

BR 79 03160



**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE FATORES NA
DISTRIBUIÇÃO DE DIÂMETROS DE GOTAS DE ÓLEO
DIESEL EM SUSPENSÃO EM ÁGUA**

Pablo Angel Sánchez Podlech

**DISSERTAÇÃO E TESE - IEA 084
IEA - DT - 084**

NOVEMBRO/1978

CONSELHO DELIBERATIVO

MEMBROS

Klaus Reinach – Presidente
Roberto D'Utra Vaz
Helcio Modesto da Costa
Ivano Humbert Marchesi
Admar Cervellini

PARTICIPANTES

Regina Elisabete Azevedo Beretta
Flávio Gori

SUPERINTENDENTE

Rômulo Ribeiro Pieroni

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE FATORES NA
DISTRIBUIÇÃO DE DIÂMETROS DE GOTAS DE ÓLEO
DIESEL EM SUSPENSÃO EM ÁGUA**

Pablo Angel Sánchez Podlech

**Tese para obtenção do Título de "Doutor em
Ciências" - Orientador Prof. Dr. Walter Borzani.
Apresentada e defendida em 02 de dezembro de 1977,
na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.**

**INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
SÃO PAULO - BRASIL**

Série DISSERTAÇÃO E TESE IEA

INIS Categories and Descriptors

E41

Oils

Particle size

Radiometric analysis

Labelling

Nota: a redação, ortografia e conceitos são de responsabilidade dos autores.

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO I	
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II	
PRINCÍPIO DO MÉTODO	5
CAPÍTULO III	
CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DE RESULTADOS JÁ PUBLICADOS	14
III.1 – Distribuição de Diâmetros para $Re > 1$	14
III.2 – Correlação entre o Parâmetro β (Equação (II-9)), a Concentração de Óleo (S_o) e a Frequência do Agitador (N), para $Re < 1$	15
CAPÍTULO IV	
MATERIAIS E MÉTODOS	25
IV.1 – Equipamentos	25
IV.2 – Materiais	30
IV.3 – Métodos	30
IV.4 – Determinação das Equações das Curvas	32
IV.5 – Comparação de Distribuições	32
CAPÍTULO V	
RESULTADOS EXPERIMENTAIS E DISCUSSÃO	36
V.1 – Viscosidade Cinemática e Densidade, a $30,0^{\circ}C$, dos Óleos Utilizados	36
V.2 – Influência do Borbulhamento de Ar na Distribuição de Diâmetros	36
V.3 – Influência do Tipo de Óleo na Distribuição de Diâmetros	36
V.4 – Coalescência de Gotículas Durante seu Deslocamento em Direção à Superfície Livre do Líquido	42
CAPÍTULO VI	
CONCLUSÕES	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE FATORES NA DISTRIBUIÇÃO DE DIÂMETROS DE GOTAS DE ÓLEO DIESEL EM SUSPENSÃO EM ÁGUA

Pablo Angel Sánchez Podlesch

RESUMO

O Autor mostra, baseado em resultados já publicados^(21,20), que:

- 1) é possível, a partir dos resultados obtidos com o método radiométrico, determinar a distribuição de diâmetros quando $2 < Re \leq 408$;
- 2) é possível correlacionar o parâmetro que define a distribuição de diâmetros com a concentração do óleo e a frequência do agitador.

O Autor, trabalhando com três fermentadores diferentes, mostra ainda que:

- 1) o borbulhamento de ar influíu na distribuição de diâmetros, principalmente nos ensaios em que a concentração de óleo era relativamente alta;
- 2) o tratamento do óleo diesel com ácido sulfúrico influíu acentuadamente na distribuição de diâmetros;
- 3) dependendo da geometria do sistema, a distância do detetor ao fundo do tanque pode influir nos resultados obtidos.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Em nossa Dissertação de Mestrado⁽²⁰⁾, apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, tivemos a oportunidade, no capítulo introdutório, tecer várias considerações e apresentar diversas informações, de caráter geral, relativas à importância de processos fermentativos que utilizam, como principal fonte de carbono e de energia, hidrocarbonetos líquidos.

Apenas uma daquelas informações deve ser modificada. A Kanegafuchi Chemical Industry Co., Ltd., não iniciou a produção de concentrado proteico no Japão. Associou-se à Liquichimica Biointesi S.p.A. e montou, no sul da Itália, uma instalação para produzir 100.000 toneladas anuais do concentrado, já em funcionamento (informação pessoal do Dr. Carlos Kurt von Erlae).

Entre as várias publicações recentes ligadas ao assunto, três devem ser destacadas: o artigo de Laine⁽¹⁴⁾, intitulado "What Proteins Cost from Oil", e revisão de Lipinsky e Litchfield⁽¹⁵⁾, intitulada

Aprovada para publicação em Janeiro/1978

"Single-Cell Protein in Perspective" e o excelente volume editado por Gounelle de Pontanel⁽¹⁰⁾ onde, sob o título genérico de "Proteins from Hydrocarbons", foram reunidos os trabalhos apresentados no Simpósio realizado, em 1.972, em Aix-en-Provence. As conclusões desse Simpósio, redigidas por Gounelle de Pontanel, merecem ser literalmente transcritas neste momento. É o que faremos a seguir:

"The time has come to draw a number of conclusions from our Symposium, and I should like to do this as a nutritionist and toxicologist, arriving without preconceived ideas, and in the light of the papers and discussions we have heard and participated in.

As stressed by Prof. Masek, three stages have to be considered as concerns new foods: first, the need to demonstrate that their nutritional value is such that they can help to close the food gap highlighted by Dr. Autret; secondly, the need to prove that they are safe; thirdly, how to use them acceptably in human diet. Additionally, as Dr. Autret has also stressed, regular supplies of this new food have to be available at a predictable cost.

Let us return to the question of nutritional value. The product is particularly rich in protein. It has a high lysine content and any deficiency tends to be in methionine – although this is no more pronounced than in the case of other vegetable proteins.

As concerns vitamins, something which has perhaps not been emphasized strongly enough in our discussions, we have to stress the importance of the B complex. As concerns inorganic elements, the product is rich in iron.

Finally, the nutritional value of the yeast now appears established as a result of its biological performance with livestock, which seems to be extremely satisfactory. The results of the experiments carried out on hundreds of thousands of animals, something unique in the systematic testing of a food, are clear enough.

A recent paper by Prof. Verne of the Academie de Medecine, entitled "Comportement des hepatocytes cultives en presence d'un concentré protéique de levures developpees sur un substrat pétrolier" (i.e. the Yeast L substrate) concludes that: "Proteins obtained from yeast grown on a petroleum substrate can be used by cells outside the organism, in this case hepatocytes cultivated in vitro, and clearly favour cell growth and activity. This is a further plus factor.

Let us now consider safety and toxicology. Very comprehensive tests have already been made on the two types of yeast, i.e. Lavera Yeast L, cultivated on a gas-oil substrate, and Grangemounth Yeast G, grown on pure paraffins (as used for food and even medicinal purposes). What really matters, is not so much the nature of the substrate, as the possibility of retention of traces of polycyclic aromatic compounds in the final product, i.e. the yeast.

Prof. Ferrando's paper shows that the results of analysis are reassuring in this respect. Many commonly-used orthodox foods exhibit distinctly higher contents of polycyclic aromatic compounds than the Lavera yeasts. Examples are dried wheat, lettuce, spinach and shellfish. The problem would appear to be basically psychological therefore.

As to nucleic acids, I think this was well dealt with by Prof. Bigwood who stressed that their concentration must be reduced. We know that the level of 8% can now be reduced by half to 4%. If we consider a daily yeast intake of 10 grams – since 20 grams is already a substantial amount – this gives us only 800 milligrams a day (or 400 milligrams if the nucleic content is reduced to 4%). Now if these figures are compared with those for other common foods we see that 150 grams of liver contains 1.37 grams of nucleic acids and 100 grams of sardines contains 0.50 grams. In any case, we are well below the daily intake figure of two grams of nucleic acids which the PAG advises should not be exceeded.

And, although I entirely agree with Prof. Bigwood that the nucleic acid content should be

reduced for well-fed people, I wonder whether, in the developing countries, where meat is a rare commodity, a controlled increase in the supply of nucleic acids might not in fact be desirable in terms of the known importance of these substances to the cerebral metabolism.

Some people have criticized the high iron content of the yeast. This can of course be reduced by processing, but would this always be desirable? In many developing countries, where anaemia is a chronic condition and is mainly due to generalized parasitic infection, high-iron foods are actively recommended.

The papers by Prof. Senz and Dr. Autret have convinced us of the hopes held out by biosynthetic protein, in terms of regularity of supply and competitive cost.

We now have to ask ourselves whether it is not time to go a step further and include these very promising yeasts in human diet. As recommended by Prof. Scrimshaw's paper, we should give consideration to preliminary clinical tests on human subjects. These tests determine palatability, tolerance and ability to cover nitrogen requirements, and be carried out under the supervision of experienced nutritionists according to the PAG Guideline procedures.

For obvious psychological reasons, it would be better to make a parallel start in the industrial countries, since the developing countries could suggest that we were offering them a new type of food which we did not want for ourselves. Tests should be run, first on groups of adults, then on elderly people, and only later, in the light of these results, on infants. If, as is likely, the conclusions of these studies are satisfactory, we then have to ensure that production quality – and there is no reason to doubt this – is uniform.

International food regulations will be needed. The project now being discussed by the EEC seems particularly rigorous, and health specialists will, of course, welcome this.

Before winding up the Symposium, I should like, on behalf of the Scientific Committee and all those taking part, to thank the British Petroleum Company for enabling our discussions to be held, and particularly Mr. Molinero and the other organizers who have, for many months, given unstintingly of their time.

A influência do estado de subdivisão do hidrocarboneto na cinética do processo fermentativo, já destacada em nossa Dissertação de Mestrado⁽²⁰⁾, continua sendo objeto de muita discussão e da atenção de pesquisadores. Neste particular, devem ser citados os trabalhos de Erickson et al.⁽⁹⁾, Moo Young e Shimizu⁽¹⁷⁾, Yoshida e Yamada⁽²⁸⁾, Mimura et al.⁽¹⁶⁾, Humphrey e Erickson⁽¹²⁾, Wang e Ochoa⁽²⁵⁾, Einsele et al.⁽⁷⁾, Blanch e Einsele⁽³⁾, Prokop e Ludvik⁽¹⁸⁾, Blanch e Fiechter⁽⁴⁾, Bajpai e Prokop⁽¹⁾, Einsele et al.⁽⁸⁾, Bajpai et al.⁽²⁾, Chakravarty et al.⁽⁶⁾. Os vários aspectos dos problemas examinados por esses autores, ainda muito controversos dada a complexidade dos processos estudados, não serão comentados porque, a rigor, pouca ou nenhuma importância apresentam para o trabalho que nos propuzemos realizar. Sua citação, contudo, nos parece necessária para ressaltar devidamente a importância com que vêm sendo encaradas as questões relacionadas com a distribuição de diâmetros de gotas nesses processos microbianos.

