fechar todas as válvulas do sistema (identificadas com v1, v2,..., v10 na figura Fig. 3.6).
3. Limpar os elementos da câmara “porta-amostra”: o tubo de borracha e tampa de saída. Utilizar jatos de ar na tampa de saída para retirar algum fluido ou agente poluente.
4. Limpar o filtro do fluido de alimentação da bomba, localizado no tanque 1.
5. Ligar a bomba e os outros equipamentos componentes da bancada (balança, transdutores, computador) 30 minutos antes da sua utilização. A bomba é ligada sem fazer circular agua para alcançar o regime ideal de funcionamento.
6. Purgar a bomba e verificar seu correto funcionamento comparando as vazões entregada pela bomba com o volume alcançado numa proveta graduada para um tempo determinado.
7. Verificar possíveis vazamentos no sistema.
8. Limpar e calibrar a balança.
9. Manter a temperatura ambiente em 23 °C para realizar os experimentos.
10. Eliminar qualquer tipo de perturbação como correntes de ar ou vibrações que possam mascarar as medições.

### 3.2.2

#### **Processo 1: Saturação da amostra de rocha com óleo**

Inicialmente o corpo poroso deve estar limpo e seco. Também é necessário satura-lo completamente com óleo antes de iniciar os ensaios de recuperação. Este processo de saturação segue o circuito 1-2-3'-4'-5-6 da Fig. 3.6, para o qual somente as válvulas v1, v4, v5 e v3 devem ser mantidas abertas. O processo de saturação segue os seguintes passos.

1. Embeber a amostra em agua para facilitar o ingresso do óleo. Isto foi feito no laboratório do GTEP (Grupo de Tecnologia e Engenharia de

Petróleo, Dpto. de Eng. Civil da PUC-Rio) utilizando uma bomba de vácuo. Este passo é explicado com maior detalhe na sub-seção 4.1.1.

2. Limpeza da linha 2-3': Retirar o cilindro-pistão 1 do circuito e encher manualmente o compartimento superior com óleo Talpa 30. Abrir as válvulas v1 e v4 (mantendo as outras fechadas), bombear água por 10 minutos para eliminar o ar da linha 2-3' ou algum outro agente poluente. Conectar o cilindro-pistão 1.
3. Limpeza da linha 4'-5: abrir o conector -do ponto 5- (separando o core-holder do circuito) e circular líquido para limpar a linha. Feito isso, colocar o core-holder na posição original.
4. Limpeza da linha 5-6: Desmontar o core-holder, substituir a câmara principal (juntamente com o corpo de prova e a tampa de saída) por um tubo de PVC (do mesmo diâmetro da câmara) e deslocar óleo diretamente desde a tampa de entrada até o vaso coletor na saída. O corpo de prova é guardado submerso num depósito com óleo. Depois de 30 minutos deter a bomba, retirar o tubo de PVC. Para garantir a limpeza da linha, utilizar ar comprimido na tampa de saída (que conecta a câmara Hassler ao vaso coletor).
5. Montagem do conjunto: Retirar o corpo de prova do depósito com óleo Talpa 30, secar ligeiramente a superfície com uma toalha de papel, pesá-lo e colocá-lo dentro do tubo de borracha da câmara principal; montar o conjunto (câmara principal mais tampa de saída) como mostrado na Fig. 3.4.
6. Pressurização da câmara secundária: Isto é feito em duas etapas: (i) mantendo abertas unicamente as válvulas v9 e v10 encher manualmente utilizando o tanque de água 2, (ii) mantendo fechadas todas as válvulas com exceção de v1 e v8, utilizar a bomba para fornecer água à câmara secundária até atingir a pressão confinante de 2500 psi a qual é monitorada pelo transdutor T2. Este processo leva aproximadamente de 20 minutos. Fechar a válvula v8, desligar a bomba e observar se a pressão confinante é mantida.
7. Bombeio do óleo (circuito 1-2-3'-4'-5-6): Mantendo abertas as válvulas v1, v4, v5 e v3, ligar a bomba a uma vazão de 0.03 ml/min até que 260 ml (13 VP, onde VP significa volume poroso) de óleo sejam recuperados no vaso coletor. Este volume de óleo é coletado num

tempo aproximado de seis dias contínuos de injeção de óleo no corpo de prova, a vazão mencionada.

