

## DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE EMULSÃO

### Sebastião Varella

E-mail: varella@iem.efei.br

### Marcos Aurélio de Souza

E-mail: aurelio@iem.efei.br

### Eli Silva

E-mail: eli@projesom.com.br

Escola Federal de Engenharia de Itajubá

Instituto de Engenharia Mecânica

Av. BPS, 1303 – Itajubá – MG – CEP 37500-000

### Marco van Hombeek

E-mail: mvh@cenpes.petrobras.com.br

### Carlos Alberto Capela Moraes

E-mail: capela@cenpes.petrobras.com.br

CENPES- PETROBRAS - DIPLOT

Ilha do Fundão Quadra 07

Rio de Janeiro – RJ - CEP 21949-900

**Resumo.** Para o teste de sistemas de separação aplicados à águas oleosas, o principal problema é como gerar uma emulsão que represente as condições de teste, incluindo as condições existentes no campo. Este artigo descreve um sistema de geração de emulsão desenvolvido para compor um banco de testes para equipamentos destinados à separação de óleo em águas oleosas.

É apresentado o conjunto gerador de emulsão, que consta basicamente do bombeamento de petróleo à alta pressão em um conjunto de bicos injetores conectados a um carretel com escoamento de água. Tanto o circuito de petróleo como o de água contém uma série de válvulas e desvios que permitem a geração de emulsão com concentração de petróleo variável de 100 a 1500 ppm e com diâmetro de gotas de 10 a 100 µm, o que permite simular vários tipos de emulsão comumente encontradas nas águas de rejeito na indústria petrolífera. São ainda apresentados, os resultados típicos obtidos no banco que se encontra em funcionamento.

**Palavras chave:** Geração de emulsão, Tratamento de água oleosa, Emulsões.

## 1. INTRODUÇÃO

Para o teste de sistemas de separação aplicados às águas oleosas, o principal problema é o procedimento para geração de emulsões que atendam às condições de teste.

Uma emulsão é definida como um sistema heterogêneo que contém duas fases líquidas imiscíveis, uma das quais está dispersa na outra sob a forma de gotas de tamanho microscópico estabilizadas pela presença de agentes emulsionantes. Conforme a natureza da fase dispersa, é possível obter dois tipos de emulsões: óleo em água e água em óleo (Travalloni & Oliveira, 1996).

Segundo (Salager & Salager, 1996) a operação de geração destas emulsões, consiste na dispersão de uma fase na outra, e que acontece de três formas e princípios diferentes.

A primeira abrange as operações que consistem em produzir uma instabilidade fluido-mecânica e envolvem duas etapas: a) cisalhamento intenso que produz uma conformação interfacial de grande área (ondas, gotas alongadas, jatos) e b) instabilidade hidrodinâmica desta conformação interfacial sob efeito das forças inerciais ou capilares. A esta primeira classe pertencem a maioria dos equipamentos chamados dispersores: agitadores de hélice ou turbina, homogeneizadores, orifícios, moinhos coloidais, etc....

A segunda corresponde a um processo que consiste em colocar gotas da fase interna no seio da fase externa, mediante um processo físico químico como é a condensação de vapor.

A terceira agrega os diferentes mecanismos possíveis para produzir uma emulsão espontânea, nos quais a transferência de massa é responsável pela instabilidade do tipo físico-química, sem nenhum aporte mecânico externo.

A formação de uma emulsão por agitação de um sistema polifásico é um processo extremamente complexo; coloca em jogo um grande número de variáveis cujo efeito combinado ainda necessita investigação. Pode-se citar variáveis como: fenômenos fluidomecânicos relacionados com o tipo velocidade e movimento do impulsor; tensão interfacial relacionada com a presença de surfactantes; viscosidade da emulsão e sua ação sobre as forças capilares; homogeneidade da agitação; coalescência; balanço de forças atrativas e repulsivas, bem como os efeitos combinados.

Tanto Van-der-Linden (1987) como Plat et al (1990) concondam que a concentração de uma emulsão, a distribuição e o tamanho de gotas nela contidos e a sua estabilidade estão todos intimamente relacionados com o processo de geração.

Neste trabalho será apresentada a concepção básica deste sistema de geração de emulsão bem como alguns resultados obtidos.

## **2. SISTEMA DE GERAÇÃO DE EMULSÃO**

O banco de testes foi projetado para ensaiar sistemas de separação aplicados a águas oleosas e proporciona variações dos principais parâmetros que influem no desempenho destes separadores, tais como:

### ***a) Variação da vazão de água***

- Pode-se atingir vazões da ordem de 170 l/min

### ***b) Variação do tamanho (diâmetro) das gotas de óleo e sua distribuição***

- O tamanho das gotas de óleo na emulsão de entrada do separador pode ser variado com  $D(4,3)$  entre 10 a 100  $\mu\text{m}$ .

### ***c) Variação da concentração de óleo***

- A concentração de óleo emulsionado no sistema pode ser variada de 100 a 1500 ppm.