Um trabalho, porém, merece citação especial pelos resultados apresentados. Hattori et al.⁽¹¹⁾, estudando o problema de ampliação de escala na produção de ácido L-glutâmico por fermentação de uma mistura de hidrocarbonetos parafínicos normais (C₁₁ – C₁₅), pela ação de *Arthrobacter paraffineus*, chegaram à conclusão que "The most important for the scale-up of L-glutamic acid fermentation from n-paraffin was the oil droplet size; other physical factors such as the oxygen transfer rate and the power input per unit liquid volume were less important." Uma das figuras apresentadas no trabalho em apreço⁽¹¹⁾ merece ser reproduzida por sua importância (ver Figura 1.1).

Justifica-se, portanto, o desenvolvimento de trabalhos com o objetivo de aperfeiçoar os conhecimentos atuais relativos à distribuição de diâmetros de gotas de hidrocarbonetos líquidos em suspensão em meio aquoso.

O método radiométrico, descrito em nossa Dissertação de Mestrado⁽²⁰⁾ e publicado posteriormente^(6,21), foi mais tarde utilizado no estudo da influência da aeração na distribuição de diâmetros de gotas de óleo diesel em suspensão em água destilada⁽²²⁾.

Dando prosseguimento à linha de trabalho em apreço apresentamos agora esta Tese, cujos principais objetivos são:

- 1) Apresentar novas conseqüências de resultados publicados anteriormente^(21,20).
- 2) Estudar a influência dos seguintes fatores na distribuição de diâmetros:
 - a) borbulhamento de ar;
 - b) tipo de óleo;
 - c) posição do detetor de radiações.

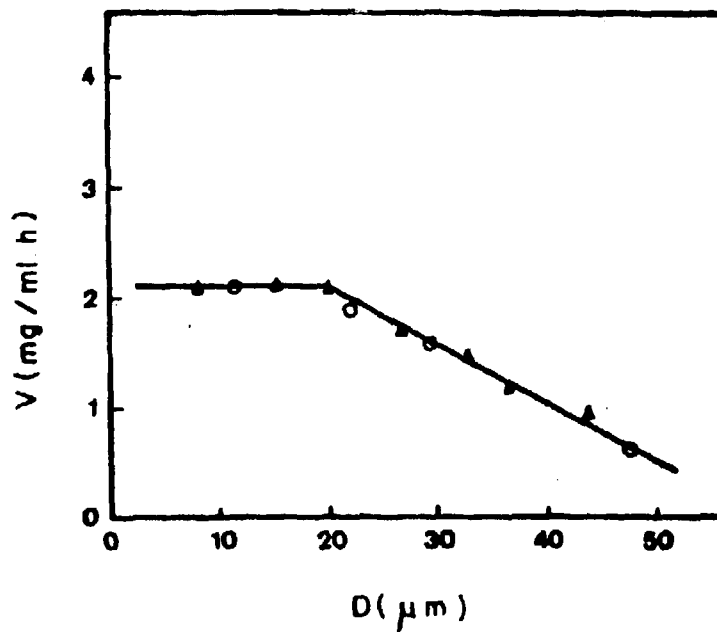


Figura 1.1 - Influência do Diâmetro das Gotas de Óleo (D) na Velocidade de Produção (V) de Ácido L-Glutâmico. Capacidade do Fermentador: 5 litros (Δ), 300 litros (\square) e 2000 litros (\circ) (11)

CAPÍTULO II

PRINCÍPIO DO MÉTODO

No intuito de facilitar a leitura deste trabalho transcreve-se, a seguir, o princípio do método radiométrico de medida da distribuição de diâmetros de gotas de óleo em suspensão aquosa, proposto anteriormente⁽²⁰⁾ e utilizado em nossos ensaios.

"Consideremos uma mistura constituída de uma fase aquosa e de óleo (hidrocarboneto puro ou mistura de hidrocarbonetos) contida em um tanque de fermentação esquematicamente representado pela Figura 2.1.

O sistema estará definido se conhecermos o volume de líquido, as dimensões do tanque (diâmetro e altura), as dimensões e o tipo do agitador, a posição do agitador e sua freqüência, o número e a disposição das chicanas bem como suas dimensões, as posições e as dimensões de outras peças existentes (serpentina de aquecimento ou resfriamento, eletrodos, termômetro, dispersor de ar, etc.), as composições da fase aquosa e do óleo e a "concentração" deste último no sistema em estudo.

Imaginemos um sistema como o representado na Figura 2.1, perfeitamente definido, possuindo água e óleo ao qual foi incorporado um traçador radioativo adequado.

Colocando-se o agitador em funcionamento, desde que sua velocidade seja superior a um valor mínimo que depende das condições do ensaio, o óleo se subdivide em gotas que permanecem em suspensão na fase aquosa e cujos diâmetros variam com as condições experimentais. Depois de algum tempo de agitação, variável de caso para caso, a "concentração" de óleo no sistema (definida como a relação entre a massa de óleo em suspensão e o volume total do líquido) permanece constante com o tempo e é a mesma em cada ponto. Costuma-se dizer então que o óleo se encontra homogeneamente distribuído na fase aquosa. O trecho AB da Figura 2.2 representa a curva obtida no registrador (Figura 2.1) durante essa fase do ensaio.

Uma vez atingida a homogeneidade da suspensão, interrompe-se bruscamente a agitação. As gotículas de óleo dirigem-se para a superfície diminuindo, gradativamente, a concentração do material existente em frente à fenda colimadora (Figura 2.1) e obtém-se, no registrador, o trecho BC da curva da Figura 2.2.

Na apresentação do princípio do método em apreço, serão utilizados os seguintes símbolos:

d = diâmetro da gota de óleo = $2r$;

g = aceleração da gravidade;

h = altura da turbina;

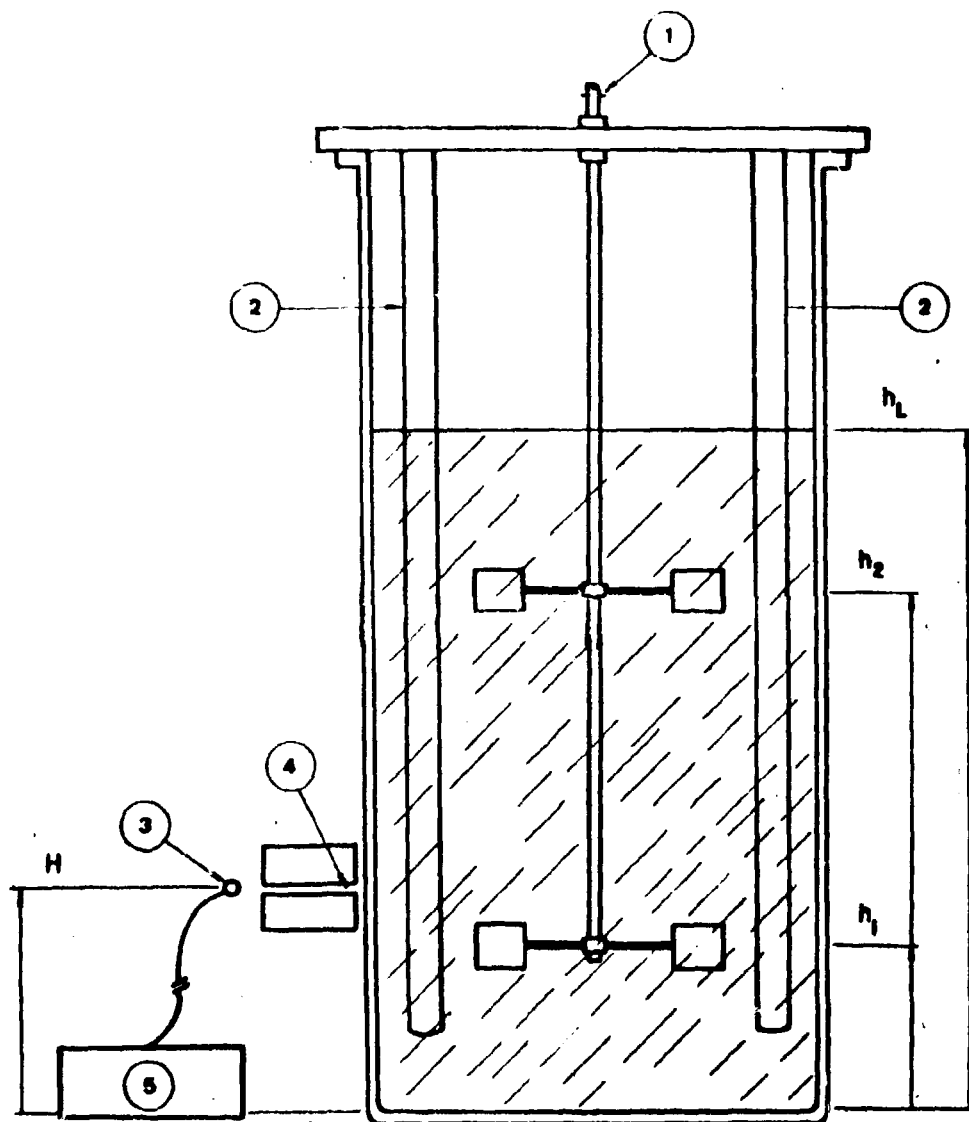
h_L = altura de líquido;

r = raio da gota de óleo;

t = tempo contado a partir do instante em que cessa o movimento do líquido e se inicia o deslocamento livre das gotas de óleo em direção à superfície;

v = velocidade da gota de óleo;

H = altura do detetor em relação ao fundo do tanque;



esc. 1:3

Figura 2.1 – Representação Esquemática de um Tanque de Fermentação: 1) Agitador Mecânico; 2) Chicanas; 3) Detetor de Radiações; 4) Fenda Collimadora; 5) Registrador; h_L = Altura de Líquido; H = Altura do Detetor; h_1 e h_2 = Altura das Turbinas