8. Determinação da saturação de óleo: Finalizado o procedimento desligar a bomba, fechar todas as válvulas, retirar o corpo de prova da câmara, seca-lo superficialmente, pesa-lo e determinar a saturação de óleo ( $S_o$ ) atingida. A saturação de óleo é determinada, comparando as densidades e os pesos do corpo de prova no final deste processo, e depois de o corpo ter sido embebido em água (peso molhado, na sub-seção §4.1.1). O procedimento é descrito detalhadamente na Sub-seção §4.1.3. Para este projeto, a  $S_o$  deve estar ao redor de 80% e 85%, caso este valor não seja alcançado o passo anterior (passo #7) deve ser repetido.

### 3.2.3

#### Processo 2: Deslocamento do óleo por injeção de água

Finalizado o processo 1, a amostra de rocha encontra-se saturada com óleo e uma pequena fração de água. Água é então injetada seguindo o circuito 1-2-3-4-5-6 para deslocar o óleo contido na amostra. O procedimento é descrito nesta subseção.

1. Limpeza da linha 2-3-4-5: desmontar o core-holder e substituir a câmara principal de forma similar ao passo #4 do processo 1, sendo que desta vez água é impulsionada para limpar o interior da linha.
2. Montagem do conjunto: repetir o passo #5 do processo 1.
3. Pressurização da câmara secundária: repetir o passo #6 do processo 1.
4. Bombeio da água (circuito 1-2-3-4-5-6): Mantendo abertas as válvulas v1, v2 e v3, ligar a bomba a uma vazão de 0.005 ml/min, 0.010 ml/min ou 0.015 ml/min segundo seja necessário.
5. Coleta de dados: O fluido deslocado é coletado numa pipeta graduada registrando-se para cada 1 ml de fluido, o peso, o tempo transcorrido, a vazão utilizada, e a pressão de injeção no transdutor T1. O tempo é contabilizado desde o instante em que o primeiro pingo de fluido cai na pipeta. Toda vez que ar é produzido (o qual acontece no início da injeção e no início da produção de água) o tempo não é contabilizado.

6. Fração de óleo recuperado: Com os dados coletados (vazão, volume, massa e tempo) e mediante uma diferença de densidades dos dois fluidos, determina-se as frações dos fluidos que estão sendo recuperados do total de fluido produzido nesse instante.
7. Número de experimentos: Os passos #5 e #6 são repetidos até que a produção de óleo atinja um patamar constante. Nestas condições a produção de água é superior à do óleo tornando o processo anti-econômico em casos reais.
8. Determinação da saturação de óleo residual ( $S_{or}$ ): Finalizado o procedimento desligar a bomba, fechar todas as válvulas, desmontar a câmara Hassler, retirar o corpo de prova, seca-lo, pesa-lo e determinar a saturação de óleo remanescente depois da injeção da água. A fração de óleo remanescente, é determinada comparando a diferença de massas entre o peso do corpo obtido neste processo e o peso do corpo obtido depois de embeber o corpo de prova em água destilada, e com a diferencia de densidades entre o óleo e a água; O procedimento é descrito com maior detenimento na Sub-seção §4.1.3. Esta fração de óleo varia de um experimento para outro. O corpo de prova é guardado submerso num depósito contendo óleo Talpa 30.

O procedimento anterior permite obter resultados como os mostrados na Fig. 3.7, onde os volumes de óleo e água produzidos são apresentados em função dos volumes porosos injetados. O patamar constante do volume de óleo produzido é também observado na figura.

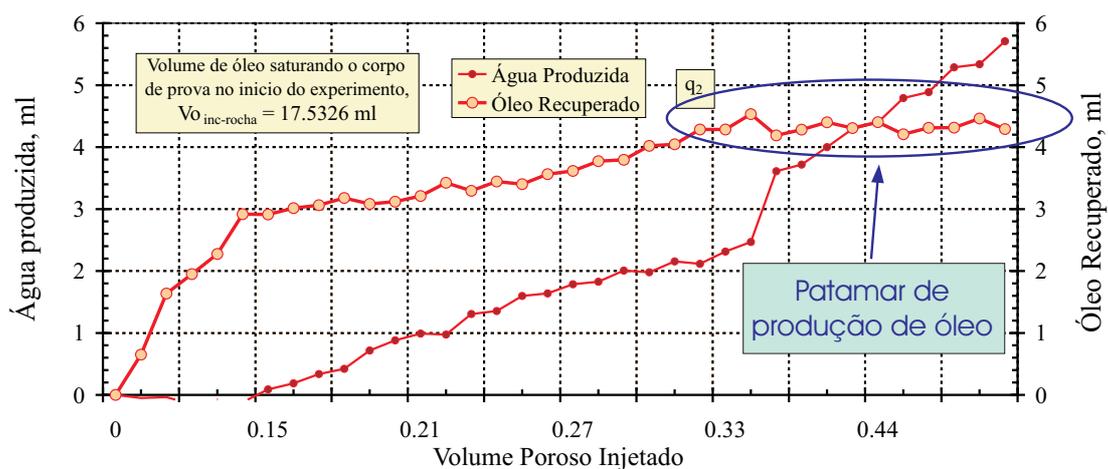


Figura 3.7: Recuperação de óleo por injeção de água a uma vazão de alimentação de  $Q_2 = 0.010$  ml/min.