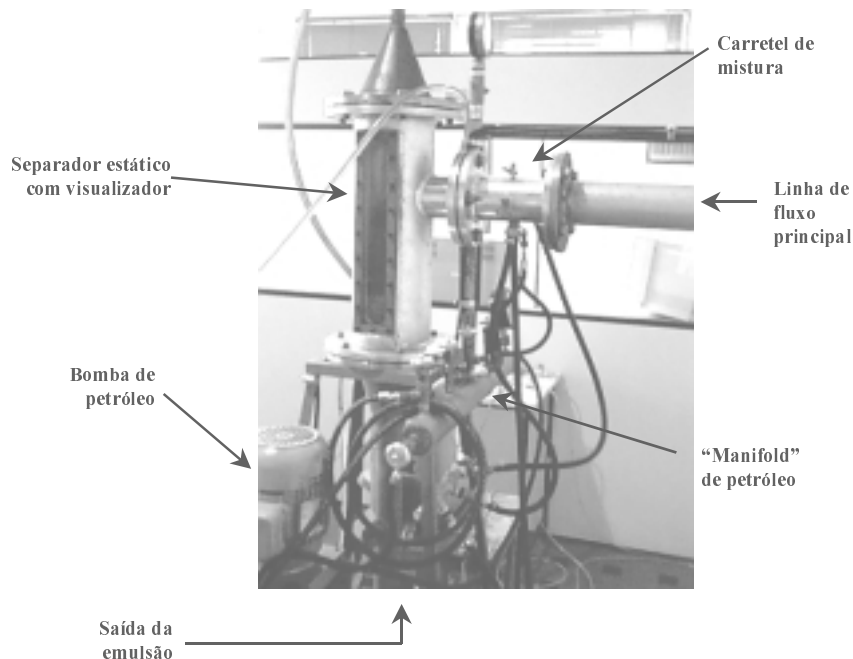
### ***d) Variação brusca de concentração de óleo.***

- A concentração de óleo na entrada pode ser variada de 100 a 1500 ppm para concentrações de 1 a 3%, durante aproximadamente três minutos. Esta variação é proporcionada por cargas de choque de óleo, sem controle do tamanho de gotas,

tendo como objetivo verificar o tempo que o equipamento leva para recuperar o funcionamento normal (mesmo desempenho), após perturbação da carga.

Visando atender as condições acima, desenvolveu-se um sistema no qual o óleo é diretamente injetado transversalmente na corrente de água, por intermédio de bicos injetores de petróleo com furos de diâmetros correspondentes a cada distribuição de tamanho de gotas desejado. A alimentação de petróleo nos bicos injetores é feita por intermédio de uma bomba de engrenagem, pressurizando um “manifold” como mostra a **Figura 1**.

Considerando a visualização do óleo sobrenadante, que ocorre em algumas operações e que precisa ser separado, foi prevista a colocação de um separador com dois visores de forma a possibilitar a inspeção visual. Ocorrendo a formação de óleo sobrenadante, sua retirada é feita pela abertura de uma válvula de bloqueio. Para os testes de recuperação (Carga de Choque) utiliza-se o mesmo sistema de alimentação de petróleo, alimentando-se diretamente na entrada do separador certa quantidade de óleo.



**Figura 1** Visão geral da unidade geradora de emulsão (Varella et alii, 1998).

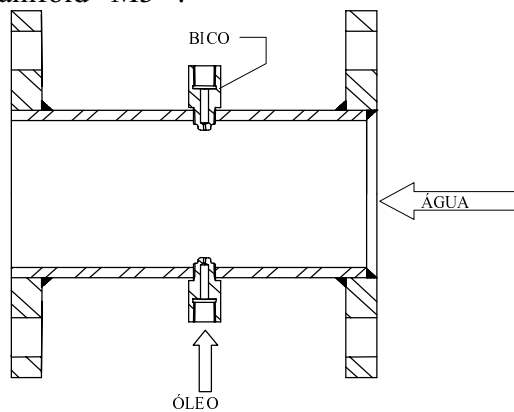
A emulsão gerada pela passagem de óleo e água por orifícios foi obtida sob três arranjos diferentes de bicos de óleo e água:

- Bico de óleo simples, identificado por “B1O”;
- Bico de óleo com jato auxiliar de água, identificado por “B1O1A”;
- Bico de óleo com jato duplo de água identificado por “B1O2A”.

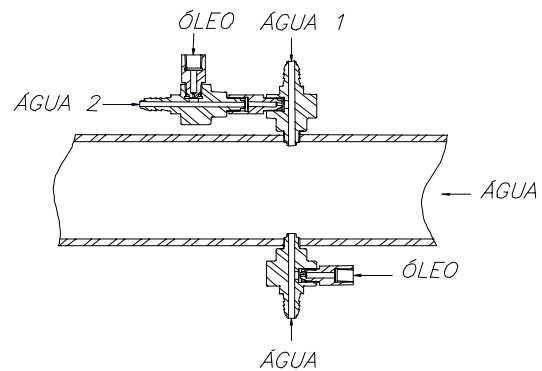
No primeiro método (“B1O”), mostrado na **Figura 2**, o óleo é diretamente injetado na corrente de água, por intermédio de bicos injetores de petróleo, com diâmetros correspondentes a cada distribuição de tamanho de gotas desejado.