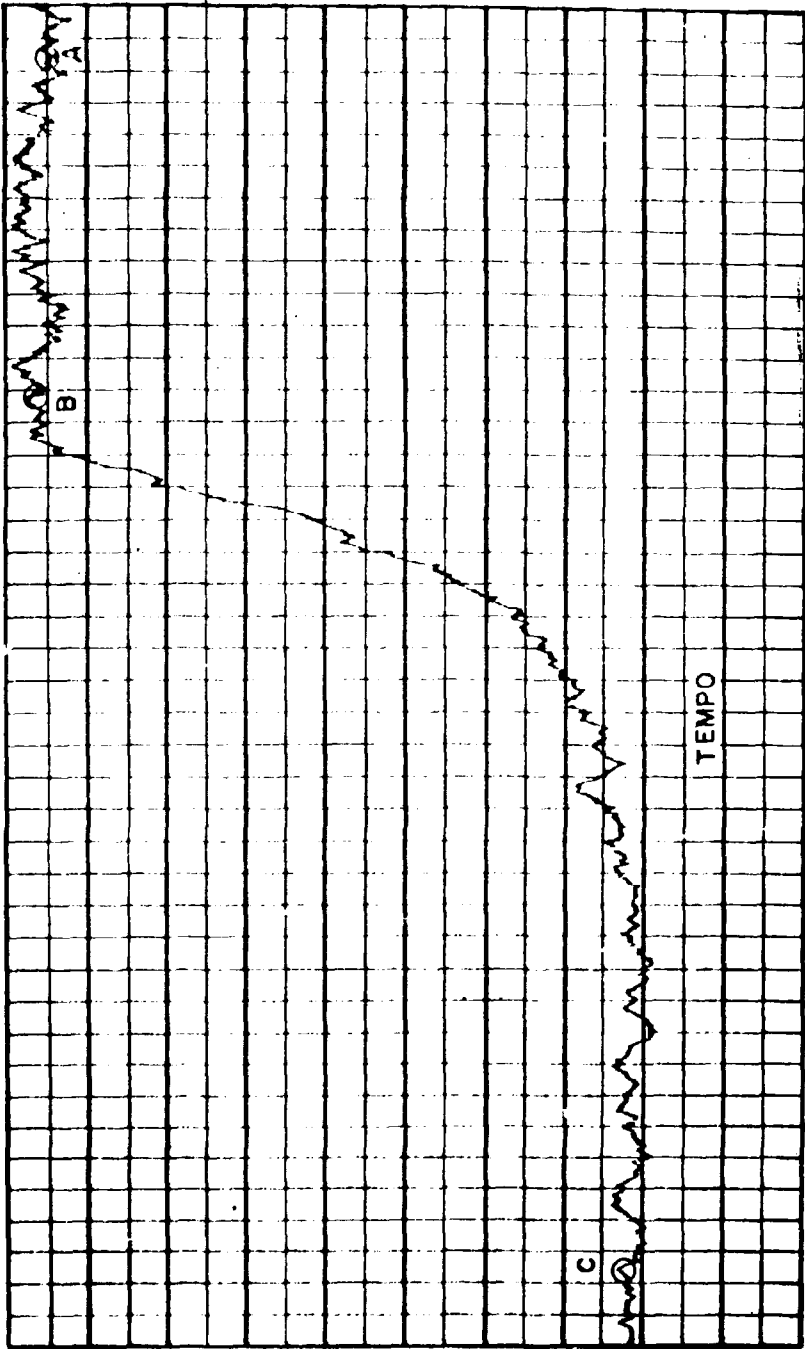


Figura 2.2 - Representação Esquemática da Curva Obtida em um Ensaio Completo

Re = número de Reynolds;

S = concentração de óleo em frente à fenda colimadora em um instante qualquer;

S_0 = concentração de óleo em frente à fenda colimadora quando aquele se encontra homogeneamente distribuído no sistema (= massa total de óleo/volume total do líquido);

T = tempo contado a partir do instante em que se interrompe a agitação;

Y = concentração relativa de óleo em frente à fenda colimadora, definida pela relação $(S/S_0) \cdot 100$;

η = viscosidade da água na temperatura do ensaio;

ν = viscosidade cinemática da água na temperatura do ensaio;

ρ_a = densidade da água na temperatura do ensaio;

ρ_o = densidade do óleo na temperatura do ensaio;

$\Delta\rho = \rho_a - \rho_o$;

σ = tensão interfacial água-óleo.

Conhecendo-se a curva da Figura 2.2 é possível determinar a distribuição de diâmetros das gotas de óleo, da maneira que se indica a seguir.

Deve-se, em primeiro lugar, calcular o instante em que, uma vez interrompida a agitação, cessa o movimento do líquido e se inicia o deslocamento livre das gotas de óleo. A partir do trecho BC (Figura 2.2) obtido experimentalmente, traça-se o gráfico da Figura 2.3, determina-se a equação da curva correspondente e, a seguir, o instante desejado:

$$\log Y = \log Y_0 - \alpha T \quad \therefore 2 = \log Y_0 - \alpha \nu$$

$$\therefore b = \frac{\log Y_0 - 2}{\alpha} \quad (11-1)$$

Conhecendo-se o valor de b , e sendo $T = t + b$, a equação que relaciona Y com o tempo pode ser escrita:

$$Y = Y_0 \cdot 10^{-\alpha(t+b)}$$

ou

$$Y = 100 \cdot 10^{-\alpha t} \quad (11-2)$$

equação esta que nos dá o valor da concentração de óleo em frente à fenda colimadora no instante t .

Podemos então calcular a fração percentual da massa de óleo que, no instante t , já passou pela fenda colimadora em seu deslocamento em direção à superfície. Indicando com F essa fração, temos:

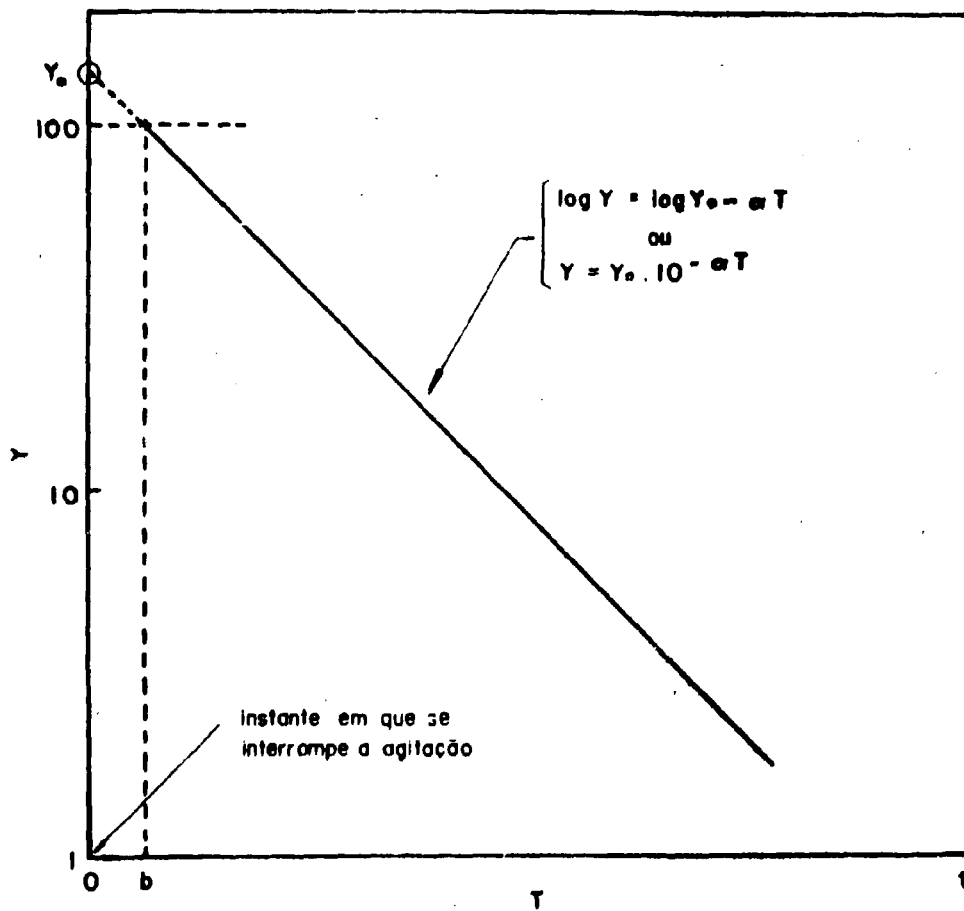


Figura 2.3 – Representação Esquemática da Curva Obtida a Partir dos Pontos Experimentais do Trecho BC (Figura 2.2)

$$F = 100 - Y = 100 (1 - 10^{-\alpha t}) \quad (11-3)$$

Por outro lado, pela lei de Stokes⁽¹³⁾, podemos calcular o raio da menor gota de óleo que, partindo do fundo do tanque de fermentação atingiu, no tempo t , o nível em que se encontra o detetor:

$$r^2 = \frac{9\eta}{2(\rho_a - \rho_o)g} \cdot \frac{H}{t} \quad (11-4)$$

logo:

$$t = \frac{A \cdot H}{r^2} \quad (11-5)$$

sendo:

$$A = \frac{9\eta}{2(\rho_a - \rho_o)g} \quad (11-6)$$

Substituindo (11-5) em (11-3) resulta:

$$F = 100 (1 - 10^{-\alpha A H^2}) \quad (11-7)$$

Esta última equação nos permite calcular a fração F de óleo constituída por gotas de raio maior ou igual a r_e , consequentemente, a distribuição desejada.

Finalmente, convém ressaltar que a aplicação da lei de Stokes e, portanto, da equação (11-4), somente é válida se o número de Reynolds, definido pela equação (11-8), for inferior à unidade.

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (11-8)$$

Nesta Tese, a equação (11-7) será substituída por:

$$\phi = e^{-\beta/r^2} \quad (11-9)$$

sendo:

ϕ = fração da massa de óleo na forma de gotas de raio menor do que r ;

$$\beta = 2,303 \alpha A H \quad (11-10)$$

Nos trabalhos que já publicamos a respeito deste assunto^(15,21,22,20), as distribuições foram calculadas para $0 < r < 95 \cdot 10^{-4}$ cm, intervalo este em que, sendo $Re < 1$, é aplicável a lei de Stokes (equação (11-4)).

No presente trabalho examinaremos também o caso em que $R_g > 1$.

No deslocamento de gotas em um fluido, o sistema pode ser caracterizado por um adimensional $P^{(23)}$ definido por:

$$P = \frac{\rho_g \cdot \sigma^3}{g \cdot \Delta \rho \cdot \eta^4} \quad (11-11)$$

No caso particular do sistema "água-óleo-diesel" a 30°C , tem-se:

$$\rho_g = 0,9956 \quad \text{g/cm}^3$$

$$\phi = 29,00 \quad \text{d/cm}$$

$$\eta = 8,007 \cdot 10^{-3} \quad \text{p}$$

$$\Delta \rho = 0,9956 - 0,8216 = 0,1740 \quad \text{g/cm}^3$$

$$g = 978,68 \quad \text{cm/s}^2$$

logo:

$$P = 3,47 \cdot 10^{10}$$

Para o movimento de gotas em regime intermediário, definido por $2 < Re < 1.000^{(23)}$, no caso de fluidos não "extremamente purificados" e quando $10^7 < P < 10^{11}$, a seguinte equação pode ser aplicada⁽²⁴⁾:

$$v = \frac{d}{4,2} \left(\frac{g \cdot \Delta \rho}{\rho_g} \right)^{2/3} \left(\frac{\rho_g}{\eta} \right)^{1/3} \left(1 - \frac{g \cdot \Delta \rho}{6\sigma} \cdot d^2 \right) \quad (11-12)$$

Consideremos o valor de

$$1 - \frac{g \cdot \Delta \rho}{6\sigma} \cdot d^2$$

Para o caso da mistura água-óleo-diesel, a 30°C , esse fator vale:

$$1 - 0,9789 \cdot d^2 \quad (11-13)$$

Observe-se que, mesmo para gotas de diâmetro igual a 0,3 cm, o valor da (11-13) difere da unidade em menos de 10%.

