

4

Resultados Experimentais

Neste capítulo, apresentam e discutem-se os resultados da parte experimental do projeto, está dividido em três seções, conforme ao objetivo estabelecido. Estas seções são: (i) Visualização do escoamento de emulsões através do meio poroso, (ii) Efeito do número de capilaridade no processo de deslocamento de óleo por injeção de emulsões em meios porosos, e (iii) Efeito da injeção de emulsões no deslocamento de óleo de duas amostras de arenito com diferentes permeabilidades colocadas em paralelo.

O meio poroso é primeiramente saturado com água para determinar a permeabilidade e o volume poroso do mesmo. A injeção de água é logo substituída por injeção de óleo mineral para deslocar a água, o óleo é continuamente injetado até atingir a saturação irreduzível da água. Todos os meios porosos utilizados neste projeto, passaram previamente por estes processos, como parte do seu acondicionamento para a realização dos experimentos, cujos resultados são mostrados neste capítulo.

Para todos os experimentos utilizamos dois tipos de fluidos deslocantes: (i) solução água-surfactante e (ii) emulsão. Para facilitar a descrição, neste capítulo a solução água-surfactante é chamada simplesmente de água.

4.1

Visualização do escoamento de emulsões através do meio poroso.

Nesta seção são apresentados os resultados dos experimentos de deslocamento de óleo mediante a injeção de solução água-surfactante e emulsão em forma alternada, através de um meio poroso não consolidado de esferas de vidro. Estes resultados mostram visualmente como os fluidos injetados (solução água-surfactante e emulsão) escoam, e como estes deslocam o fluido (óleo) contido na cavidade porosa do meio poroso transparente.

4.1.1

Resultados # 1

Os resultados mostrados a seguir, pertencem ao primeiro experimento bem sucedido. Este experimento consistiu em determinar o fator de recuperação de óleo mediante a injeção de água e emulsão em um meio poroso transparente, e visualizar o seu comportamento.

A Fig. 4.1 mostra o comportamento do fator de recuperação de óleo e a pressão de injeção em função ao número de volumes porosos de fluidos

injetados. Este gráfico também mostra os instantes em que as fotografias foram obtidas. O experimento iniciou com a injeção de água, e então o óleo foi produzido, no começo a fração de óleo produzido foi muito grande, elevando rapidamente o fator de recuperação de óleo, mas com o avanço no tempo a fração de óleo produzido foi diminuindo. Para quando se injetaram aproximadamente 10 Volumes Porosos (VP) de água, o fator de recuperação tinha-se estabilizado em um patamar de aproximadamente 41% e a pressão de injeção estava em 0.3psi (esta pressão estava em um suave e contínuo declínio praticamente desde o início do experimento). A partir deste ponto se injetou 0.3 VP de emulsão, para, seguidamente retornar à injeção de água. Devido à fração de emulsão injetada, o fator de recuperação se elevou de 41% para aproximadamente 48%, e a pressão de injeção aumentou moderadamente para 0.45 *psi* e caiu novamente a um patamar de 0.4 *psi*. Então uma segunda fração de emulsão foi injetada, desta vez com 0.6 VP. O fator de recuperação de óleo e a pressão de injeção se elevaram novamente, e a injeção de água foi retomada imediatamente após a fração de emulsão, graças ao segundo banco de emulsão, o fator de recuperação atingiu um novo patamar de aproximadamente 57% e a pressão se elevou rapidamente até 1 *psi* e desceu da mesma forma para 0.5 *psi*. Neste ponto (no 17 VP) a emulsão é novamente injetada, mas desta vez em forma contínua até o final do experimento. Observamos que o fator de recuperação de óleo se elevou até o patamar de 96% e a pressão de injeção chegou a 3.7 *psi*.

É importante observar que o nível estabilizado de pressão de injeção após um bloco de emulsão injetada é maior do que o anterior, caracterizando a abertura de novos caminhos do fluxo de água.

As fotos mostradas na Fig. 4.2, consistem na visualização de um processo de deslocamento do óleo (cor amarelo) mediante a injeção alternada de água (cor azul) e emulsão (cor branco).

- Foto #1, mostra o meio poroso saturado com óleo a saturação irreduzível de água. Neste ponto começou o experimento de deslocamento do óleo mediante injeção de água e emulsão.
- Foto #2, mostra o meio poroso depois de 10 volumes porosos de injeção de água, observa-se a invasão da água, formando caminhos preferenciais e deixando bolsões de óleo.
- Foto #3, foi tomada no final do segundo ciclo de injeção de água e começo do segundo banco de injeção de emulsão, observa-se como a emulsão invadiu os caminhos preferenciais.

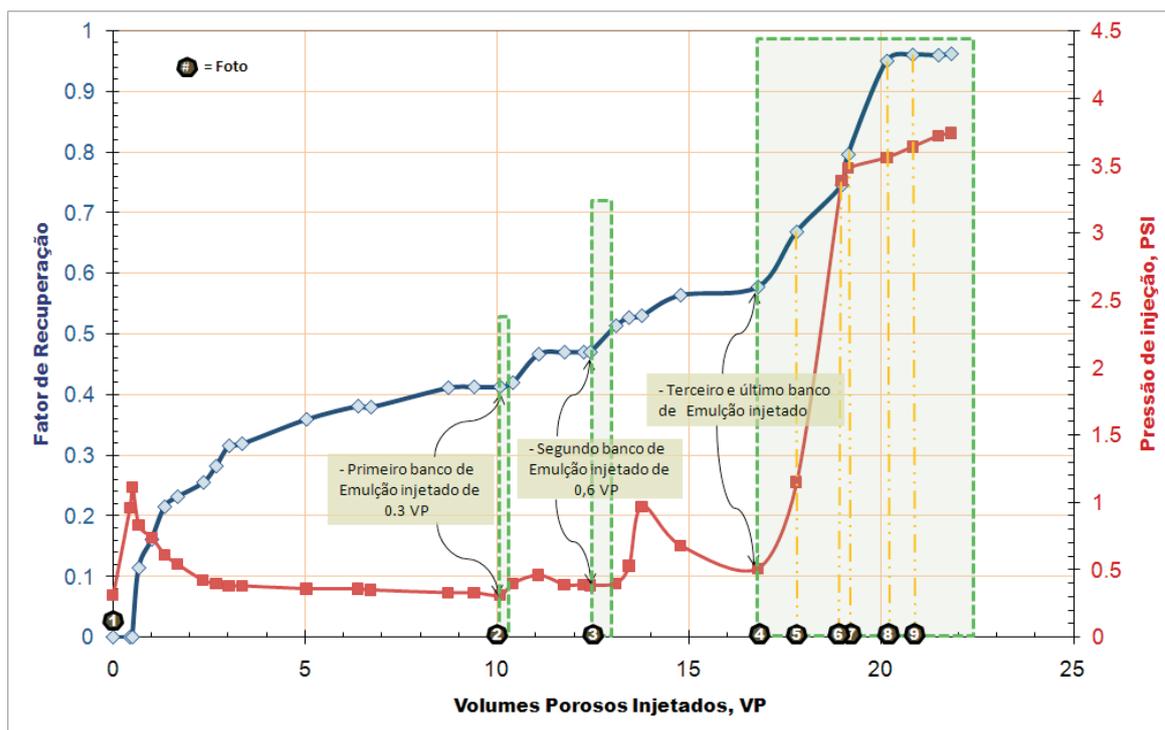


Figura 4.1: Fator de Recuperação mediante injeção alternada de água e emulsão O/W, em um meio poroso de vidro.

- Foto #4, foi tomada no final do terceiro ciclo de injeção de água e começo do terceiro banco de injeção de emulsão, observa-se a formação de um pequeno banco de óleo.
- Foto #5, mostra o banco de óleo aumentando de tamanho, ao mesmo tempo que é empurrado para a frente, pela emulsão injetada.
- Fotos #6 até #9, mostra o avanço do banco de óleo pela injeção contínua de emulsão.