No segundo e no terceiro métodos, antes de atingir o fluxo principal, o óleo é diluído em uma corrente de água que passa transversalmente ao fluxo de óleo em alta velocidade. A diferença entre o segundo e o terceiro método é que, neste último, esta diluição ocorre por duas vezes antes da mistura ingressar no fluxo principal. A **Figura 3** mostra estas duas configurações: na parte superior aparece a montagem do bico de óleo com jato duplo de água (B1O2A), enquanto que na parte inferior aparece a montagem com um único jato (B1O1A).

Os bicos geradores de emulsão podem ser montados tanto no carretel de mistura como no manifold “M3” .



**Figura 2** Concepção para geração de emulsão com bico de óleo simples (B1O).



**Figura 3** Concepção para geração de emulsão com o uso de jato auxiliar de água, na parte inferior, jato simples ("B1O1A"), na parte superior com jato duplo ("B1O2A")

A unidade geradora de emulsão, no banco de testes, é composta do circuito auxiliar de água, do circuito de óleo e do misturador primário e de um misturador secundário que permite que parte da emulsão gerada seja descartada para garantir a concentração da emulsão a ser empregada nos testes, conforme pode ser visto na **Figura 4**.

O circuito auxiliar de água recebe sua alimentação através da válvula “V8” , uma bomba (“B1”) é utilizada para se obter as pressões de trabalho, que podem chegar até a 15 bar. Esta pressão está disponível no barrilete “M2” e através das válvulas “VE1” a “VE4”, o fluxo é distribuído para os bicos selecionados. A válvula “V2” garante a regulação da pressão desejada desviando parte do fluxo do recalque para sucção, quando necessário.

O circuito do óleo é constituído pela bomba de engrenagem “BE-01”, que garante pressão de até 50 [bar] no barrilete “M1”. Esta pressão é regulada através de recirculação de parte do fluxo para o tanque de alimentação de óleo ( “TQ4”) quando atingida a pressão requerida ( que varia conforme o bico e a montagem executada). As válvulas “VR3” a “VR6”, garantem a distribuição do óleo para os diversos bicos.

Através de “M1”, pode-se também gerar uma carga de choque para teste de recuperação da condição de funcionamento por parte do separador. Esta carga de choque pode ser regulada pela abertura da válvula “VR2” e também pelo tempo de abertura de “VE5”.

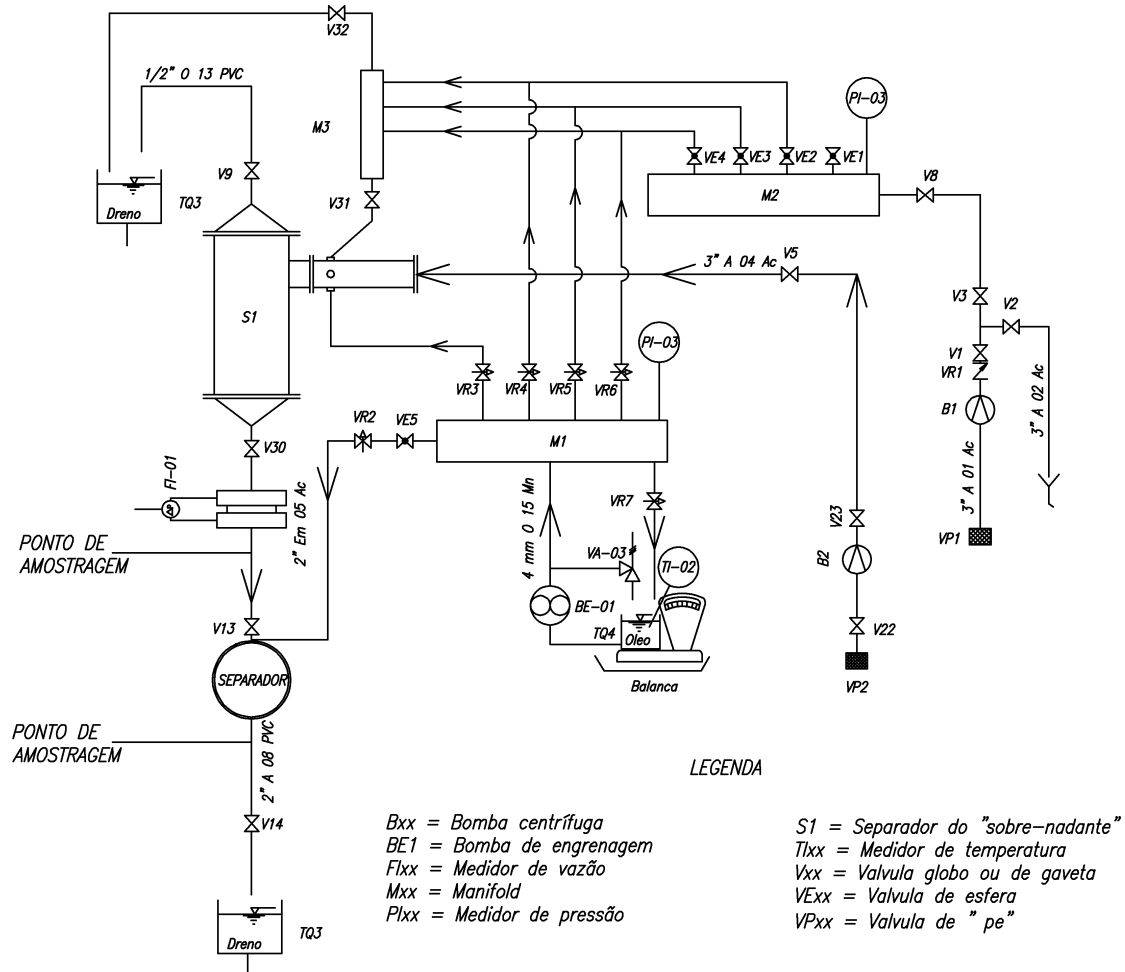
A alimentação de petróleo nos bicos injetores é feita por intermédio de uma bomba de engrenagem BE-01 (pressão de 50 bar), conforme indica o fluxograma, que é alimentada de petróleo através do tanque (TQ4), pressurizando o "barrilete " (“M1”).