Isto nos permite simplificar a (11-12) da seguinte maneira:

$$v \cong \frac{d}{4,2} \left(\frac{g \cdot \Delta\rho}{\rho_a} \right)^{2/3} \left(\frac{\rho_a}{\eta} \right)^{1/3} \cong$$

$$\cong \frac{r}{2,1} \left(\frac{g \cdot \Delta\rho}{\rho_a} \right)^{2/3} \left(\frac{\rho_a}{\eta} \right)^{1/3} \quad (11-14)$$

Raciocínio análogo ao utilizado na dedução da (11-7), substituindo porém a lei de Stokes pela (11-14), nos conduz a:

$$F = 100 (1 - 10^{-\alpha} BH/r) \quad (11-15)$$

sendo

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{2,1} \left(\frac{g \cdot \Delta\rho}{\rho_a} \right)^{2/3} \left(\frac{\rho_a}{\eta} \right)^{1/3} \quad (11-16)$$

ou ainda:

$$\phi = e^{-\gamma/r} \quad (11-17)$$

onde:

$$\gamma = 2,303 \alpha BH \quad (11-18)$$

É preciso determinar, agora, o intervalo de aplicabilidade da equação (11-17).

A (11-14), aplicada ao sistema água-óleo-diesel a 30°C, fornece:

$$v \cong 73,2 r \quad (11-19)$$

que associada à (11-8) nos dá:

$$r^3 = 5,5 \cdot 10^{-5} \cdot Re \quad (11-20)$$

Quando $Re = 2$ (extremo inferior do regime intermediário), resulta $r \cong 105 \cdot 10^{-4}$ cm; e quando $Re = 1.000$ (extremo superior desse regime), vem $r \cong 0,235$ cm.

Lembrando, porém que a simplificação que conduziu à (11-14) é válida para diâmetros de gotas não superiores a 0,3 cm ($r \leq 0,15$ cm), conclui-se que o intervalo de aplicabilidade da (11-17) é:

$$105 \cdot 10^{-4} \text{ cm} < r \leq 0,15 \text{ cm}$$

ou seja:

$$2 < Re < 400$$

Resta, finalmente, calcular a fração de óleo que se encontra na forma de gotas de raio superior a $95 \cdot 10^{-4}$ cm mas inferior a $105 \cdot 10^{-4}$ cm, intervalo este correspondente a:

$$1 < Re < 2$$

Este cálculo pode ser realizado subtraindo-se do valor de ϕ dado pela (II-17) (para $r = 105 \cdot 10^{-4}$ cm) o valor de ϕ dado pela (II-8) (para $r = 95 \cdot 10^{-4}$ cm). Como não se conhece a distribuição nesse intervalo, essa fração de óleo será considerada como constituída de gotas de raio igual a:

$$\frac{(95 + 105) 10^{-4}}{2} = 100 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$$

CAPÍTULO III

CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DE RESULTADOS JÁ PUBLICADOS

O objetivo deste Capítulo é o de apresentar conseqüências que ainda podem ser obtidas a partir de resultados colhidos em trabalhos anteriores^(21,20), no intuito de complementar as informações então publicadas.

Serão examinados os seguintes tópicos:

- 1) Distribuição de diâmetros para $Re > 1$.
- 2) Correlação entre β (Equação (II-9), capítulo II), S_o (concentração de óleo no sistema) e N (frequência do agitador), para $Re < 1$.

1) Distribuição de Diâmetros para $Re > 1$

As equações (II-17) e (II-18) nos permitem calcular a distribuição de diâmetros, em determinadas condições experimentais, quando $2 < Re < 400$.

De fato, consideremos, a título de exemplo, os resultados obtidos nas seguintes condições^(21,20):

Sistema: água-óleo diesel

Temperatura = 30°C ($\therefore A = 2,1155 \cdot 10^{-4} \text{ cm.s}$)

$$S_o = 75,6 \text{ g/l}$$

$$N = 190 \text{ min}^{-1}$$

$$H = 8,0 \text{ cm}$$

Nesse caso, obtve-se^(21,20):

$$\alpha = 13,59 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$$

o que corresponde a:

$$\beta = 5,30 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2$$

Considerando que, no sistema em estudo

$$\beta = 1,3661 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$

resulta:

$$\gamma = 3,42 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$$

Logo, no exemplo considerado, teremos as seguintes distribuições:

a) para $Re < 1$ ($0 < r < 95 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$)

$$\phi = e^{-5,30 \cdot 10^{-5}/r^2}$$

b) para $2 < Re \leq 409$ ($105 \cdot 10^{-4} \text{ cm} < r \leq 0,15 \text{ cm}$)

$$\phi = e^{-3,42 \cdot 10^{-3}/r}$$

representadas na Figura 3.1.

Podemos agora calcular a fração $\Delta\phi$ de óleo que se encontra na forma de gotas cujos raios estão compreendidos entre $95 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$ e $105 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$:

$$\Delta\phi = \exp(-3,42 \cdot 10^{-3}/105 \cdot 10^{-4}) - \exp[-5,30 \cdot 10^{-5}/(95 \cdot 10^{-4})^2]$$

$$\Delta\phi = 0,16$$

isto é, no exemplo em apreço, 16% da massa de óleo encontra-se na forma de gotas de raios compreendidos entre os valores já citados.

2) Correlação entre o Parâmetro β (Equação (II-8), Capítulo II) e Concentração de Óleo (S_o) e a Frequência do Agitador (N), para $Re < 1$

E a experiência mostra^(20,22) que, mantidas inalteradas as demais condições experimentais, a concentração de óleo e a frequência do agitador influem acentuadamente na distribuição de diâmetros de gotas de óleo diesel em suspensão em água. Tais diâmetros tendem a diminuir quando diminui a concentração de óleo ou quando aumenta a frequência do agitador.

A partir dos valores α publicados nos trabalhos citados^(20,22) e obtidos nas seguintes condições:

Sistema: água-óleo diesel

Fermentador utilizado: Fermentador II (Capítulo IV)

Temperatura = 30°C

$$h_L = 31,0 \text{ e } 33,8 \text{ cm}$$

$$h_1 = 23,0 \text{ cm}$$

$$h_2 = 7,0 \text{ cm}$$

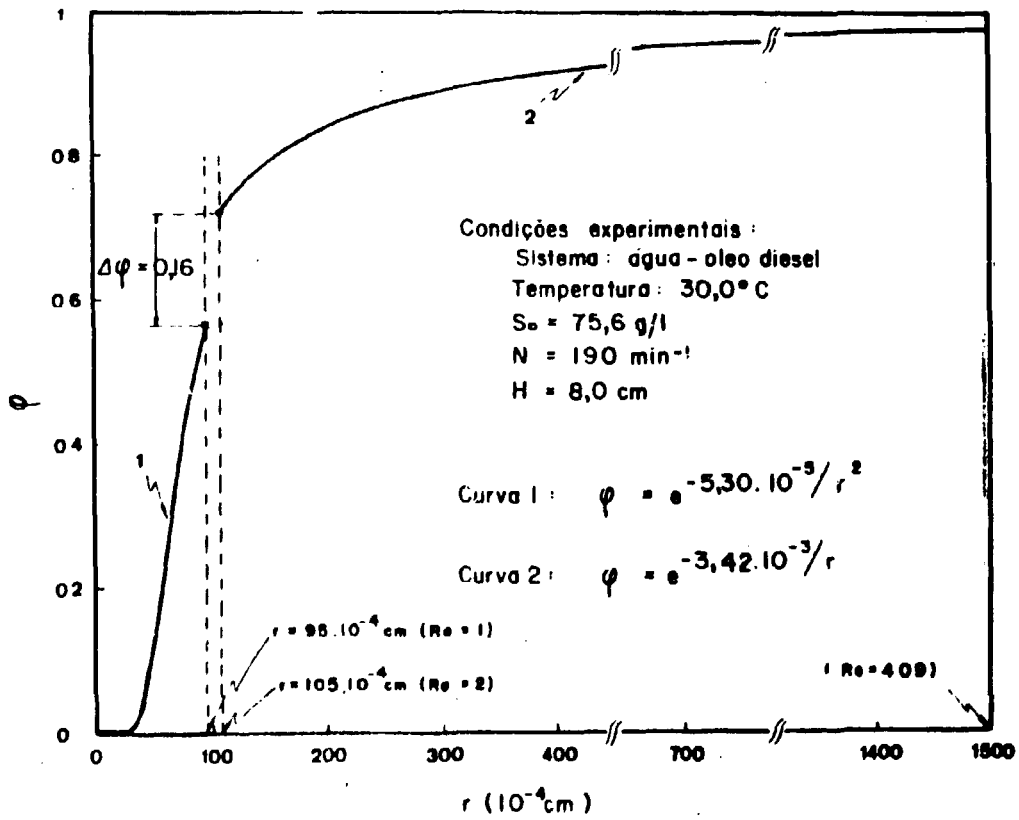


Figura 3.1 – Distribuição de Diâmetros para $\text{Re} < 1$ (Curva 1) e $2 < \text{Re} < 409$ (Curva 2)

$$H = 8,0 \text{ cm}$$

calculamos, pela equação (II-10), os valores de β reunidos na Tabela III.1.

Tabela III.1

Valores do Parâmetro β para Diferentes Valores da Concentração de Óleo (S_o) e da Frequência do Agitador (N)

N (min ⁻¹)	10 ⁵ β (cm ²)						
	S_o (g/l)						
	8,2	18,3	24,2	32,0	39,6	61,6	75,6
190	3,13	3,33	4,30	4,54	4,73	4,92	5,30
285	2,77	2,99	3,22	3,43	3,64	3,93	4,36
385	2,40	2,80	3,09	3,31	3,44	3,57	3,90
480	1,79	2,20	2,39	2,51	2,58	2,99	3,15
570	1,22	1,90	2,04	2,31	2,47	2,83	2,88
670	0,84	1,67	1,85	2,01	2,07	2,26	2,44

A relação empírica então observada^(21,26) entre o parâmetro α e a concentração S_o :

$$\alpha = \alpha_m \cdot \frac{S_o}{K + S_o} \quad (\text{III-1})$$

continua válida ao substituirmos α por β :

$$\beta = \beta_m \cdot \frac{S_o}{K + S_o} \quad (\text{III-2})$$

A Tabela III.2 apresenta os valores de β_m e K obtidos pela aplicação da (III-2) aos resultados da Tabela III.1.