### 3.2.4

#### Processo 3: Deslocamento do óleo por injeção contínua de emulsão

Finalizado o processo 1, a amostra de rocha encontra-se saturada com óleo. Agora uma emulsão óleo-água é injetada seguindo o circuito 1-2-3"-4"-5-6 na Fig. 3.6, para deslocar o óleo contido na amostra, o procedimento é descrito nesta sub-seção. As emulsões utilizadas são as descritas na sub-seção § 4.3.2.

1. Limpeza da linha 2-3": Retirar o cilindro-pistão 2 do circuito e encher manualmente o compartimento superior com a emulsão a utilizar. Abrir as válvulas v1 e v6 (mantendo as outras fechadas), bombear água por 10 minutos para eliminar o ar da linha 2-3" ou algum outro agente poluente. Conectar o cilindro-pistão 2.
2. Limpeza da linha 4"-5: Repetir o passo #3 do processo 1.
3. Limpeza da linha 5-6: Repetir o #4 do processo 1, sendo que fluindo emulsão ao invés de água.
4. Montagem do conjunto: Repetir o passo #5 do processo 1.
5. Pressurização da câmara secundária: Repetir o passo #6 do processo 1.
6. Bombeio da emulsão (circuito 1-2-3"-4"-5-6): Mantendo abertas as válvulas v1, v6, v7 e v3, ligar a bomba a uma vazão de 0.015 ml/min.
7. Coleta de dados: Repetir o passo #5 do processo 2.
8. Fração de óleo recuperado: Repetir o passo #6 do processo 2.
9. Número de experimentos: Os passos #7 e #8 são repetidos até que a produção de óleo atinja um patamar constante.
10. Determinação da saturação de óleo residual ( $S_{or}$ ): Repetir o passo #8 do processo 2.

### 3.2.5

#### Processo 4: Recuperação terciária de óleo por injeção de água e emulsão em forma alternada

O óleo contido na amostra porosa pode ser recuperado de diversas formas. Neste procedimento água e emulsão foram injetadas em forma alternada para estudar o efeito na quantidade de óleo produzido. Primeiramente é injetada água até alcançar um patamar constante no volume de óleo produzido. A seguir, é injetado um volume de emulsão igual a 1/3 do volume poroso do corpo de prova. Estes processos seguem primeiramente, o circuito 1-2-3-4-5-6 para a injeção de água e o circuito 1-2-3"-4"-5-6 para a injeção da emulsão, na Fig. 3.1.

1. Injeção de água: repetir os passos #1 ao #7 do processo 2, até alcançar a saturação irreduzível de óleo mediante a injeção de água.
2. Injeção de emulsão: Repetir os passos #6 ao #9 do processo 3 até que o volume de emulsão injetada seja igual a 30% do volume poroso do corpo de prova.
3. Injeção de água: Repetir os passos #4 até #7 do processo 2 injetando água até que uma nova saturação irreduzível do óleo seja atingida.
4. Determinação da saturação de óleo residual ( $S_{or}$ ): Repetir o passo #8 do processo 2.

### 3.2.6

#### Processo 5: Medição da permeabilidade

Antes de saturar o corpo de prova com óleo e preparar assim o corpo de prova para a realização dos experimentos de recuperação de óleo mediante a injeção de água, determinamos a permeabilidade do corpo de prova. Da mesma maneira foi determinada a permeabilidade do corpo de prova antes de começar os experimentos de recuperação de óleo mediante a injeção de emulsões (isto é depois dos experimentos de recuperação de óleo mediante a injeção de água). Também, depois de cada experimento de recuperação de óleo mediante a injeção de emulsão, é determinada a permeabilidade, para determinar se a permeabilidade do corpo de prova foi afetada pela injeção da emulsão. A determinação da permeabilidade entre cada experimento de recuperação de óleo foi feita através de um fluxo de óleo pelo meio poroso.

No procedimento para determinar a permeabilidade do corpo de prova, mediante o fluxo de água, o fluido segue o mesmo circuito do processo 2. O

procedimento para determinar a permeabilidade do corpo de prova mediante o fluxo de óleo, percorre o mesmo circuito do processo 3.