A água foi colorida com um marcador azul para visualizar as áreas do meio poroso transparente varridas pela injeção de água. Nas fotografias 2 e 3 podemos observar claramente as áreas onde o óleo não foi deslocado (cor amarelo). Na foto 4, podemos observar um banco de óleo formado dentro do meio poroso. A injeção contínua de emulsão empurrou o banco de óleo em direção à saída, levando o experimento a um alto fator de recuperação.

Os resultados deste experimento mostram duas conclusões importantes:

1) A injeção de bancos de emulsões alterou a mobilidade da fase aquosa injetada, abrindo novos caminhos para serem varridos pelo fluido injetado, como mostrado na comparação das fotos 2 e 3.

2) Na escala de poros, o padrão de fluxo do deslocamento de óleo por emulsão é diferente do padrão de deslocamento de óleo por água. Durante

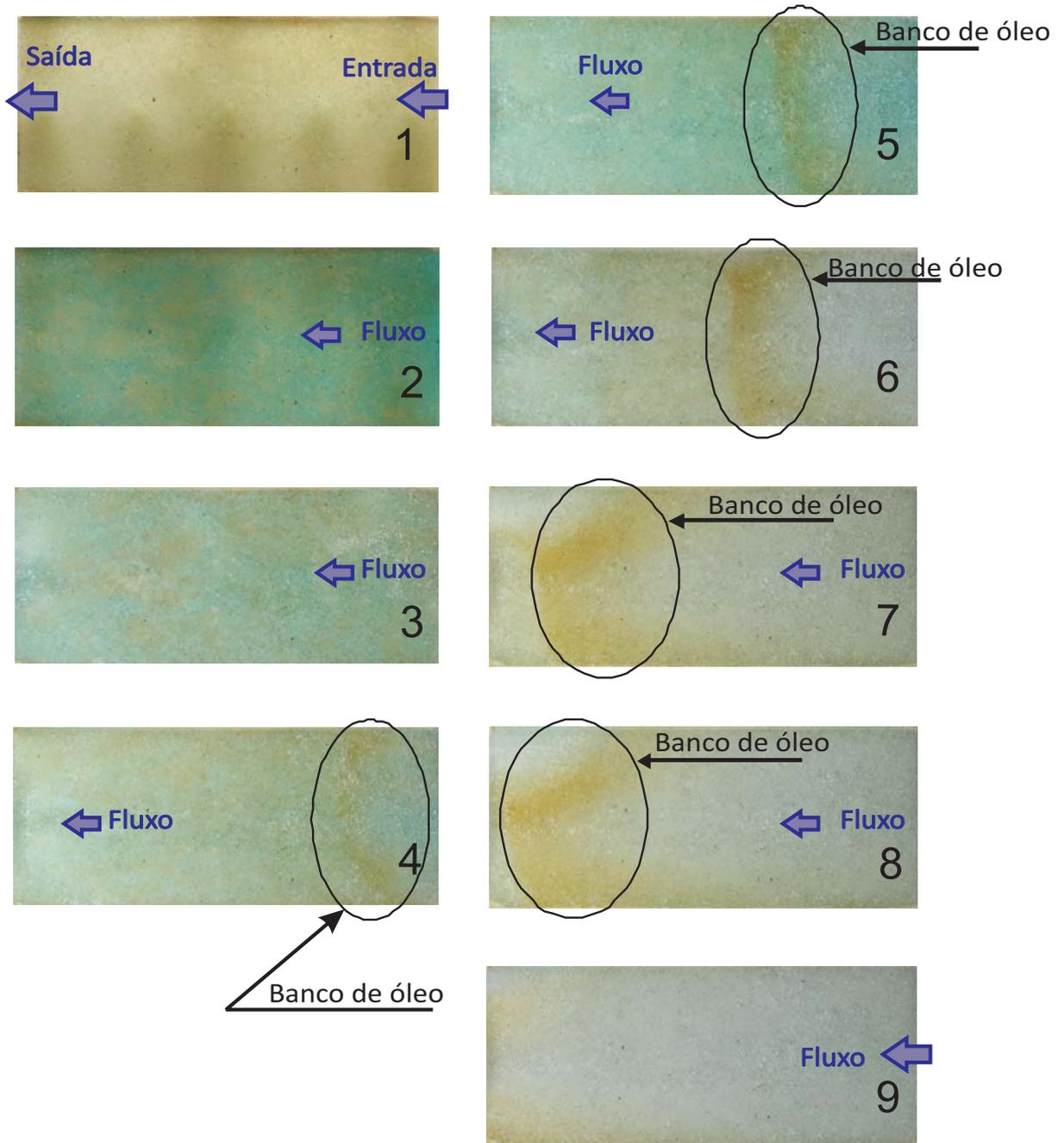


Figura 4.2: Fator de Recuperação mediante injeção alternada de água e emulsão O/W, em um meio poroso de vidro.

o processo de injeção contínua de emulsão ao final do experimento, observa-se o aparecimento de um banco de óleo sendo deslocado através do meio. A formação deste banco de óleo evidencia a redução da saturação residual de óleo no escoamento óleo-emulsão.

Neste experimento sentiu-se falta de um contraste mais definido entre as cores das três fases (água, óleo e emulsão). O experimento apresentado a seguir é uma tentativa de melhorar este aspecto.

4.1.2

Resultados # 2

A Fig. 4.3, mostra outro processo de deslocamento de óleo mediante injeção de água e emulsão através de um meio poroso de vidro. Desta vez todos os fluidos utilizados no experimento foram coloridos, onde o óleo que satura o meio poroso está colorido de verde, a água é colorida em azul e a emulsão está colorida de vermelho. Como no experimento anterior, as fotos que aparecem na figura também foram obtidas nos instantes mais representativos ao longo do experimento de deslocamento de óleo, e serão descritas a seguir.

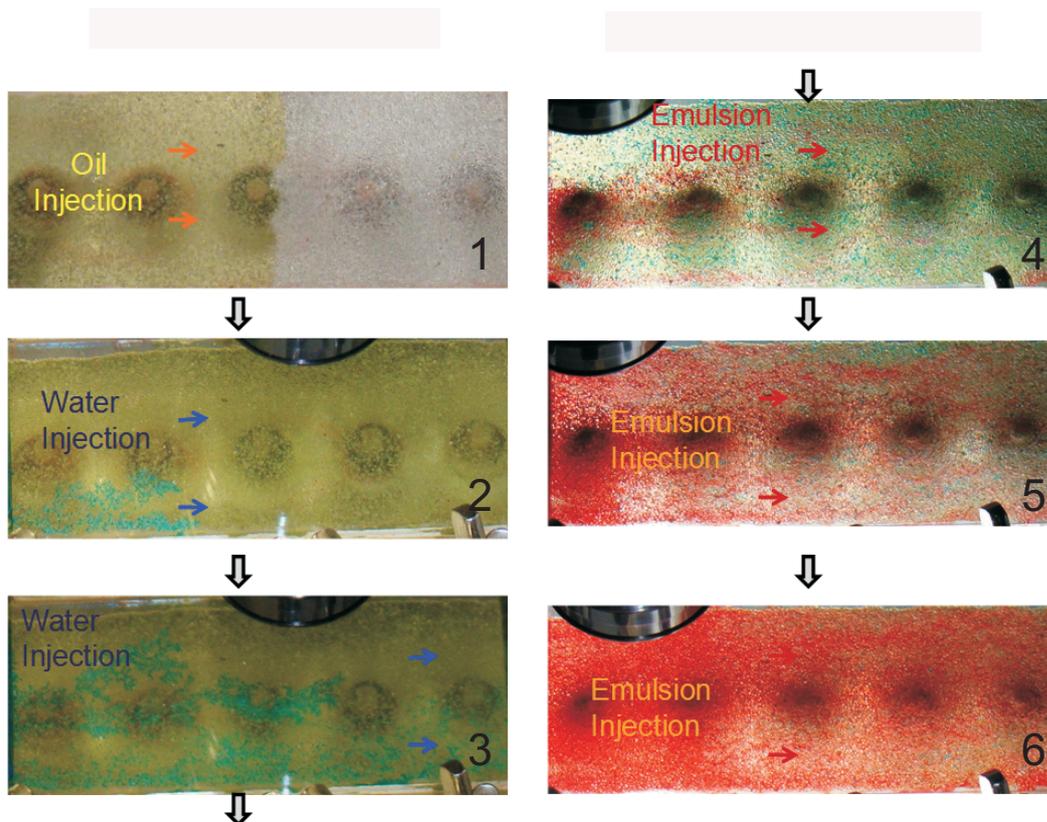


Figura 4.3: Fotografias mostrando o segundo processo de Recuperação mediante injeção alternada de água e emulsão o/a, em um meio poroso de vidro.