A Figura 3.2 indica, por outro lado, a possibilidade de correlacionar β_m e N por uma equação do tipo:

Tabela III.2

Valores de β_m e de K (Equação [III-2]) Calculados a Partir dos Valores da Tabela III.1 para Diferentes Valores da Freqüência do Agitador (N)

N (min^{-1})	$10^5 \cdot \beta_m$ (cm^2)	K (g/l)	C
670	2,65	9,98	0,986
570	3,32	13,22	0,977
480	3,35	9,24	0,954
385	4,14	8,03	0,985
285	4,58	9,49	0,964
190	5,48	6,21	0,995

C = Coeficiente de correlação da regressão linear

$$\frac{1}{\beta} = \frac{1}{\beta_m} + \frac{K}{\beta_m} \cdot \frac{1}{S_o}$$

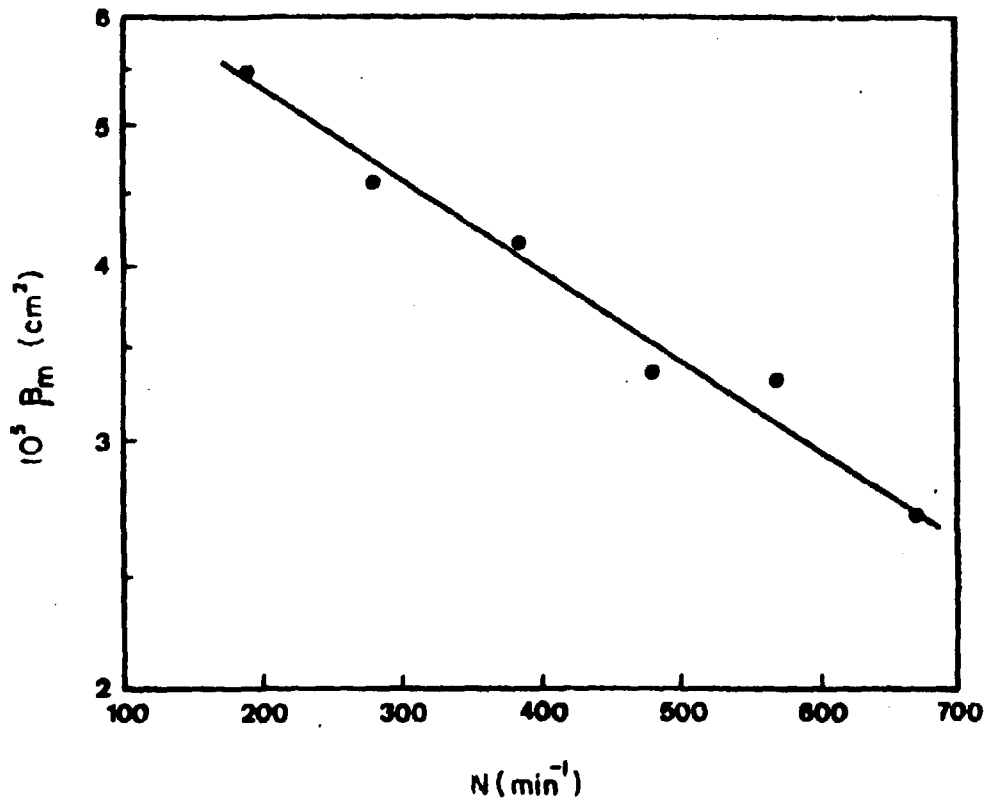


Figura 3.2 - Correlação entre o Valor de β_m e a Frequência do Agitador (N)

$$\beta_m = a \cdot 10^{-bN} \quad (III-3)$$

Associando-se as equações (III-2) e (III-3), resulta:

$$\beta = a \cdot 10^{-bN} \cdot \frac{S_o}{K + S_o} \quad (III-4)$$

que nos mostra a influência da frequência do agitador (N) e da concentração de óleo (S_o) no parâmetro β que define a distribuição de diâmetros.

A partir dos valores da Tabela III.1 e com auxílio da sub-rotina VAO5AD do Centro de Processamento de Dados do Instituto de Energia Atômica de São Paulo, obtém-se:

$$10^5 \cdot \beta = 7,7327 \cdot 10^{-7,3380} \cdot 10^{-4} N \cdot \frac{S_o}{8,3605 + S_o} \quad (III-5)$$

sendo N expresso em min^{-1} , S_o em g/litro e β em cm^2 .

A Tabela III.3 e a Figura 3.3 mostram a concordância entre os valores de β da Tabela III.1 e os calculados pela equação (III-5).

Observa-se, na Tabela III-3, que as maiores diferenças são encontradas quando $S_o = 8,2$ g/l. Nos demais casos as diferenças entre os valores de β da Tabela III-1 e os calculados raramente ultrapassam 10%. Desprezando-se os valores de β correspondentes a $S_o = 8,2$ g/l, o que se justifica do ponto de vista de aplicações práticas uma vez que, em processos fermentativos, concentrações dessa ordem de grandeza não tem interesse, obtemos:

$$10^5 \cdot \beta = 8,0088 \cdot 10^{-7,1332} \cdot 10^{-4} N \cdot \frac{S_o}{11,0534 + S_o} \quad (III-6)$$

A concordância entre os valores de β da Tabela III.1 e os calculados pela (III-6) pode ser observada na Tabela III.4 e na Figura 3.4.

Considerando, finalmente, que γ é também proporcional a α (equação (II-18)), uma equação análoga à (III-6) pode ser obtida correlacionando γ , S_o e N e aplicável, neste caso, para $2 < Re \leq 400$.

Tabela III.3

Comparação entre os Valores de β da Tabela III.1 e os Calculados pela Equação [III-5]
(Estes Últimos Apresentados entre Parêntesis)

N (min ⁻¹)	10 ⁵ β (cm ²)						
	S _o (g/l)						
	8,2	16,3	24,2	32,0	39,6	61,6	75,6
190	3,13 (2,78) R=0,89	3,33 (3,71) R=1,11	4,30 (4,17) R=0,97	4,54 (4,45) R=0,98	4,73 (4,63) R=0,98	4,92 (4,94) R=1,00	5,30 (5,05) R=0,95
285	2,77 (2,37) R=0,86	2,99 (3,16) R=1,06	3,22 (3,55) R=1,10	3,43 (3,79) R=1,10	3,64 (3,94) R=1,08	3,93 (4,21) R=1,07	4,36 (4,30) R=0,99
385	2,40 (2,00) R=0,83	2,80 (2,67) R=0,95	3,09 (3,00) R=0,97	3,31 (3,20) R=0,97	3,44 (3,33) R=0,97	3,57 (3,55) R=0,99	3,90 (3,63) R=0,93
480	1,79 (1,70) R=0,95	2,20 (2,27) R=1,03	2,39 (2,55) R=1,07	2,51 (2,72) R=1,08	2,58 (2,84) R=1,10	2,99 (3,03) R=1,01	3,15 (3,09) R=0,98
570	1,22 (1,46) R=1,20	1,90 (1,95) R=1,03	2,04 (2,19) R=1,07	2,31 (2,34) R=1,01	2,47 (2,44) R=0,99	2,83 (2,90) R=0,92	2,88 (2,86) R=0,92
670	0,84 (1,23) R=1,46	1,67 (1,68) R=0,99	1,85 (1,85) R=1,00	2,01 (1,98) R=0,99	2,07 (2,06) R=1,00	2,26 (2,19) R=0,97	2,44 (2,24) R=0,92

S_o = concentração de óleo.
N = frequência do agitador
R = Relação entre os valores de β calculados pela [III-5] e os correspondentes da Tabela III-1

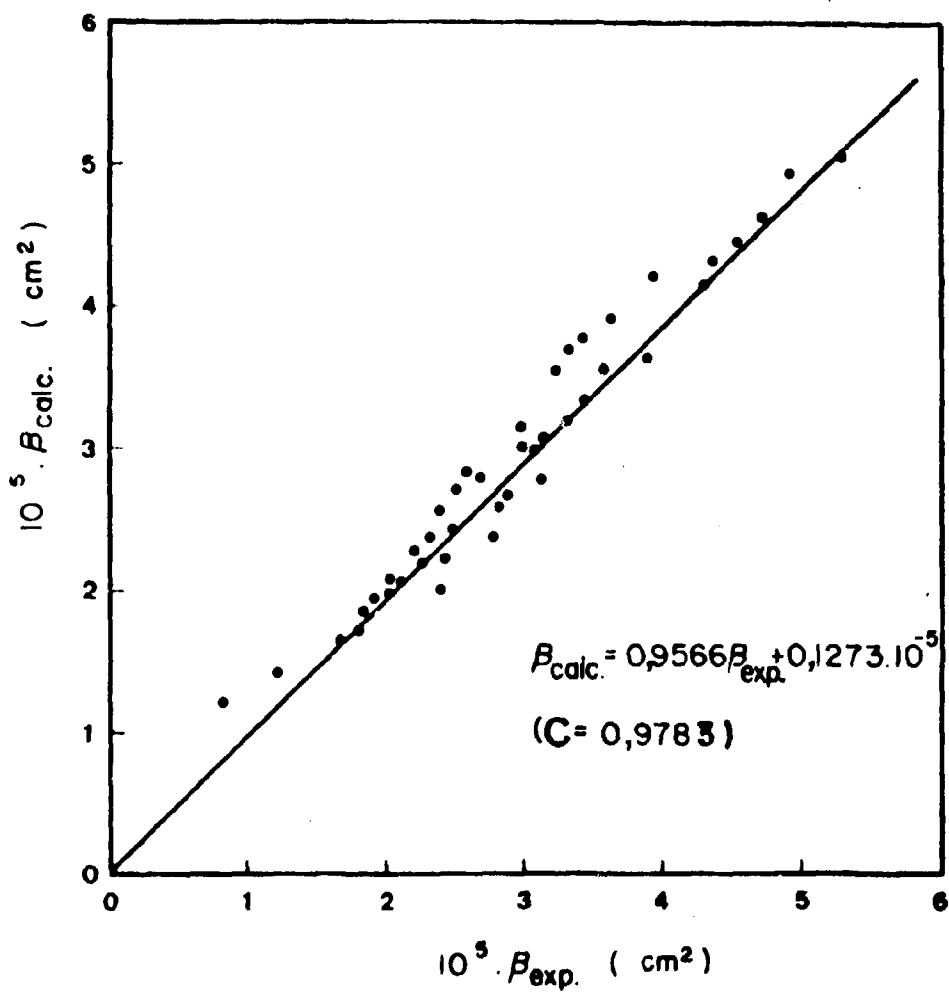


Figura 3.3 - Comparação entre os Valores da Tabela III-1 ($\beta_{\text{exp.}}$) e os Calculados pela Equação [III-5] ($\beta_{\text{calc.}}$). C = Coeficiente de Correlação