Através das válvulas de regulação (VR3 a VR6), pode-se alimentar um ou mais bicos injetores com orifícios diferentes (0,4 a 0,8 mm).

A pressão em “M1” é controlada através da válvula “VR7” que realiza um by-pass do óleo.

Antes do carretel de mistura existe um barrilete “M3” que recebe as emulsões gerada por todos os bicos em operação. Este barrilete pode desviar parte da emulsão gerada para fora do circuito de teste e isto é realizado com a finalidade de manter a concentração da emulsão de teste mesmo quando algum parâmetro como vazão ou tamanho de gota é modificado.

Após o misturador existe um separador estático (“S1”), munido de visores de acrílico, que tem por finalidade a separação do óleo sobrenadante. Este óleo é retirado pela abertura da válvula “V9” e os visores permitem um acompanhamento visual do andamento da emulsão gerada.



**Figura 4** Fluxograma parcial do banco de testes (Varella et alii, 1998).

O carretel de mistura que pode ser visto na **Figura 6**, possibilita a montagem de até 4 tipos diferentes de configuração ao mesmo tempo e, se necessário, é possível aumentar este número para pelo menos dez, sem grandes transtornos. Isto possibilita cobrir uma faixa considerável de emulsões tanto no que concerne a tamanho de gota, concentração e também distribuição de freqüência das gotas geradas.



**Figura 5** Detalhes do manifold de óleo "M1" e do manifold de água "M2".



**Figura 6** Detalhe do carretel de mistura ..

Para a caracterização das emulsões geradas foram utilizados dois sistemas de medidas.

Nas medidas de concentração foi empregado um método de extração do óleo da água com solvente e a medida de concentração do óleo no solvente foi obtida por comparação do grau de absorção de radiação infravermelha com o auxílio de um equipamento da marca HORIBA modelo OCMA 350.

No caso das medidas de tamanho de gota e sua dispersão foi empregado um equipamento da Marca MALVERN modelo Masterziser Micro que opera segundo o princípio de refração de raios laser. Este equipamento foi montado em linha com o circuito de testes. Maiores detalhes sobre esta técnica de medição pode ser encontrada em (Travalloni & Freire, 1994).

### 3. RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS

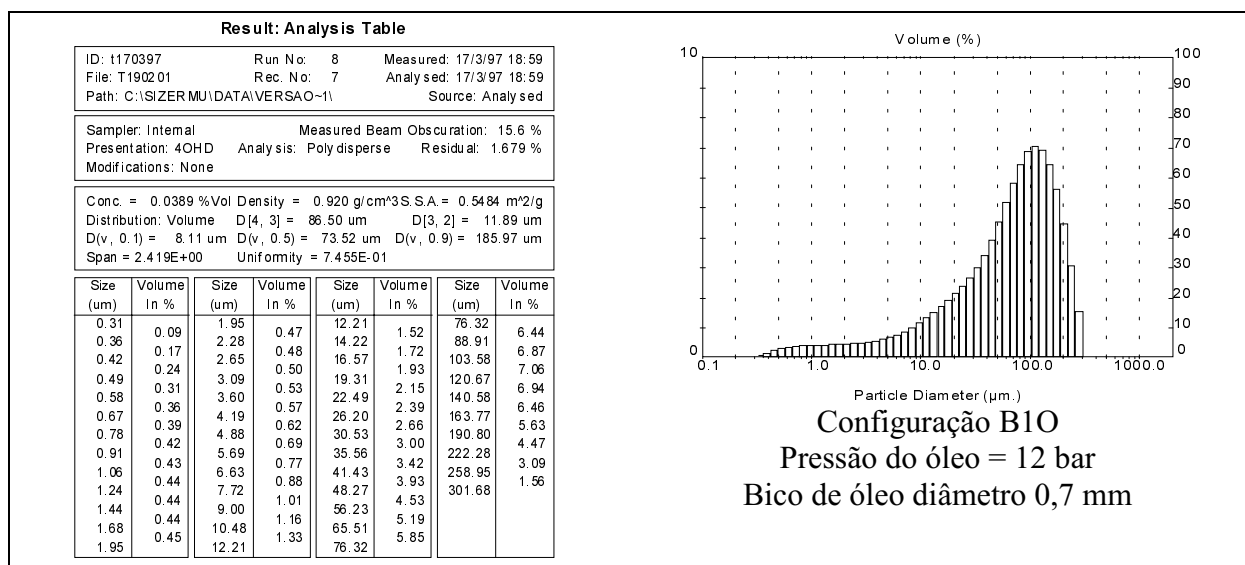
Os resultados apresentados abaixo são iniciais e servem, apenas, para indicar de forma qualitativa o tipo de emulsão que deve ser gerado para uma dada configuração e condição de operação. Como os testes não foram realizados em um número suficiente não é possível ainda a generalização destes resultados e nem tão pouco o estabelecimento de uma lei de formação precisa, que seja capaz de modelar de forma correta, as inter-relações entre as variáveis construtivas e de operação do banco e o tipo da emulsão gerada.