- Foto #1: O meio poroso sendo saturado com óleo até a saturação irreduzível de água.
- Foto #2: No início do experimento a água injetada começa a formar caminhos preferenciais através do meio poroso saturado com óleo.
- Foto #3: Mais caminhos preferenciais formados pela água injetada.
- Foto #4: Emulsão invadindo os caminhos preferenciais formados pela água.
- Foto #5: Depois da injeção de um novo ciclo de água-emulsão, a emulsão invadiu os caminhos preferenciais e começa a se-aglomerar.
- Foto #6: Depois da injeção de um terceiro ciclo de água, uma área muito maior do meio poroso é invadida pelo novo banco de emulsão.

Também se utilizaram lentes de alta resolução acoplados a outra câmera para visualizar o deslocamento dos fluidos na escala de poro (visualização microscópica). As fotos obtidas são mostradas na Fig. 4.4. Esta figura mostra em detalhe as gotas de emulsão *o/a* através de alguns poros formados pelo meio poroso de esferas de vidro.

A figura mostra 6 fotografias. Na parte esquerda observamos três fotografias, as quais mostram o mesmo ponto em diferentes intervalos de tempo, podemos ver que duas esferas de vidro formam uma garganta de poro, de cima para baixo, vemos que na primeira foto algumas gotas da fase dispersa da emulsão começam a se-aglomerar, mas como o tamanho das gotas é muito pequeno comparadas com o tamanho de poro, em um pequeno aumento da pressão, estas acabaram se dispersando e passando sem maiores dificuldades pela garganta, como mostram as seguintes fotos 2 e 3. As fotos da parte direita, mostram outro ponto do meio poroso em diferentes intervalos de tempo, de cima para baixo, estas ilustram um processo de bloqueio parcial de uma garganta formada por duas esferas de vidro. Observamos uma gota (cor vermelho) de diâmetro similar ao tamanho da garganta sendo retida e bloqueando parcialmente o poro. Esta gota tem tamanho similar ao tamanho da garganta, mas não o bastante, e depois de pouco tempo acabou se deformando devido a um aumento da pressão, conseguindo passar através da garganta.

Neste experimento as gotas das emulsões não foram o suficientemente grandes para serem bem maiores do que as gargantas dos poros, mas foram suficientes para observar o efeito de mudança de mobilidade da fase aquosa.

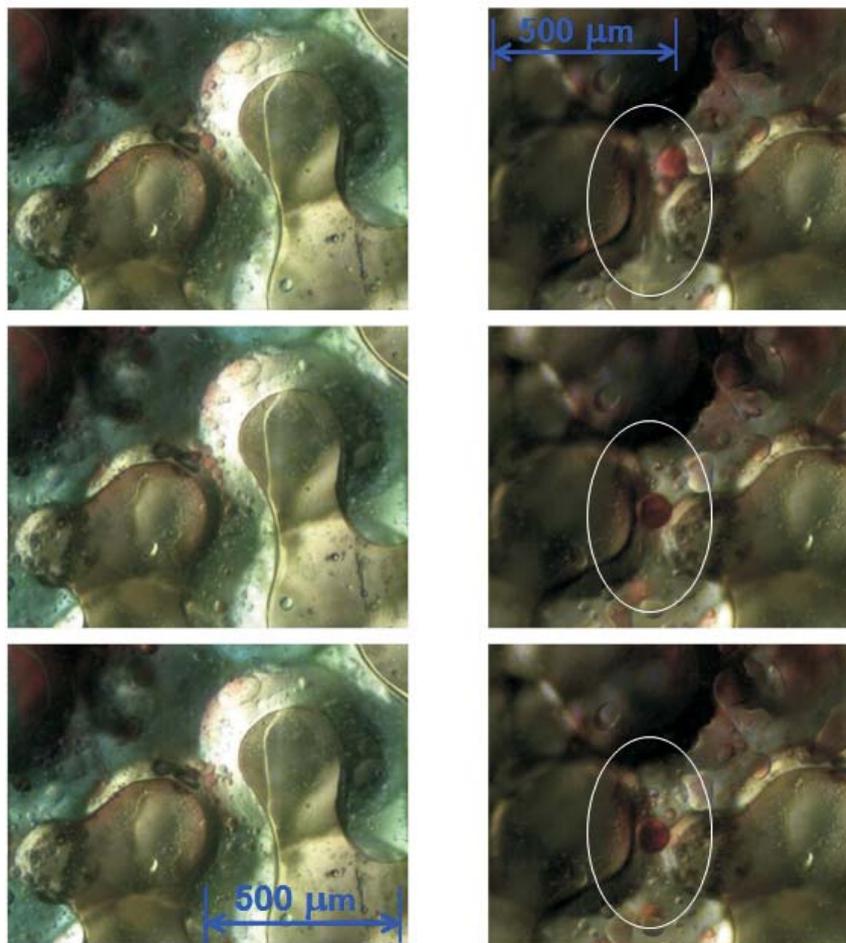


Figura 4.4: Fotografias mostrando o processo aglomeração das gotas de emulsão o/a, em um meio poroso de vidro.

4.1.3 Resultados # 3

Depois de muitas tentativas mal sucedidas, conseguiu-se observar a mudança do caminho preferencial dos fluidos deslocantes, mediante a aglomeração e bloqueio parcial dos poros mais permeáveis com gotas da fase dispersa da emulsão e obrigando o escoamento através dos poros menores. O bloqueio parcial dos poros diminuiu consideravelmente o fluxo através deles.

As fotos da Fig. 4.5 mostram o processo de deslocamento, filtração e aglomeração das gotas da emulsão através do meio poroso de vidro, em um processo de recuperação de óleo. Este processo de recuperação de óleo teve o mesmo procedimento do experimento anterior, o experimento consistiu em injeção alternada de água e emulsão, sendo que o processo inicia com a injeção de água, e as frações de emulsão foram de 0.3 VP no primeiro ciclo e 0.6 VP no segundo ciclo.