Tabela III.4

Comparação entre os Valores de β da Tabela III.1 e os Calculados pela Equação [III.6]
(Estes Últimos Apresentados entre Parêntesis)

N (min ⁻¹)	10 ³ β (cm ²)					
	S _o (g/l)					
	16,3	24,2	32,0	39,6	61,6	75,6
190	3,33 (3,49) R=1,05	4,30 (4,02) R=0,93	4,54 (4,36) R=0,96	4,73 (4,58) R=0,97	4,92 (4,97) R=1,01	5,30 (5,11) R=0,96
285	2,99 (2,99) R=1,00	3,22 (3,44) R=1,07	3,43 (3,73) R=1,09	3,64 (3,92) R=1,08	3,93 (4,25) R=1,08	4,36 (4,37) R=1,00
385	2,80 (2,54) R=0,91	3,09 (2,92) R=0,94	3,31 (3,16) R=0,95	3,44 (3,33) R=0,97	3,57 (3,61) R=1,01	3,90 (3,71) R=0,95
480	2,20 (2,17) R=0,99	2,39 (2,50) R=1,05	2,51 (2,71) R=1,08	2,58 (2,85) R=1,10	2,99 (3,09) R=1,03	3,15 (3,18) R=1,01
570	1,90 (1,87) R=0,98	2,04 (2,16) R=1,06	2,31 (2,33) R=1,01	2,47 (2,46) R=1,00	2,83 (2,66) R=0,94	2,88 (2,47) R=0,95
670	1,87 (1,59) R=0,95	1,85 (1,83) R=0,99	2,01 (1,98) R=0,99	2,07 (2,08) R=1,00	2,26 (2,26) R=1,00	2,44 (2,32) R=0,95

S_o = Concentração de óleo
N = Frequência do agitador
R = Relação entre os valores de β calculados pela [III-6] e os correspondentes da Tabela III.1

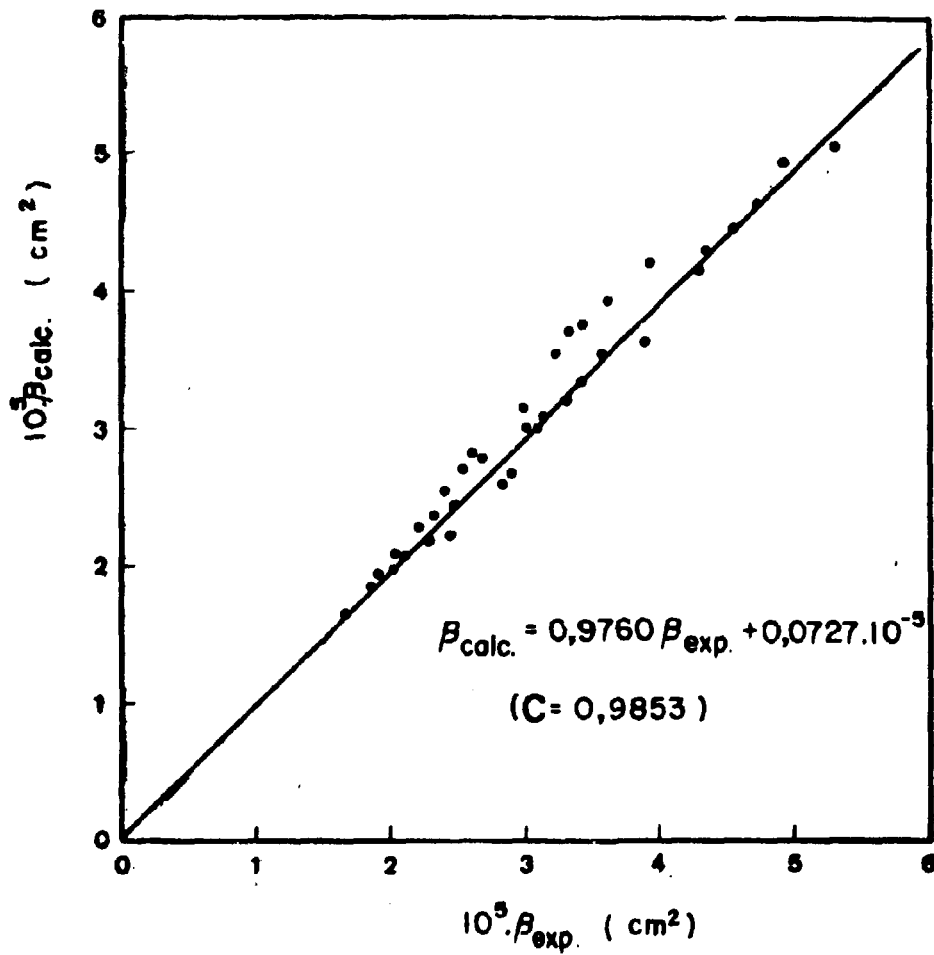


Figura 3.4 – Comparação entre os Valores da Tabela III.1 ($\beta_{\text{exp.}}$) e os Calculados pela Equação [III-6] ($\beta_{\text{calc.}}$). C = Coeficiente de Correlação

CAPÍTULO IV

MATERIAIS E MÉTODOS

1) Equipamentos

O equipamento utilizado consta essencialmente das seguintes partes:

- A – Fermentador
- B – Sistema de contagem e registro de radiações.

A – Fermentador

A Tabela IV.1 descreve os fermentadores utilizados nos ensaios. Os três tanques dispunham de registrador e controlador automático de temperatura e de controladores da vazão de ar e da frequência do agitador.

As Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 mostram pormenores dos tanques utilizados.

B – Sistema de Contagem e Registro de Radiações

O sistema utilizado era constituído de:

- a) Um detetor de cintilação de iodeto de sódio ativado com tálio (nuclear Chicago, mod. DS5R).
- b) Fonte de alta tensão (John Fluke, mod. 409A).
- c) Amplificador de impulsos (Nuclear Chicago, mod. 27001).
- d) Analisador (Nuclear Chicago, mod. 27354).
- e) Medidor de ritmo (Nuclear Chicago, mod. 27302).
- f) Registrador gráfico (Hewlett Packard, mod. 7100 BM).

Foi utilizado um detetor de cintilação por apresentar uma série de vantagens em relação aos tubos Geiger Müller, entre as quais podemos citar: tempo morto menor (1 a 10 μ s, contra 100 a 150 μ s dos contadores Geiger), grande eficiência para radiações gama (utilizamos como fonte, em nossos ensaios, um emissor gama) e possibilidade de ser acoplado a um analisador multicanal, capaz de discernir radiações de energias diferentes.

Como contador de radiações utilizamos um medidor de ritmo que nos permite conhecer, em cada instante, o valor do número de impulsos por unidade de tempo.

O registrador gráfico é, essencialmente, um galvanômetro registrador que fornece o gráfico da variação, com o tempo, do número de impulsos por minuto. A velocidade do papel do registrador era de 5 cm/min.

Tabela IV.1

Características dos Tanques Utilizados e Condições de Ensaio

Fermentador	I (Marubishi)	II (New Brunswick)	III (New Brunswick)
Modelo	MD-500-10	MMF-14	MMF-07
Capacidade Nominal (litro)	10	14	7
Tipo de Agitador	Turbina com 6 pás verticais	Turbina com 4 pás verticais	Turbina com 6 pás verticais e disco perfurado
Número de Turbinas	1	2	2
Alturas das Turbinas em Relação ao Fun- do do Tanque (cm)	9,0	7,0 e 13,0 7,0 e 21,0 7,0 e 25,0	7,0 e 25,0
Volume de Líquido (litro)	7,71	6,48 11,48	5,50
Concentração de Óleo (g/l)	8,0 100,0	8,0 50,0 100,0	20,0 50,0
Alturas de Líquido no Tanque (cm)	25,0	20,0 30,0 35,0	35,0
Alturas do Detetor (cm)	7,3 14,5 14,8	8,0 10,3	8,0 22,8
Frequências do Agi- tador (min^{-1})	400; 600; 800 e 1000	300; 400; 500; 600 e 700	300; 400; 500 e 700