No entanto os testes permitiram perceber algumas diretrizes, quais sejam:

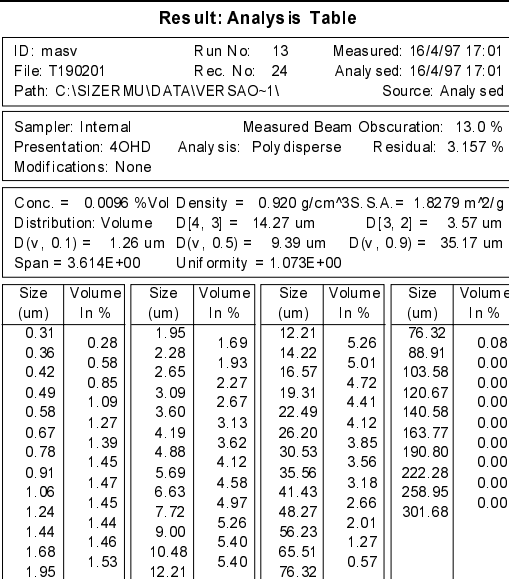
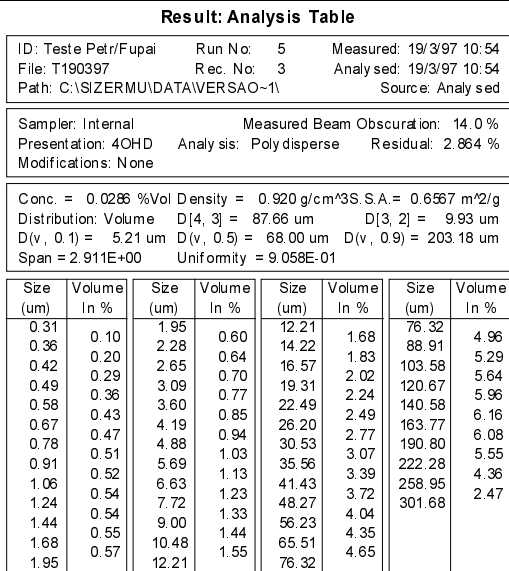
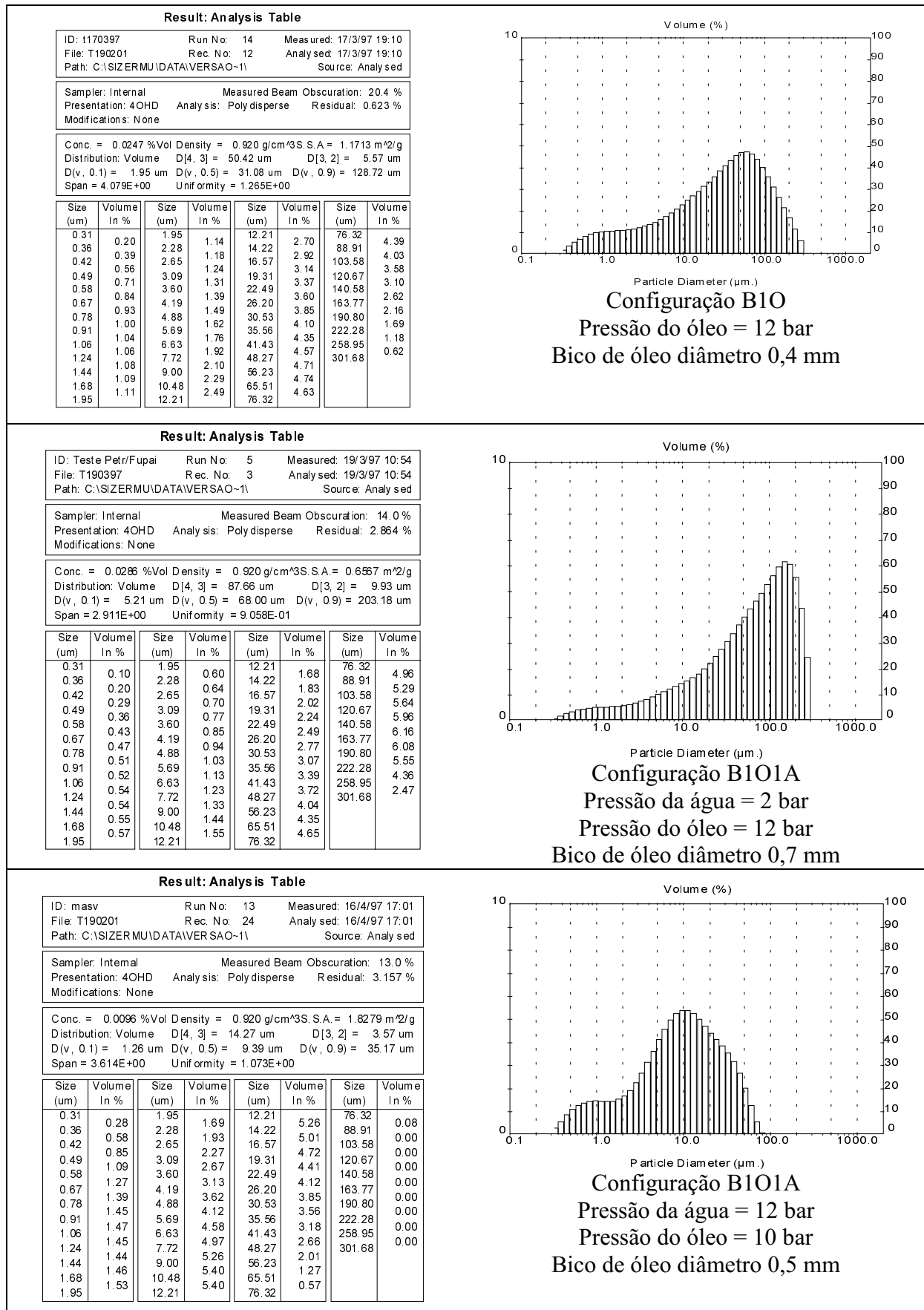
As montagens do tipo “B1O”, são as que propiciam emulsões com os maiores tamanhos de gota e a diminuição deste tamanho se consegue prioritariamente com a diminuição do diâmetro do orifício do bico. Foram testados bicos com diâmetro variando de 0,1 mm a 1,2 mm e notou-se que, para bicos menores que 0,4, a utilização só será possível se existirem filtros de linha (na linha de pressão) de malha menor que 50µm, pois qualquer impureza irá obstruir o orifício do bico. Este tipo de montagem ainda é a que produz maior quantidade de sobrenadante.