A foto #1 da Fig. 4.5 mostra uma gota de emulsão presa entre duas

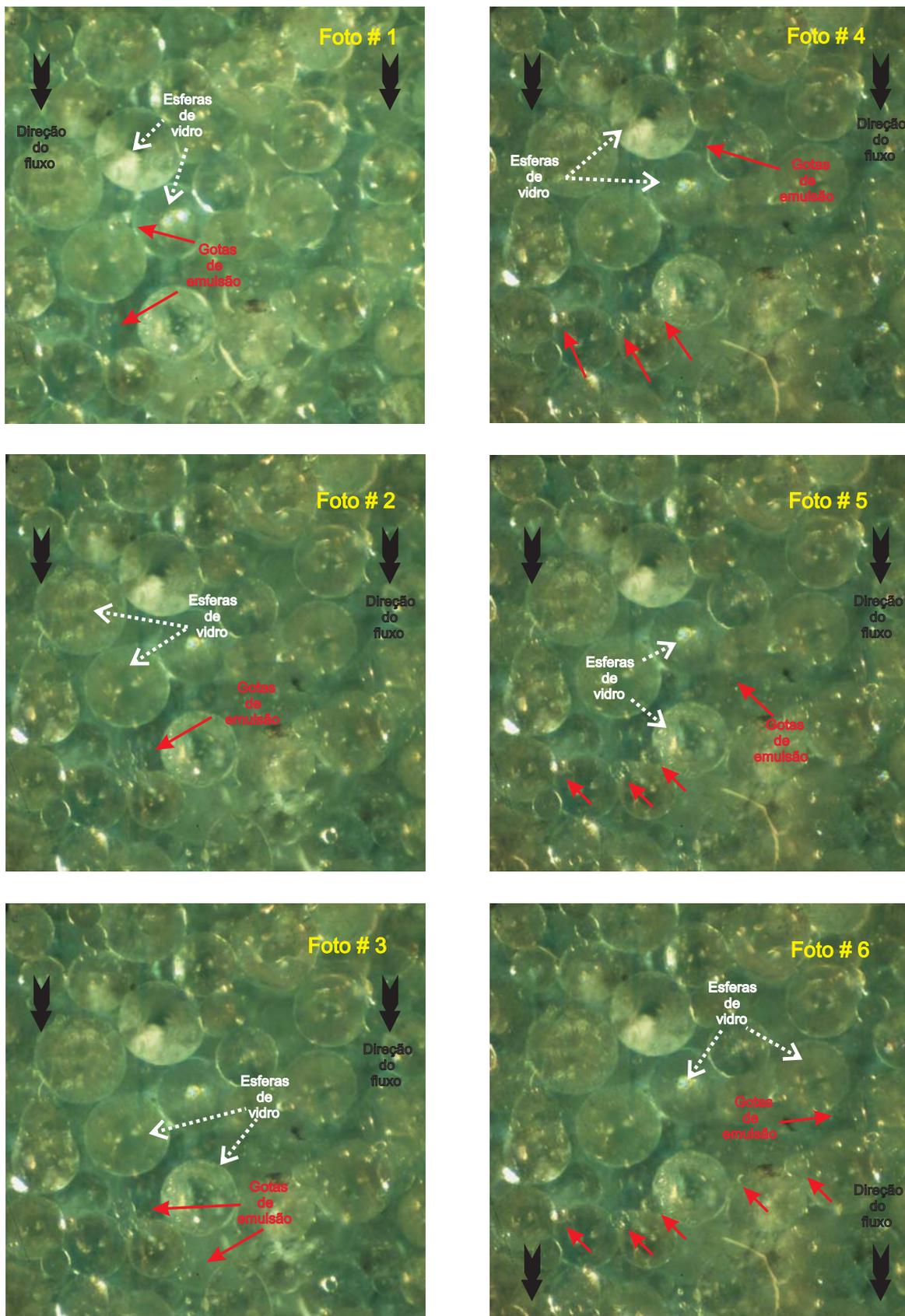


Figura 4.5: Visualização da mudança do caminho preferencial dos fluidos deslocantes mediante o bloqueio parcial dos poros mais permeáveis com emulsão.

esferas de vidro e a placa superior do meio poroso. Após um certo tempo, esta gota se deformou e continuou avançando até se juntar com uma aglomeração de gotas em uma outra garganta, como mostrado na foto #2. Na foto #3 observamos como depois de um tempo, as gotas aglomeradas começaram a se dispersar e a fluir pelo poro da sua direita, devido a uma redução da pressão neste poro. A foto #4. mostra que não todas as gotas fluíram, uma delas ficou presa no poro, bloqueando parcialmente o fluxo. A gota que ficou presa teve um tamanho levemente maior ao espaço entre os dois poros e a placa (esta gota é a mesma que estava sendo acompanhada desde a foto #1). Agora todos os poros do lado esquerdo inferior da foto estão bloqueados, como indicadas pelas setas vermelhas. Na mesma foto, podemos observar uma outra gota de emulsão escoando na parte superior da foto, como podemos observar nas fotos #5 e #6, o caminho que esta gota percorreu foi bem diferente do caminho percorrido pelas primeiras gotas. Podemos concluir então, que inicialmente as gotas da emulsão escoavam pelo lado esquerdo da fotografia, mas devido ao bloqueio desses poros, a mobilidade mudou e logo o escoamento dos fluidos passou a ser pelo lado direito.

O deslocamento dos fluidos descrito na Fig. 4.5, é resumido graficamente nas Figs. 4.6 e 4.7. No início do teste, o deslocamento dos fluidos é através dos poros do lado esquerdo do campo de visão da lente da câmera, como mostram as setas azul escuro na Fig. 4.6. Depois de que as gotas de emulsão bloquearam

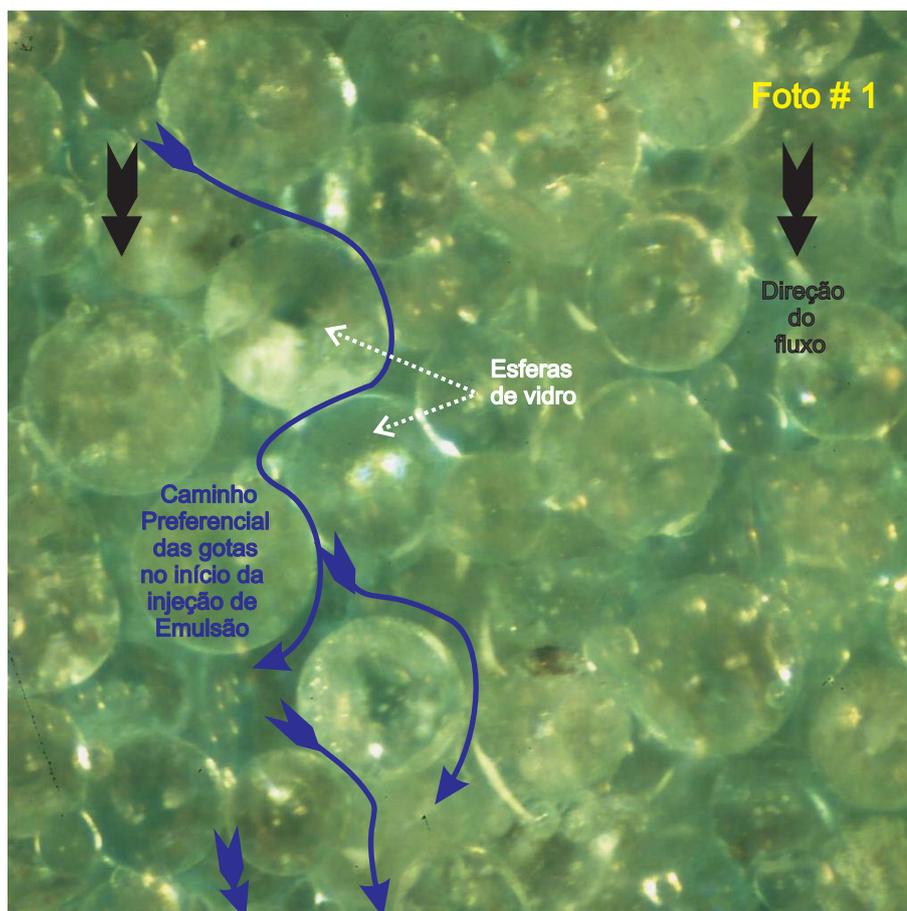


Figura 4.6: Fotografia mostrando o caminho percorrido pelos fluidos injetados no início do experimento.

os poros mais permeáveis, o deslocamento dos fluidos mudou para o lado direito do campo de visão da lente da câmera, o novo caminho percorrido pelos fluidos injetados está representado uma seta azul claro na Fig. 4.7.

Estes experimentos só foram possíveis devido ao uso de esferas de vidro menores das usadas anteriormente, passando de $500\ \mu m$ para $100\ \mu m$ do diâmetro médio, já que era impossível preparar emulsões estáveis com diâmetro similar ao tamanho de poro. O problema de diminuir o tamanho das esferas era a refração da luz. Em experimentos de visualização micrométrica se utilizam lentes de abertura pequena, por causa do seu desenho, estas lentes necessitam de uma intensidade de luz muito grande para satisfazer seu propósito. O problema foi superado com a compra de uma lâmpada mais potente e duas guias de fibra de vidro para incidência de luz direcionada.