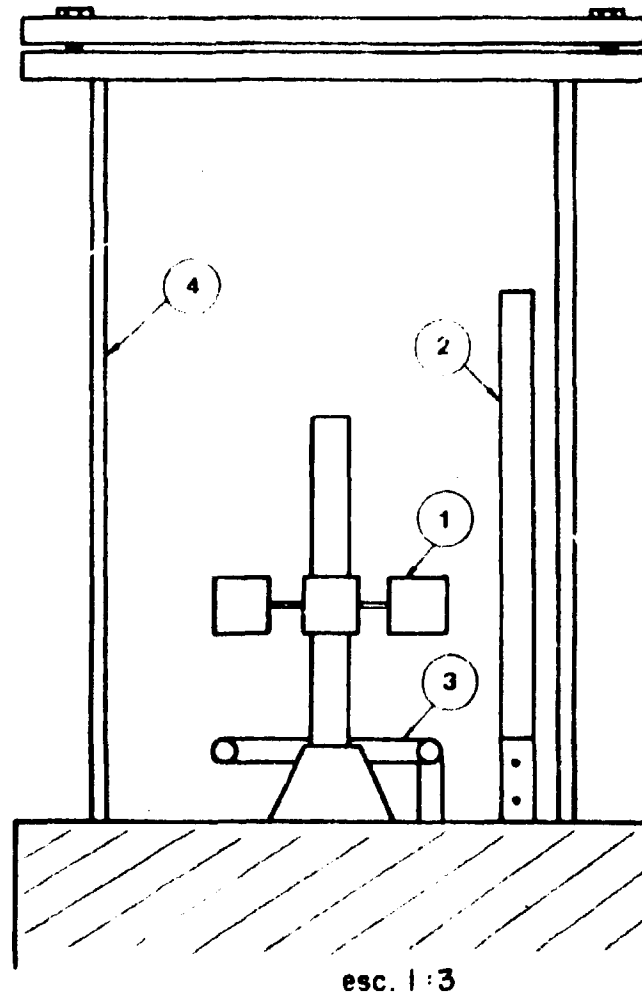
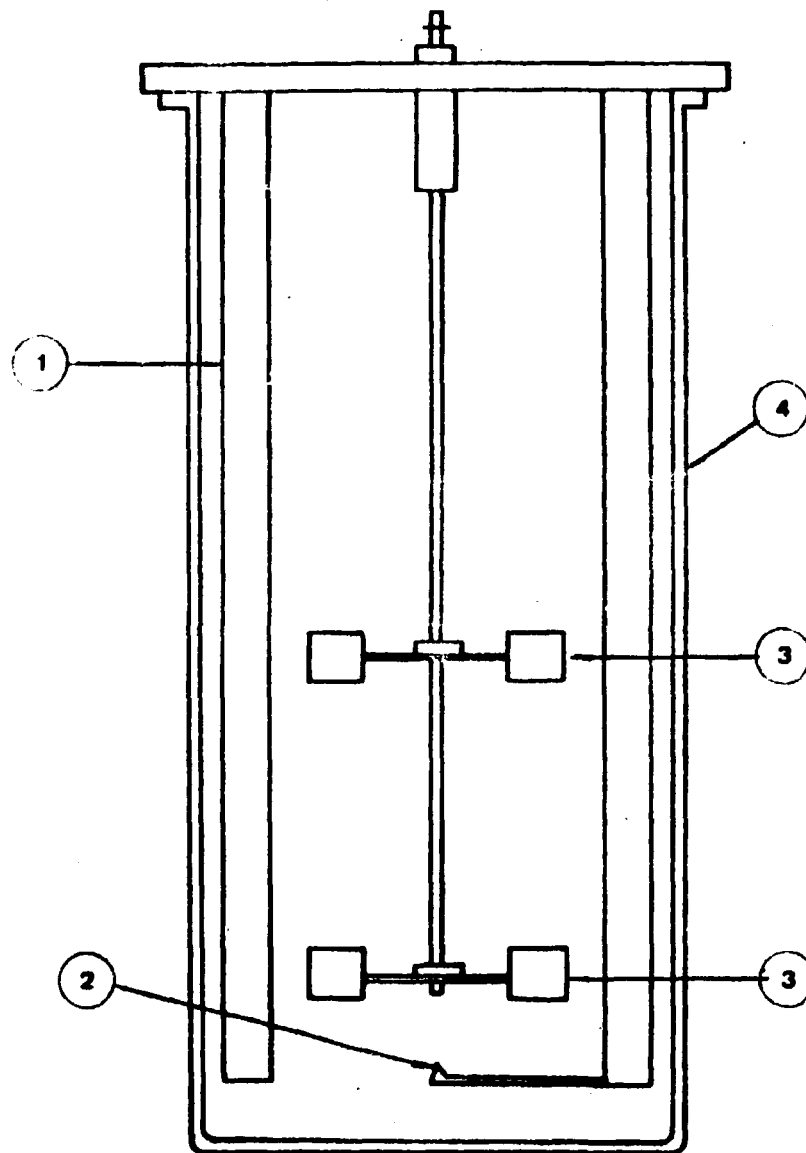
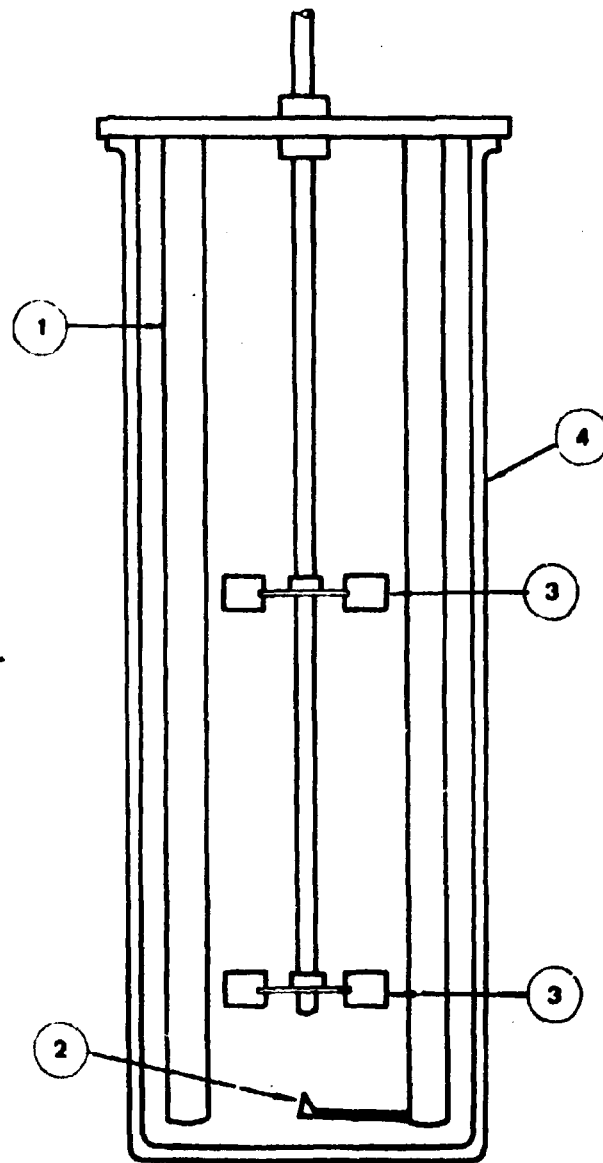


Figure 4.1 – Representação Esquemática do Fermentador I Modelo: Marubishi MD-500-10. 1) Turbina (6 pás verticais); 2) Chicana (três Chicanas Simetricamente Dispostas); 3) Dispersor de Ar; 4) Vaso de Vidro



esc. 1:3

Figura 4.2 - Representação Esquemática do Fermentador II Modelo: New Brunswick MMF-14.
1) Chicana (quatro Chicanas Simetricamente Dispostas); 2) Dispersor de Ar; 3) Turbina
(4 pás Verticais); 4) Vaso de Vidro



esc. 1:3

Figura 4.3 - Representação Esquemática do Fermentador III Modelo: New Brunswick MMF-07.
1) Chicane (quatro Chicanes Simetricamente Dispostas); 2) Dispersor de Ar; 3) Turbina (6 pás Verticais); 4) Vaso de Vidro

2) Materiais

A – Fase Oleosa

Foram utilizados: óleo diesel obtido por destilação direta de petróleo bahiano, e óleo diesel submetido ao tratamento descrito a seguir:

Tratamento com ácido sulfúrico: com o objetivo de eliminar mercaptanas e hidrocarbonetos olefínicos e aromáticos, o óleo diesel foi agitado, durante uma hora, com 1/3 de seu volume de ácido sulfúrico a 98%, à temperatura ambiente; em seguida foi lavado duas vezes com um volume igual de NaOH a 10% e, posteriormente, com igual volume de água, cinco a seis vezes, de maneira a se alcançar, na água de lavagem, pH=6 (Iguar ao obtido antes do tratamento com ácido sulfúrico).

B – Iodeto de Sódio: Na¹³¹I

Esta substância, utilizada como traçador isotópico para marcar o óleo, foi produzida, livre de carregador e redutor, na Coordenadoria de Processamento de Material Radioativo, do Instituto de Energia Atômica de São Paulo.

C – Fase Aquosa

Utilizou-se água destilada, em todas as experiências, como fase aquosa.

3 – Métodos

A – Determinações Preliminares

Com a finalidade de caracterizar os óleos utilizados, foram medidas suas viscosidades cinemáticas e densidades a 30°C.

B – Marcação do Óleo

A marcação, tanto do óleo diesel tratado como do não tratado, foi realizada segundo a técnica de marcação de óleos e gorduras utilizada no Instituto de Energia Atômica, adiante resumidamente descrita: em primeiro lugar, realiza-se uma troca entre cloreto de iodo e Na¹³¹I e, após extrair o I¹³¹ com éter etílico, este é mantido em contato com o óleo durante 24 horas; O Iodo-131 é incorporado às duplas ligações com um rendimento de aproximadamente 30%.

Realizava-se um controle de pureza radioquímica por cromatografia em camada delgada utilizando-se, como absorvente, sílica gel G e, como solvente, mistura de éter etílico e éter de petróleo na proporção de 3:1 em volume. O teor de Iodo-131 livre no óleo era inferior a 0,5% do Iodo incorporado.

Procurava-se manter uma atividade de 1,0 mCi/ml no óleo marcado.

C – Condições Experimentais

Em todas as experiências foram mantidas constantes a temperatura [(30,0 ± 0,5)°C] e o tempo de agitação da mistura água-óleo antes da medida propriamente dita (10 minutos para cada ensaio).

As variáveis estudadas nos nossos ensaios encontram-se relacionadas na Tabela IV.1.

Nos ensaios com borbulhamento de ar, adotou-se vazão específica de ar igual a $1,0 \text{ min}^{-1}$ (1,0 litro de ar, por litro de líquido, por minuto).

D – Ensaio para Determinação da Menor Concentração de Óleo Acusável pelo Detetor

Definimos a menor concentração de óleo acusável pelo detetor como sendo igual à concentração de óleo, com atividade igual a $1,0 \text{ mCi/ml}$, capaz de provocar, no sistema em apreço, um aumento de um desvio padrão na atividade do sistema.

O ensaio para determinação dessa concentração foi realizado no fermentador I, nas seguintes condições:

- a) volume total de líquido = 4.600 ml
- b) altura do líquido = 15,0 cm
- c) concentração de óleo diesel = 8,0 g/litro
- d) frequência do agitador = 500 min^{-1}

Adicionou-se, ao fermentador, 0,824g de óleo diesel marcado (3,7 ml deste óleo apresentava atividade igual a 3,27 mCi).

Mediram-se as atividade médias, com os respectivos desvios-padrão, da contagem de fundo ("background") e do sistema após a adição do óleo marcado. Calculou-se, em seguida, a concentração de óleo marcado, de atividade igual a $1,0 \text{ mCi/ml}$, capaz de provocar um aumento de um desvio-padrão na atividade do sistema.

Resultados obtidos:

- a) contagem de fundo ("background"):
 - valor médio = $I_o = 1,14 \text{ impulsos/min}$
 - desvio-padrão absoluto = $D_o = 0,37 \text{ impulsos/min}$
- b) contagem após a adição do óleo marcado:
 - valor médio = $I_m = 7,18 \text{ impulsos/min}$
 - desvio-padrão absoluto = $D_m = 0,39 \text{ impulsos/min}$

Logo, a adição das 0,824 g de óleo marcado provocou um aumento de atividade igual ao seguinte número de desvios-padrão D_o :

$$\frac{(I_m - D_m) - (I_o + D_o)}{D_o} = 14,3$$

Portanto, a massa de óleo radioativo que provocou o aumento de atividade equivalente a um desvio-padrão D_o será:

$$\frac{0,824}{14,3} = 0,0576 \text{ g}$$

correspondentes à uma concentração de óleo igual a:

$$\frac{0,0576}{4,6} = 0,0125 \text{ g/litro}$$

Considerando que o óleo utilizado apresenta atividade igual a 0,884 mCi/ml, a concentração de óleo desejada será:

$$0,0110 \text{ g/litro}$$

Isto é, a menor concentração de óleo radioativo, de atividade igual a 1,0 mCi/ml, detectável pelo nosso sistema, é igual a 0,0110 g/litro.

4) Determinação das Equações das Curvas

As equações das curvas que nos dão as atividades e, conseqüentemente, as concentrações de óleo em frente à fenda colimadora no instante t (ver Cap. II equação (II-3)), foram determinadas pelo método dos mínimos quadrados, utilizando uma calculadora Hewlett-Packard, na Coordenadoria de Radiobiologia do Instituto de Energia Atômica de São Paulo.