Nas montagens tipo “B1O1A” e “B1O2A” é possível uma diminuição no tamanho das gotas através do aumento da pressão da água auxiliar, na montagem com dois jatos de água. É possível, ainda, um leve controle da forma da curva além de se controlar a dimensão da gota.

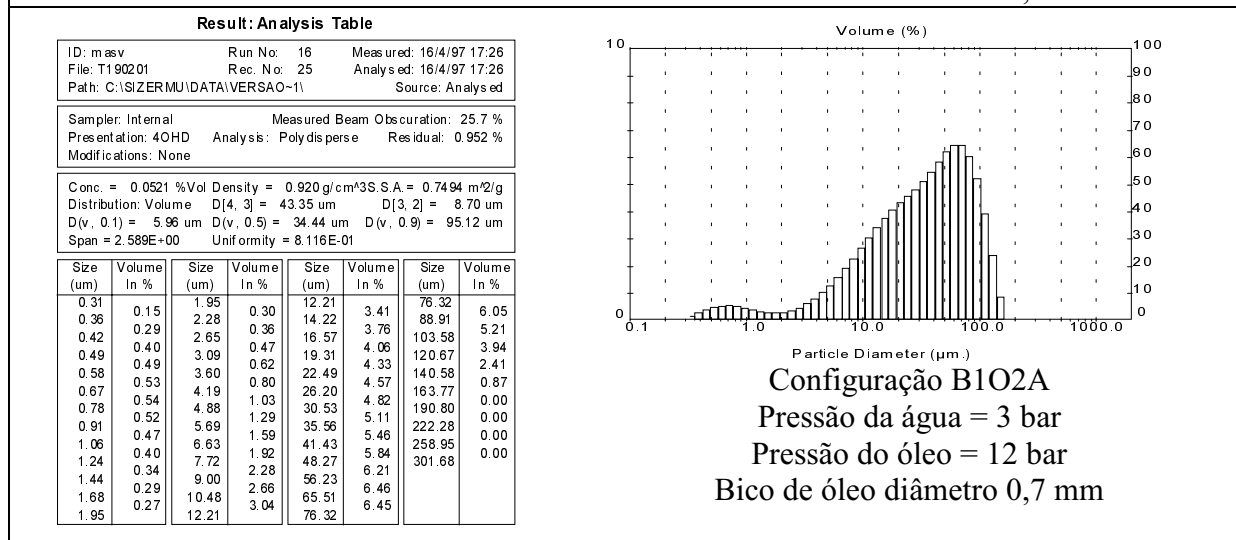
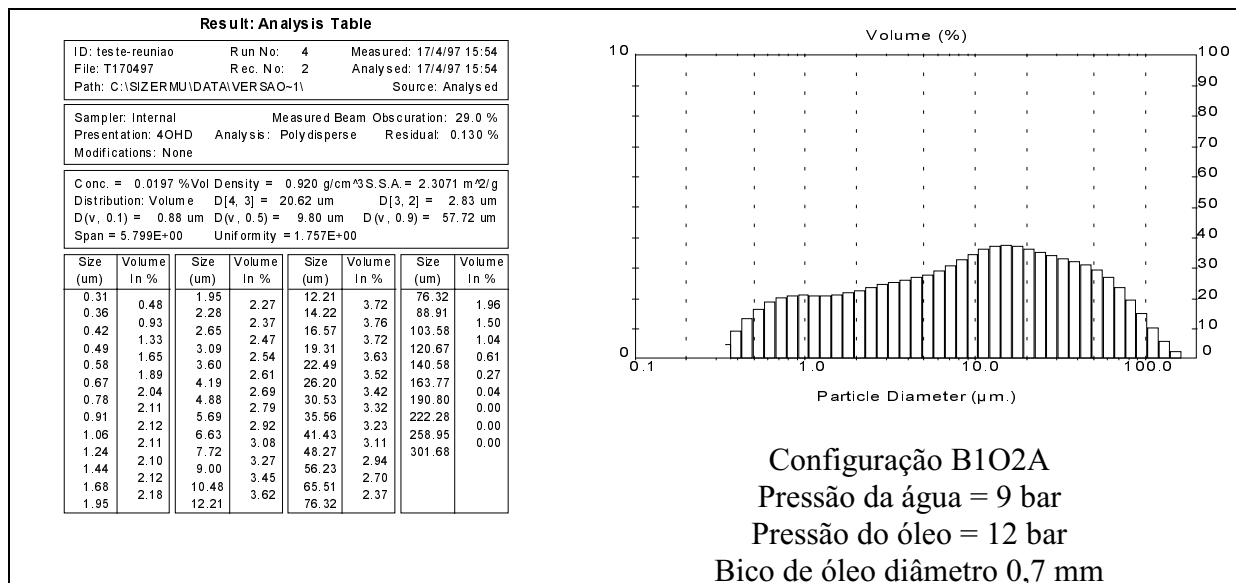
A seguir são apresentados, de forma sintética, alguns resultados de ensaios obtidos com auxílio do equipamento Malvern.