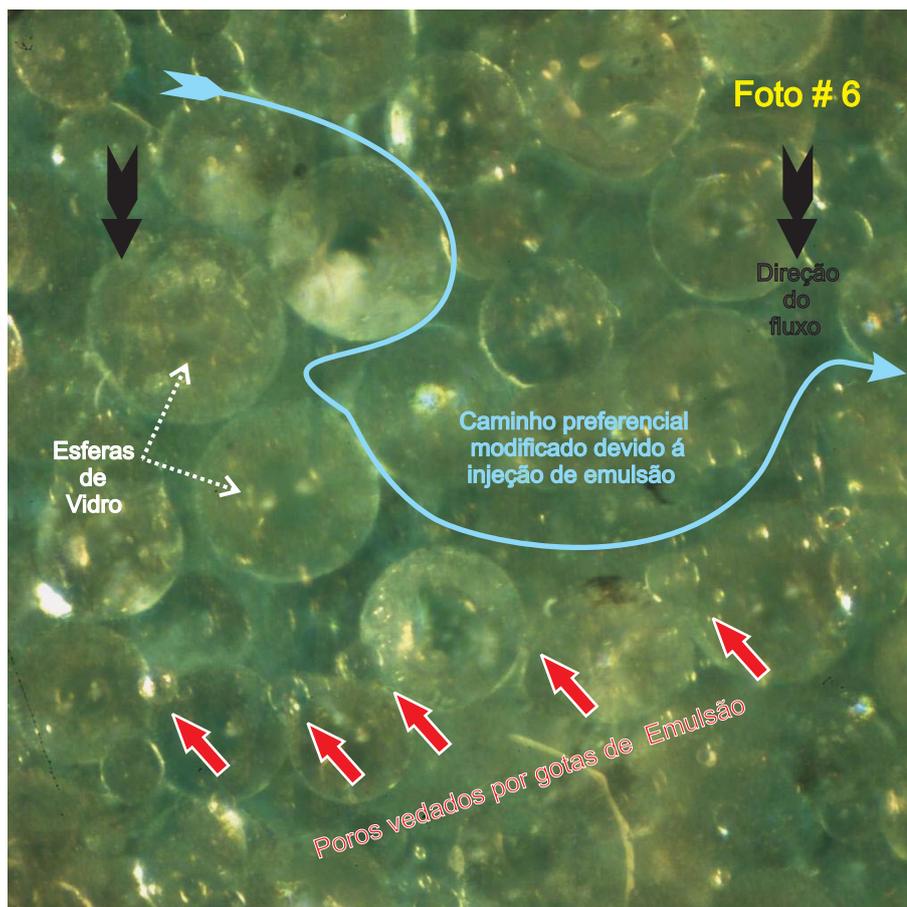


Figura 4.7: Fotografia mostrando o caminho percorrido pelos fluidos injetados no final do experimento.

4.2

Efeito do número de capilaridade no processo de deslocamento de óleo por injeção de emulsões em meios porosos

A mobilidade está em função ao numero de capilaridade (Ca), quando é baixo as forças interfaciais chegam a ser fortes e a mobilidade é também baixa. A alto número de capilaridade o tamanho de gota da fase dispersa da emulsão tem pouco efeito sobre a mobilidade, mesmo quando o tamanho de gota é maior ao tamanho de garganta de poro [57].

Nesta sesao se realizaram dois experimentos, e eles mostram como o número de capilaridade influencia no processo de recuperação de óleo mediante a injeção de água e emulsão de forma alternada através do meio poroso. Os fluidos utilizados (óleo, emulsão e solução água-surfactante) tiveram as mesmas propriedades e temperaturas de trabalho em ambos experimentos, assim como as amostras de arenito tiveram propriedades muito similares já que foram retiradas do mesmo plug.

No primeiro experimento, trabalhou-se com uma vazão de 0.03 ml/min ,

que corresponde a um número de capilaridade igual a $Ca = \mu \vec{v} / \sigma = 2 \times 10^{-5}$. Onde μ é a viscosidade da fase contínua da emulsão, \vec{v} é a velocidade de Darcy $\vec{v} \equiv q/A$ e σ é a tensão interfacial entre as duas fases da emulsão.

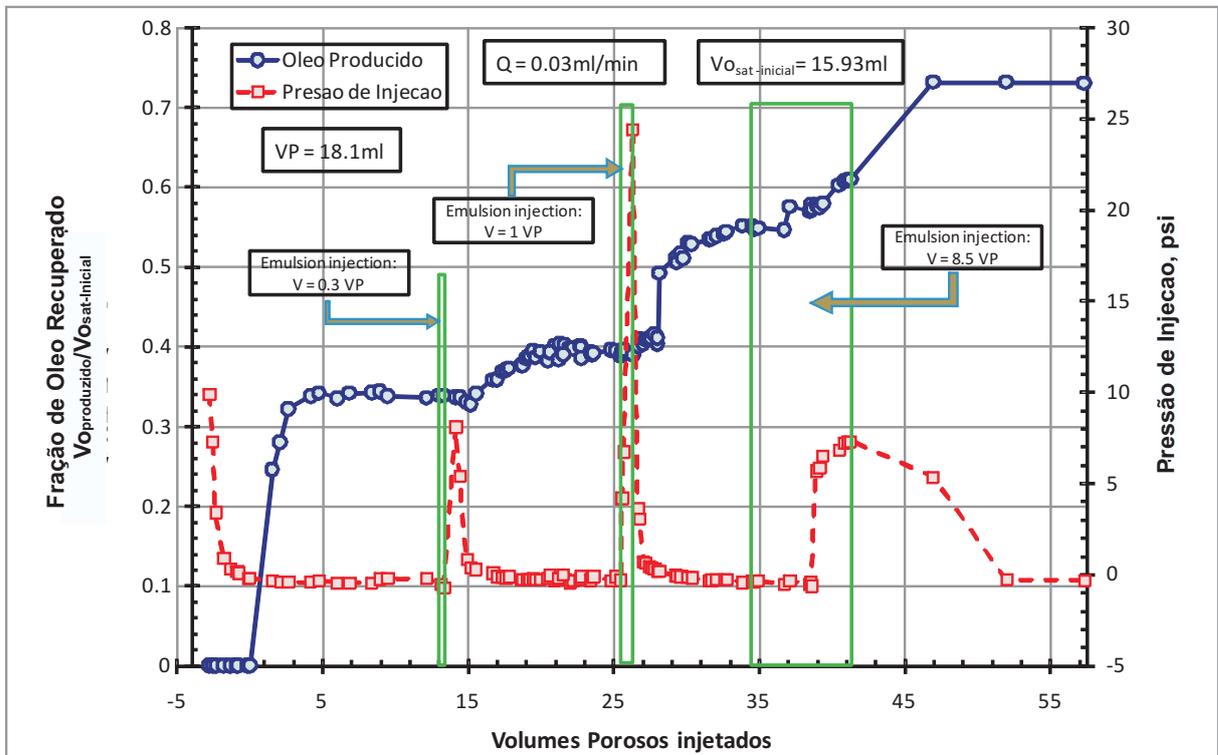


Figura 4.8: Resultado da recuperação de óleo de uma amostras de arenito mediante a injeção de água e emulsão óleo-em água a número de capilaridade baixo.

A Fig. 4.8 mostra os resultados do fator de recuperação e a pressão de injeção em função ao número de volumes injetados. Inicialmente se injetou água para deslocar o óleo do meio poroso, a fração de óleo produzido se elevou rapidamente, mas logo atingiu um patamar de 34 %, depois de que foi evidente que nenhuma fração de óleo era mais produzida e a pressão de injeção estava em um valor constante de 0.05 *psi*, no volume poroso injetado (VPI) número 13 se injetou o primeiro banco de emulsão, este banco de emulsão foi de 0.3 VP. A pressão aumentou consideravelmente chegando a 7.5 *psi*, imediatamente depois de injetar o primeiro banco de emulsão a injeção de água foi restabelecida. Depois da injeção de água ter reiniciado, o óleo começou a ser produzido novamente, levando o fator de recuperação até um novo patamar de aproximadamente 40 %. A pressão de injeção diminui com o reinício da injeção de água, até um valor constante de aproximadamente 0.1 *psi*. Então um novo banco de 1 VP de emulsão foi injetado, a pressão se elevou abruptamente até 25 *psi* no final da injeção da emulsão. Esta pressão decaiu rapidamente até 0.08

psi após a injeção de água ser re-estabelecida e a injeção de emulsão detida, levando o fator de recuperação de óleo a um novo patamar de 56 %. Um terceiro e último banco de 8.5 VP de emulsão foi injetado novamente no meio poroso, elevando o fator de recuperação até o patamar de 72 %. Um fenômeno estranho aconteceu nesta parte do experimento, já que a pressão de injeção não se elevou tanto quanto esperado (maior a 25 *psi*), e chegou só a 8 *psi*. Para finalizar o experimento, a injeção de água foi re-estabelecida depois do último banco de injeção de emulsão ter acabado, fazendo com que a pressão de injeção reduza novamente até 0.1 *psi*.