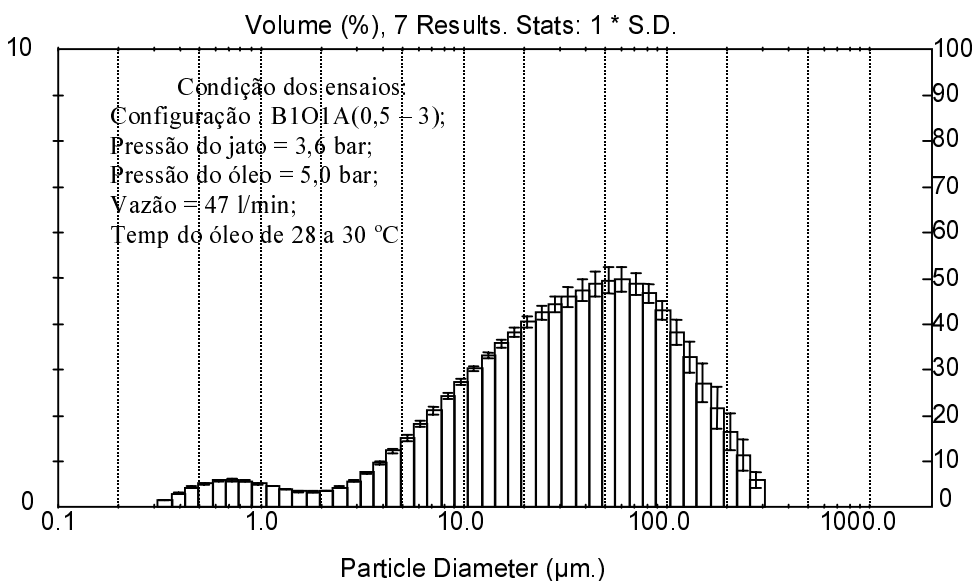
**Figura 7** Resultados de ensaios de geração de emulsão (Varella et alii, 1998).



**Figura 8** Resultados de ensaios de geração de emulsão (Varella et alii, 1998).



**Figura 9 Resultados de ensaios de geração de emulsão (Varella et alii, 1998).**

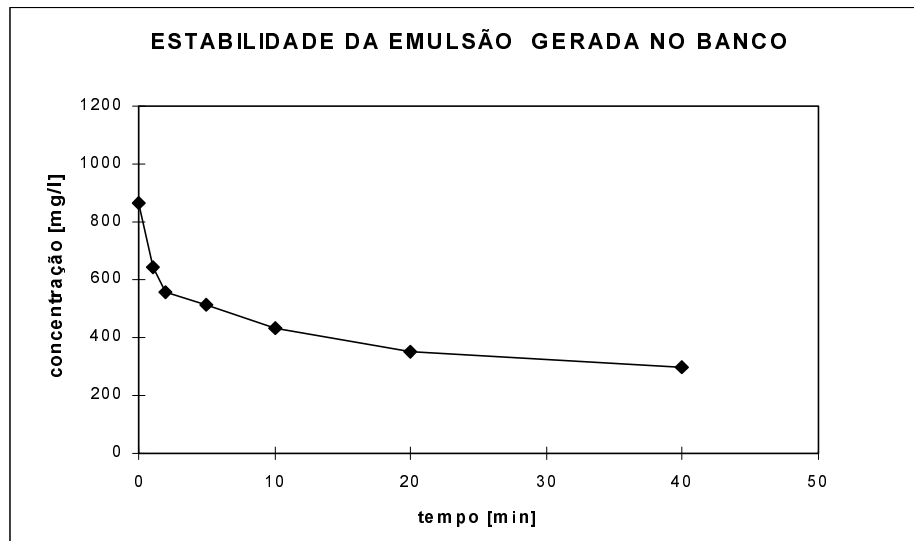


**Figura 10 Curva de repetibilidade de geração de emulsão do banco.**



Além de permitir a geração de emulsões com as mais diversas características é importante que estas emulsões apresentem repetibilidade. A **Figura 10** apresenta a média de 7 leituras realizadas em dias diferentes, mantendo-se sempre a mesma condição de regulação do banco.

Para cada classe de diâmetro pode-se observar o valor médio da distribuição em volume e as pequenas barras que aparecem no topo da curva representam o desvio padrão para cada classe de diâmetro. A notação B1O1A(0,5 -3) que aparece na figura significa que foi utilizado um bico de água com diâmetro 3 mm e o bico de óleo com diâmetro 0,5 mm).



**Figura 11** Diminuição da concentração de óleo em água, em função do tempo, de uma emulsão que após sua geração é mantida em repouso.(Varella et alii, 1998)

Outra característica importante em uma emulsão gerada artificialmente é a sua estabilidade. Em se tratando de um gerador de emulsão que tem por finalidade o teste de equipamentos de separação é desejável que gere emulsões com uma estabilidade compatível com aquela a ser encontrada na situação real de aplicação. Para verificar esta características foram realizados alguns ensaios de estabilidade das emulsões geradas. A **Figura 11** apresenta estes resultados

#### 4. CONCLUSÃO

O banco como concebido permite a variação de diversos parâmetros operacionais (pressão e vazão do óleo injetado, pressão e vazão do jato auxiliar de água, pressão e vazão da linha principal de água), e todas estas grandezas podem ser ajustadas de forma independente. Além disto, é possível mudar com certa facilidade a configuração de montagem.

Com isto, pode-se dizer, que da forma como o sistema se encontra, é possível obter uma dada emulsão previamente especificada.

Analisando-se os resultados típicos de campo obtidas em diversas plataformas nota-se que as emulsões geradas no banco reproduzem perfeitamente todas as emulsões de campo que foram analisadas.

Apesar da adequação deste banco à sua finalidade, sua operação permitiu que se observasse algumas características que devem ser levadas em conta para que se possa melhorar o desempenho de uma instalação deste tipo.

O controle da temperatura do petróleo a ser emulsionado é muito importante pois, com a variação de sua temperatura ocorre também uma variação no tamanho e distribuição das gotas

geradas. Isto se deve ao fato de que a viscosidade do petróleo varia acentuadamente com a temperatura e portanto variações da ordem de 2 °C já interferem significativamente nos resultados.

Seria muito útil à instalação de um sistema de desaeração e filtração da água pois o ar dissolvido na água e também pequenas partículas de sujeira interferem nas medidas de tamanho e distribuição de gotas. A perfeita caracterização destas gotas é fundamental quando se está analisando o desempenho de sistemas de separação.

### ***Agradecimentos***

Esta pesquisa tem o suporte financeiro da Petrobras através de um contrato de desenvolvimento de nº 650.2.112.96.6 (CENPES), firmado entre a EFEI e o CENPES/PETROBRAS. Além do apoio financeiro há de se ressaltar a cooperação técnica existente durante todas as etapas do projeto por parte do pessoal do CENPES, que viabilizou os desenvolvimentos realizados.

### **REFERÊNCIAS**

- Plat, R; van den Broek, W.M.G.T. Towards More Compact and Efficient De-oiling Equipment, OTC 6425 Offshore Technology Conference, 1990
- Salager, J. L. e Salager, R. A. - Curso Básico de Emulsões Aplicado à Indústria do Petróleo, Universidad de Los Andes, Mérida – Venezuela, 1996.
- Travalloni, A M. L. e Oliveira, M. T. de – Caracterização de sistemas emulsionados através de técnicas de espalhamento de luz, Relatório interno Cenpes/Petrobras, 1994
- Travalloni, A M. L. e Oliveira, M. T. de - Metodologia de Preparo e Caracterização de Águas Oleosas Sintéticas, Relatório interno Cenpes/Petrobras, 1996
- Van-del Linden, J.P – Liquid-Liquid Separation in Disc-Stack Centrifuges. PhD. Tesis. Technische Universiteit Delft. Delft- Netherland. 1987
- Varella, S. et al. – 3 ° Relatório de Progresso da Pesquisa “Análise e Desenvolvimento de Separador de Óleo Tipo Centrífugo”, Relatório interno Cenpes/Petrobras, 1998

## **DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF EMULSION GENERATION**

**Summary:** *The main problem concerning the test of separation systems applied to oily waters, is the generation of an emulsion that represents the test conditions, including the one existent in real conditions.*

*This paper describes a system of emulsion generation developed to integrate the test rig for equipment destined to the oil separation in oily waters.*

*It is presented the emulsion generator device, which consists, basically, of the injection with high pressure of the petroleum in a group of injector nipples connected to a spool with flowing water. Both the circuit of petroleum and the one with water contain a series of valves and deviations that allow the generation of emulsion with concentration of oil that varies from 100 to 1500ppm and particles (drops) from 10 to 100 µm which allows the simulation of several emulsion types commonly found in the rejection of the oil industry.*

*It is also shown some typical results obtained in the developed emulsion generator or test rig that are in operation.*

**Key words:** *Generation of emulsion, Oily water treatment, Emulsions*