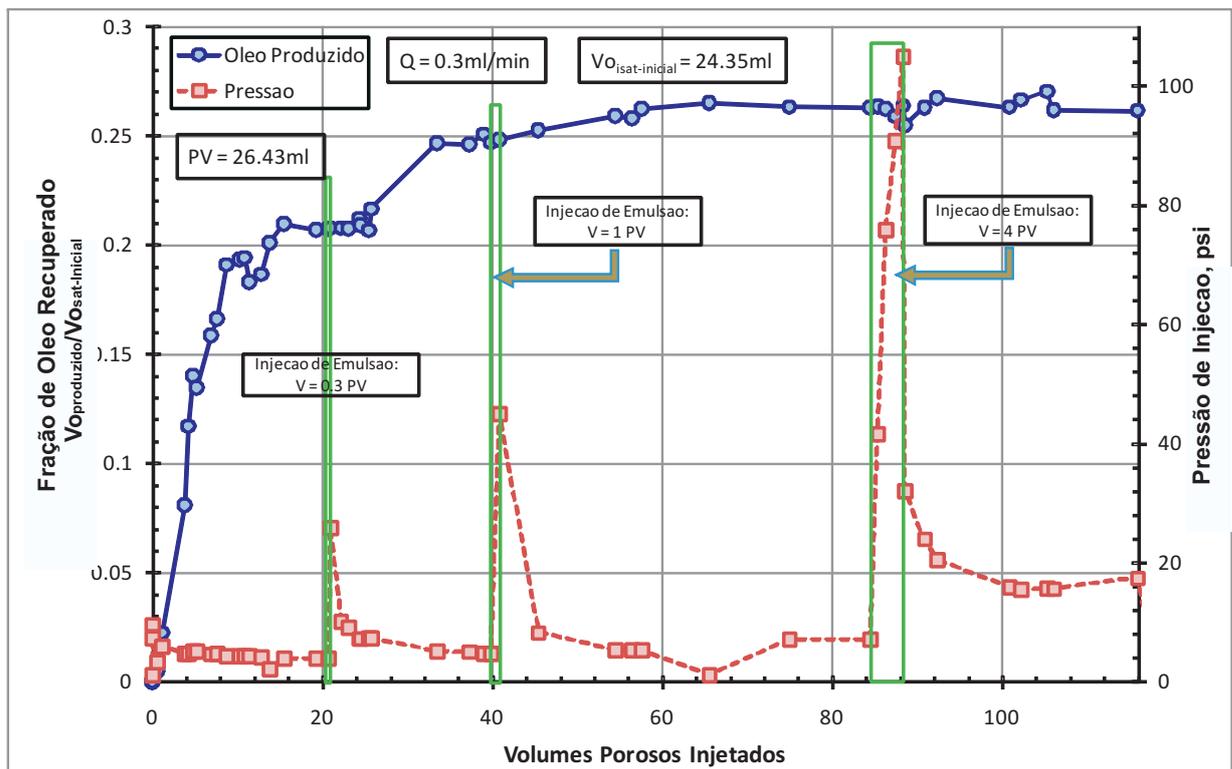


Figura 4.9: Resultado da recuperação de óleo de uma amostras de arenito mediante a injeção de água e emulsão óleo-em água a número de capilaridade alto.

O segundo experimento foi realizado com uma vazão de 0.3 *ml/min* e corresponde a um $Ca = 2 \times 10^{-4}$. Como indica a Fig. 4.8, os resultados mostram o fator de recuperação e a pressão de injeção em função ao número de volumes injetados. Durante a injeção de água, o fator de recuperação de óleo atingiu um valor de 21 % e a pressão de injeção começou com 5 *psi* e foi decrescendo lentamente até 4 *psi* no VP número 20, onde começou o primeiro banco de injeção de emulsão. Este valor é maior do que no primeiro experimento ($Q = 0.03 \text{ ml/min}$) porque a vazão de injeção é dez vezes maior. No final da injeção do banco de 0.3 VP de emulsão a pressão de injeção se elevou até 28 *psi*.

Depois de reiniciar a injeção de água no meio poroso, o fator de recuperação de óleo atingiu um novo patamar de aproximadamente 24.5 %, e a pressão desceu até aproximadamente 5 *psi*. Então, um novo banco de 1 VP de emulsão foi injetado, e a pressão aumentou abruptamente até 46 *psi* no final da injeção de emulsão, onde a injeção de água foi restabelecida. O fator de recuperação de óleo então teve um pequeno aumento, atingindo um novo patamar de 26 % o que não foi significativo, e a pressão caiu para 7 *psi*. Um terceiro bloco de 4 VP de emulsão foi injetado no meio poroso, fazendo a pressão aumentar desmesuradamente até ultrapassar os 100 *psi*. Depois da injeção de emulsão a injeção de água foi novamente reiniciada, e a pressão diminuiu imediatamente estabelecendo-se em 15 *psi*. Depois de esperar quase 30 volumes porosos, não se obteve nenhuma fração de óleo adicional, indicando que o ultimo banco de emulsão não teve nenhum efeito no fator de recuperação.

Os experimentos mostram que, incrementando a vazão em 10 vezes (0.03 *ml/min* a 0.3 *ml/min*), o fator de recuperação de óleo decresceu consideravelmente. Este fenômeno indica que a injeção de emulsão a elevado número de capilaridade, perde a propriedade de atuar como agente de bloqueio.

4.3

Efeito da injeção de emulsões no deslocamento de óleo de duas amostras de arenito com diferentes permeabilidades colocadas em paralelo

Dois experimentos similares são apresentados nesta seção, ambos consistem no deslocamento do óleo armazenado em duas amostras de arenito de diferentes permeabilidades colocadas em paralelo. O deslocamento de óleo foi realizado mediante a injeção alternada de água e emulsão. Para os dois experimentos utilizaram-se os mesmos fluidos (água, óleo, emulsão, surfactante e solução água-surfactante), os meios porosos também tiveram características muito parecidas, já que as duas amostras de alta permeabilidade foram retiradas do mesmo plug e as duas amostras com permeabilidade média foram retiradas de um outro plug. Também a vazão de injeção foi a mesma para ambos experimentos, $Q = 0.03 \text{ ml/min}$.

Os resultados do primeiro experimento estão descritos na Fig. 4.10, indicando o fator de recuperação de óleo e a pressão de injeção em função do número de volumes porosos injetados (VPI). Inicialmente, mediante a injeção de água, somente o meio poroso mais permeável (curva azul) produz óleo, indicando que o fluido deslocante (água) move-se pelo meio poroso mais permeável, deixando inalterável a saturação de óleo inicial da amostra menos permeável (curva vermelha). Após a amostra mais permeável atingir um patamar de 55 % na fração de recuperação de óleo, aproximadamente no VPI número 8 se injetou o primeiro banco de emulsão, este banco de emulsão teve um volume de 1.65 VP. Como em todos os experimentos de recuperação de óleo mediante injeção de água e emulsão descritos anteriormente, a pressão de injeção também aumentou rapidamente por causa da injeção de emulsão em corpos de prova em paralelo. Pouco antes de finalizar a injeção de emulsão, ao redor do 10º VPI, observa-se que a amostra menos permeável começou a produzir óleo, isto indica que uma fração do fluido injetado desloca-se através de esta amostra. Este comportamento pode ser explicado pelo fato que a mobilidade através do meio poroso mais permeável foi reduzida pela injeção do banco de emulsão. A pressão volta a cair após o final da injeção do banco de emulsão e o reinício do ciclo de injeção de água. A amostra mais permeável atinge rapidamente um patamar de 78 % na fração de recuperação de óleo. Após algum tempo a fator de recuperação de óleo da amostra menos permeável atinge um patamar de aproximadamente 17 %. Neste instante, inicia-se a injeção de um novo banco de 0.47 VP de emulsão, obtivemos um aumento imediato da pressão de injeção, e a fração de recuperação também começou a aumentar nas duas amostras de arenito. Após o reinício da injeção de água a pressão diminuiu novamente, no final do experimento obtivemos uma fração de

recuperação de 82 % para a rocha mais permeável e 26% para a rocha menos permeável.

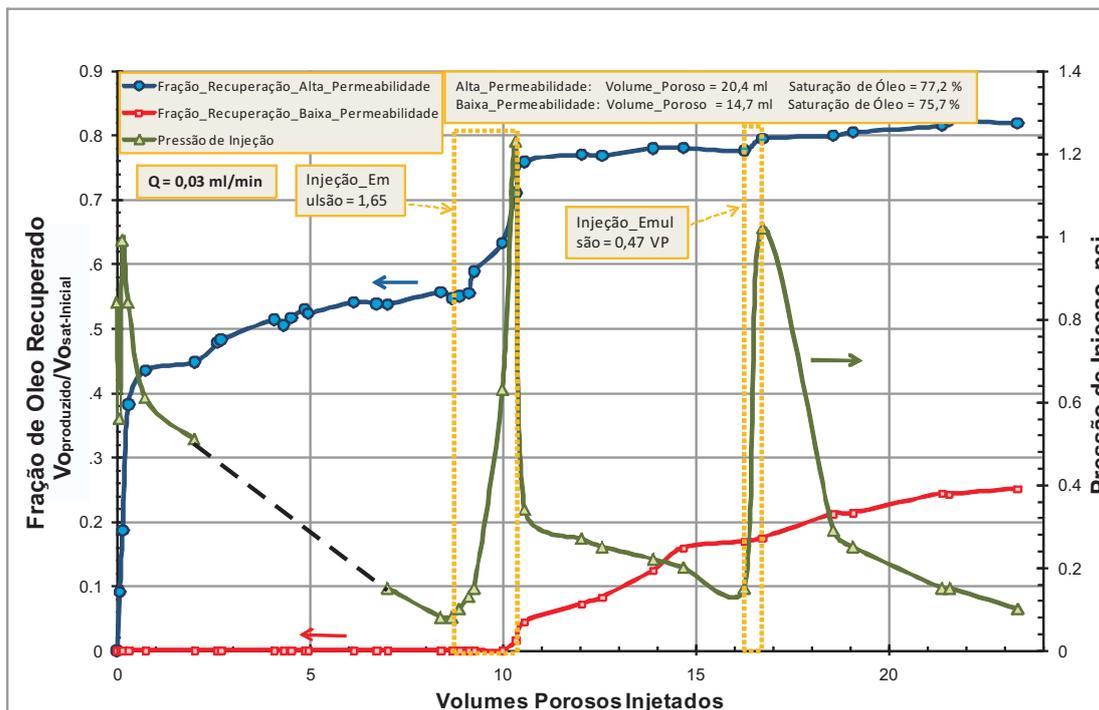


Figura 4.10: Resultado do primeiro experimento de injeção de emulsões no deslocamento de óleo de duas amostras de arenito com diferentes permeabilidades colocadas em paralelo.

Neste experimento surgiram as seguintes interrogantes: Por que o óleo do meio poroso menos permeável começou a ser produzido somente após a injeção de emulsão? Será que a água já estava deslocando o óleo do meio poroso menos permeável desde o início, mas a uma vazão muito pequena? Devia-se prolongar a injeção de água para obter produção de óleo neste meio poroso antes da injeção de emulsão?.

Para responder às questões surgidas no experimento anterior, realizou-se novamente o mesmo experimento, mas desta vez se esperou muito mais tempo antes de injetar o primeiro banco de emulsão. Os resultados são apresentados na Fig. 4.11. Inicialmente como o esperado, durante a injeção de água só o meio poroso mais permeável produziu óleo. É aqui que este experimento difere do anterior, já que continuou-se injetando água por 5 VP a mais do que no primeiro experimento (Fig. 4.10), isto para ter certeza de que o meio poroso menos permeável não vai produzir óleo utilizando unicamente água como agente deslocante. Após ter injetado quase 14 VP de água no sistema, o fator de recuperação de óleo encontrava-se em um patamar de 69 % (curva azul), então o primeiro banco de emulsão com uma fração de 1 VP foi injetado. A pressão se elevou até 0.7 *psi*. Após o reinício da injeção de água, a pressão diminuiu rapidamente para 0.27 *psi* e depois continuou decrescendo. Neste instante o meio poroso menos permeável começou a produzir óleo, atingindo o patamar de 1 % (curva vermelha) no fator de recuperação de óleo, enquanto a pressão de injeção continuava caindo, mas de forma menos acentuada, até chegar a 0.1 *psi*. O meio poroso mais permeável atingiu o patamar de 75% (curva azul) no fator de recuperação. Um segundo banco com 0.3 VP de emulsão foi injetado. Em resposta, novamente a pressão de injeção se elevou rapidamente, até 0.73 *psi* ao final do banco de emulsão. O meio poroso mais permeável elevou a sua produção para 78 % no fator de óleo produzido, enquanto o meio poroso menos permeável subiu para 4 %. Quando não se teve mais produção de óleo em nenhum dos dois meios porosos, no 27 VPI se começou a injetar o terceiro e último banco de emulsão. Desta vez, se observou que além da elevação na pressão de injeção até 1.6 *psi*, a fração de óleo produzido no meio poroso menos permeável aumentou consideravelmente subindo de 4 % para 20 % em um curto período de tempo (1.2 VPI). O meio poroso mais permeável também apresentou um pequeno aumento no fator de produção de óleo.

Uma outra diferença, além do tempo de injeção de água inicial em relação ao experimento anterior, é que neste experimento, os bancos de emulsão injetados foram menores, o que resultou em um menor fator de recuperação de óleo produzido.

Este resultado parece indicar que quanto maior o volume de emulsão injetada, maior é a produção de óleo no meio poroso menos permeável, mas também observou-se que quanto maior o banco de emulsão injetado, maior é a pressão de injeção, seguindo o mesmo comportamento dos resultados da seção anterior

Podemos concluir que injetando pequenos bancos de emulsão no meio, também poderíamos obter uma produção de óleo satisfatória do meio poroso

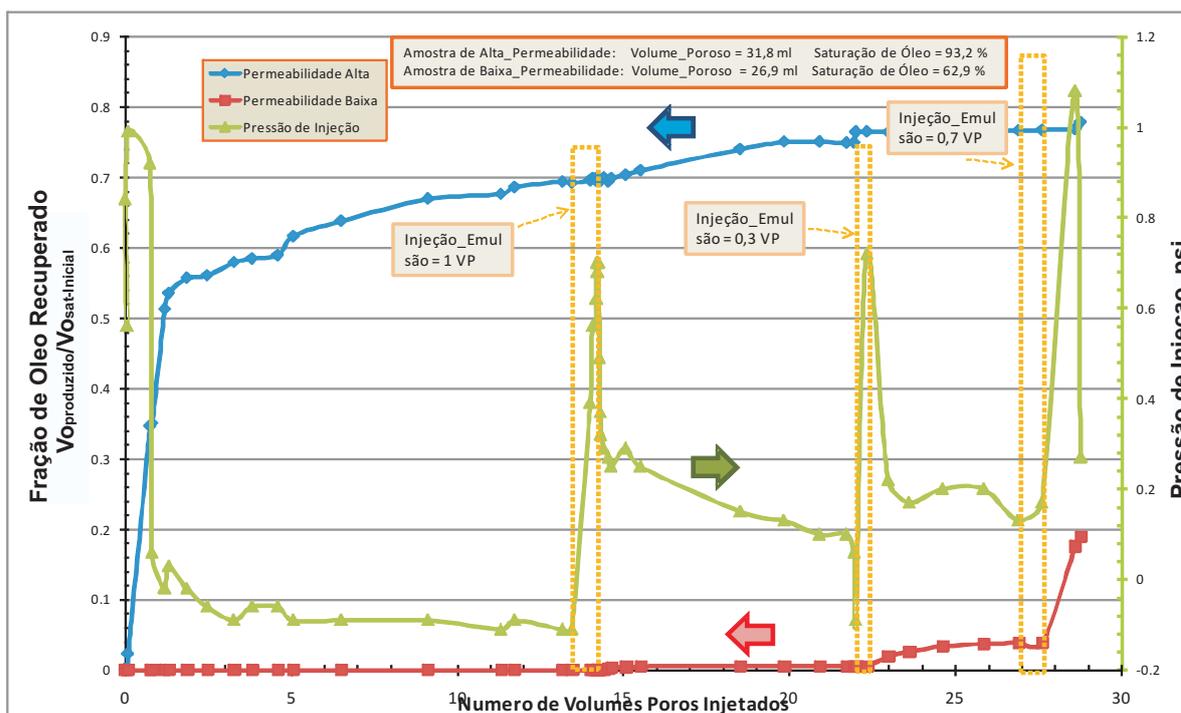


Figura 4.11: Resultado do segundo experimento de injeção de emulsões no deslocamento de óleo de duas amostras de arenito com diferentes permeabilidades colocadas em paralelo.

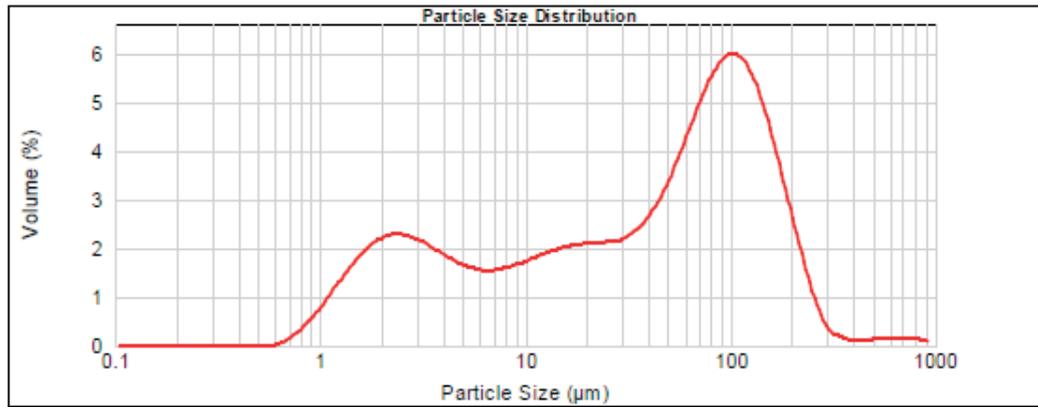
menos permeável sem elevar excessivamente a pressão de injeção, desta forma a se evitaria um aumento excessivo da pressão, mas sem perder a função da emulsão de atuar como agentes de bloqueio. Para obter o melhor esquema de injeção dos bancos de emulsões, seria necessário realizar vários experimentos analisando a influência de todas as variáveis do processo, o que levaria muito tempo e custo. Outra forma de obter o melhor esquema de injeção dos bancos de emulsão, seria através de uma análise numérica do deslocamento de óleo por injeção alternada de água e emulsão. Esta análise é descrita no próximo capítulo.

4.4

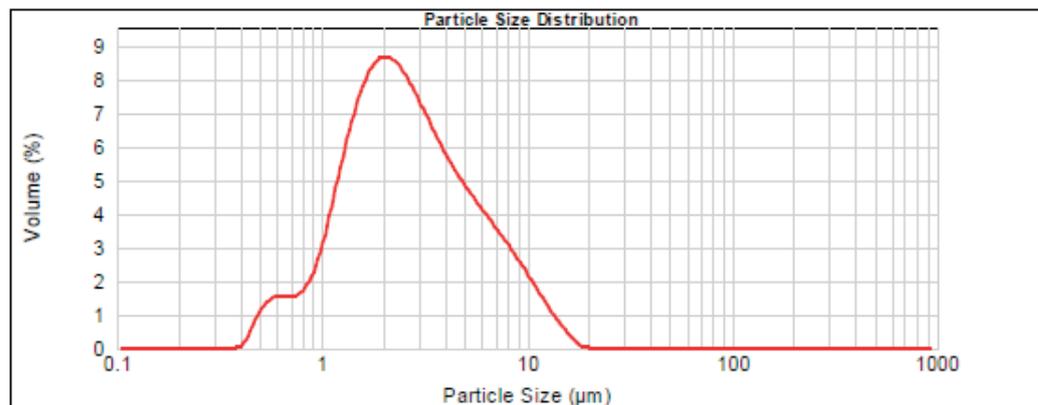
Análise da Emulsão Produzida

Nos experimentos de deslocamento de óleo de duas amostras de arenito com diferentes permeabilidades colocadas em paralelo, fizemos uma análise da distribuição do tamanho de gota das emulsões que entravam no meio poroso e as emulsões que foram produzidas na saída, depois de servir como agentes de bloqueio. Os resultados estão mostrados na Fig. 4.12.

Observamos que uma das emulsões ingressa no meio poroso com um tamanho médio de gota de aproximadamente $100 \mu\text{m}$ e é produzida com um



A) Distribuição do tamanho de gota da emulsão antes de ser injetada no meio poroso



b) Distribuição do tamanho de gota da emulsão produzida do meio poroso

Figura 4.12: Distribuição do tamanho de gota da emulsão antes e depois do processo de deslocamento de óleo.

tamanho médio de gota de aproximadamente $2 \mu m$. Este resultado mostra que as gotas maiores a $2 \mu m$ foram filtradas no meio poroso ou se quebraram nas constrições das gargantas.

Na Fig. 4.13 podemos observar que a emulsão produzida é claramente identificada e diferenciada do óleo produzido.

A foto da esquerda pertence ao experimento de deslocamento de óleo de duas amostras de arenito com diferentes permeabilidades colocadas em paralelo. A foto da direita pertence a um experimento de visualização, podemos observar ainda as três fases bem diferenciadas, onde o óleo produzido está colorido de Verde, a água produzida está de azul, e a emulsão produzida é vermelha. A fase água produzida e a fase emulsão produzida, deviam se misturar, já que a fase contínua da emulsão é também a fase água. Acredita-se que o corante utilizado na fase dispersa da emulsão (vermelho) é mais pesado do que a água.

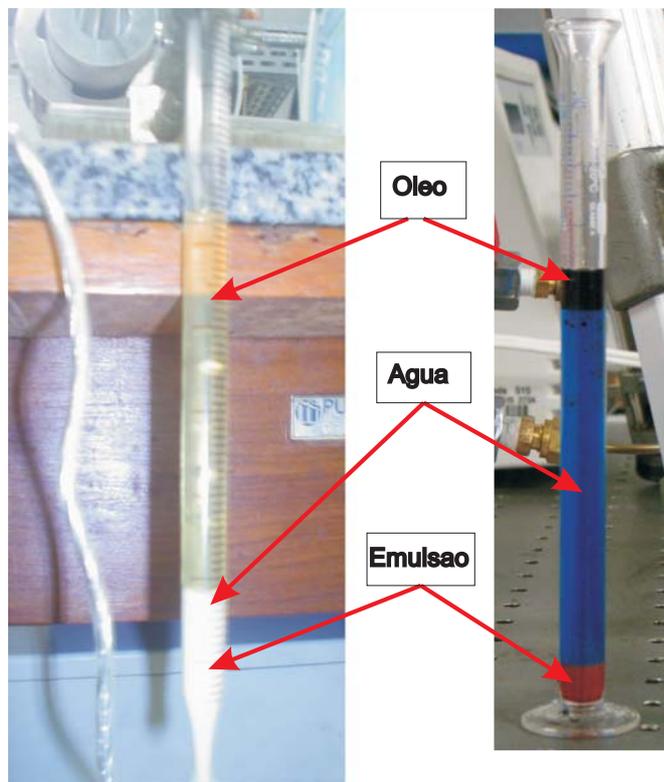


Figura 4.13: Fotos de fluidos produzidos do processo de deslocamento de óleo.