As curvas experimentais do tipo da representada na Figura 2.2 (Cap. II) apresentam, com alguma freqüência, duas zonas de transição que podem acarretar sérias dificuldades, principalmente quando se procura avaliar a reprodutibilidade de uma medida. Tais zonas correspondem a trechos da curva nas proximidades do patamar AB (Figura 2.2), correspondente à medida da atividade quando o óleo se encontra homogêneo distribuído no meio aquoso, e nas proximidades da contagem de fundo.

No intuito de procurar evitar esses inconvenientes resolvemos, neste trabalho, considerar unicamente os pontos da curva BC (Figura 2.2) contidos no intervalo $(A_1 - 3D_1)$ e $(A_2 + 3D_2)$ sendo:

A_1 = atividade média no patamar AB

D_1 = desvio padrão de A_1

A_2 = atividade média na contagem de fundo

D_2 = desvio padrão de A_2

5) Comparação das Distribuições

Consideremos uma distribuição padrão conhecida, definida pela equação:

$$\phi = e^{-B^2/r^2} \quad \text{(IV-1)}$$

análoga à equação (II-9)

Podemos definir um raio equivalente dessa distribuição padrão (R_{eq}), tal que:

$$\sigma = \frac{4\pi \cdot R_{eq}^2}{\frac{4\pi}{3} \cdot R_{eq}^3} = \frac{3}{R_{eq}}$$

sendo σ a área específica definida pela relação entre a área da interface óleo-água e o volume de óleo.

Em um ensaio genérico, realizado com o objetivo de determinar a distribuição de diâmetros da suspensão cujas gotículas de óleo obedecem, por hipótese, à equação (IV-1), observa-se:

$$\phi = e^{-\beta/r^2} \quad (II-9)$$

Esta última equação permite escrever:

$$\phi = e^{-(B'/r^2)} \cdot (\beta/B') = e^{-B'/(r \sqrt{B'/\beta})^2} \quad (IV-2)$$

$$\text{Fazendo: } r \sqrt{B'/\beta} = r_1 \quad (IV-3)$$

a (IV-2) nos dá:

$$\phi = e^{-B'/r_1^2} \quad (IV-4)$$

distribuição esta à qual corresponderá um raio equivalente (R_{eq_1}) tal que:

$$R_{eq_1} = R_{eq}$$

uma vez que a (IV-4) e a (IV-1) são a mesma equação.

Indicando com R'_{eq} o raio equivalente correspondente à distribuição (II-9), a equação (IV-3) nos permite escrever:

$$\begin{aligned} R'_{eq} \sqrt{B'/\beta} &= R_{eq} \\ \therefore R'_{eq} &= R_{eq} \sqrt{\beta/B'} \end{aligned} \quad (IV-5)$$

sendo σ' a área específica correspondente à distribuição (II-9), teremos:

$$\sigma' = \frac{3}{R'_{eq}} = \frac{3}{R_{eq} \sqrt{\beta/B'}} = K \cdot \beta^{-1/2} \quad (IV-6)$$

sendo:

$$K = 3 \sqrt{B/R_{eq}}$$

A (IV-6) permite escrever:

$$\frac{d\sigma'}{d\beta} = -\frac{1}{2} K \cdot \beta^{-3/2} \quad (IV-7)$$

Nosso interesse é calcular o valor de P' da relação:

$$\frac{d\sigma'}{\sigma'} = P' \cdot \frac{d\beta}{\beta} \quad (IV-8)$$

ou seja:

$$\frac{d\sigma'}{d\beta} = P' \cdot \frac{\sigma'}{\beta} \quad (IV-9)$$

Pelas equações (IV-8) e (IV-7), a (IV-9) fornece:

$$-\frac{1}{2} K \cdot \beta^{-3/2} = P' \cdot K \cdot \beta^{-3/2} \therefore \quad (IV-10)$$

$$\therefore P' = \frac{1}{2}$$

Nestas condições, a (IV-8) nos dá:

$$\frac{d\sigma'}{\sigma'} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{d\beta}{\beta} \quad (IV-11)$$

Admitindo desprezível uma variação relativa de área específica não superior a 10%, isto é:

$$\left| \frac{d\sigma'}{\sigma'} \right| < 0,10$$

a (IV-11) fornece:

$$\left| \frac{d\beta}{\beta} \right| < 0,20$$

Concluímos, portanto, que uma variação relativa de β não superior a 20% conduz a distribuições tais que as variações relativas das respectivas áreas específicas não serão superiores a 10%.

Essa conclusão, obviamente, é válida quando o número de Reynolds for inferior à unidade:

Raciocínio análogo aplicado aos casos em que $2 < Re < 400$, mostra que para se ter

$$\left| \frac{d\sigma'}{\sigma'} \right| < 0,10$$

deve ser

$$\left| \frac{dy}{y} \right| < 0,10$$

CAPÍTULO V

RESULTADOS EXPERIMENTAIS E DISCUSSÃO

No presente capítulo, os resultados obtidos serão apresentados na seguinte ordem:

- 1) Viscosidade cinemática e densidade dos óleos utilizados.
- 2) Influência do borbulhamento de ar na distribuição de diâmetros.
- 3) Influência do tipo de óleo na distribuição de diâmetros.
- 4) Coalescência de gotículas durante seu deslocamento em direção à superfície livre do líquido.

1) Viscosidade Cinemática e Densidade, a 30,0°C, dos Óleos Utilizados

Os valores indicados a seguir foram gentilmente determinados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas S.A.

- a) Óleo diesel
 viscosidade cinemática = 6,05 cst
 densidade = 0,8073 g/ml
- b) Óleo diesel tratado com ácido sulfúrico
 viscosidade cinemática = 6,24 cst
 densidade = 0,8050 g/ml

2) Influência do Borbulhamento de Ar na Distribuição de Diâmetros

As Tabelas V.1, V.2 e V.3 mostram os resultados dos ensaios realizados com a finalidade de verificar de que maneira o borbulhamento de ar interfere nas distribuições de diâmetros determinadas pelo método radiométrico utilizado. Cada resultado apresentado nessas tabelas, é média de duas determinações. A Figura 5.1 representa os valores das Tabelas V.1 a V.3.

A Tabela V.4 resume os resultados apresentados nas Tabelas V.1 a V.3.

Adotando-se o critério de comparação de distribuições proposto no Capítulo IV, os valores de β das Tabelas V.1 a V.3 mostram que em 83,3% dos ensaios realizados pode-se considerar desprezível a influência do borbulhamento do ar. Dos ensaios restantes, em número de 10, nove foram realizados com $S_0 = 100,0g/l$, o que parece indicar que a influência do borbulhamento do ar se faz sentir em concentrações relativamente altas de óleo, que constituem precisamente os casos de maior interesse prático. Tal efeito, contudo, parece ter sido puramente casual, uma vez que em quatro, dos nove ensaios, obtive-se $\Delta > 0$ ($\beta_s > \beta_0$) e nos cinco restantes encontrou-se $\Delta < 0$ ($\beta_s < \beta_0$).

2) Influência do Tipo de Óleo na Distribuição de Diâmetros

A Tabela V.5 apresenta os resultados obtidos, utilizando-se óleo diesel tratado (ver cap. IV, Item 2A) e óleo diesel não tratado, em ensaios realizados no Fermentador II, nas seguintes condições experimentais:

Tabela V.1

Influência do Borbulhamento de Ar na Distribuição de Diâmetros de Gotas de Óleo Diesel em Suspensão em Água
(Ensaio Realizado no Fermentador I)

S_o (g/l)	H (cm)	N (min ⁻¹)	$10^5 \cdot \beta$ (cm ²)		Δ (%)
			sem borbulhamento de ar (β_s)	com borbulhamento de ar (β_c)	
8,0	7,3	400	5,40	4,98	7,8
		600	2,22	2,83	- 27,5
		800	2,08	1,78	13,6
		1000	1,30	1,36	- 4,6
	14,8	400	5,41	5,43	- 0,4
		600	2,65	3,07	- 14,6
		800	1,95	2,00	- 2,6
		1000	1,52	1,57	- 3,3
100,00	7,3	400	13,28	13,95	- 5,2
			12,37	14,22	- 15,0
		600	9,87	10,11	- 2,4
			11,34	14,44	- 27,3
		800	10,21	10,00	2,1
			10,60	13,28	- 26,0
		1000	9,41	10,02	- 6,5
			4,87	3,43	29,6
	14,5	1000	2,89	2,70	6,6
	14,8	400	19,35	13,72	- 1,9
			25,49	29,34	- 15,1
		600	14,60	14,14	3,2
			23,83	29,57	- 24,1
		800	14,57	12,58	13,7
			22,11	28,35	- 28,2
		1000	18,46	12,15	34,1
3,35			4,18	- 24,8	

h_L = altura do líquido = 25,0 cm
 h = altura da turbina = 9,0 cm
 S_o = concentração de óleo
 H = altura do detetor
 N = frequência do agitador
 Δ = $100 (\beta_s - \beta_c) / \beta_s$

Tabela V.2

Influência do Borbulhamento de Ar na Distribuição de Diâmetros de Gotas de Óleo Diesel em Suspensão em Água.
(Ensaio Realizado no Fermentador II)

h_L	h (cm)	S_o (g/l)	H (cm)	N (min^{-1})	$10^5 \cdot (\text{cm}^2)$		Δ (%)	
					sem borbulhamento de ar (β_a)	com borbulhamento de ar (β_c)		
20,0	7,0	8,0	8,0	300	7,61	7,61	0,0	
				400	4,59	4,93	- 7,4	
				500	3,31	3,51	- 6,0	
				600	2,63	2,92	- 11,0	
		10,3	400	4,38	5,08	- 16,0		
			600	2,54	2,87	- 13,0		
			60,0	8,0	300	10,56	10,86	- 2,8
					400	7,58	7,49	1,2
	500	6,01			5,56	7,5		
	600	4,82			4,36	9,5		
	13,0	10,3	300	11,57	12,61	- 9,0		
			400	8,51	8,18	3,9		
			500	5,84	5,86	- 0,3		
			600	5,26	4,64	11,8		
	100,0	8,0	400	10,37	8,91	14,1		
			500	9,97	7,76	22,2		
600			7,83	7,34	6,3			
600			5,13	4,87	5,1			
10,3	10,3	400	10,27	10,43	- 1,6			
		500	9,20	8,62	6,3			
		600	8,14	7,83	3,8			
		600	8,14	7,83	3,8			
35,0	25,0	100,0	8,0	400	5,52	4,03	27,0	
				500	4,27	3,74	12,4	
				600	3,24	3,40	- 4,9	
				700	3,16	3,20	- 1,3	

h_L = altura de líquido
h = alturas das turbinas (2 turbinas)
 S_o = concentração de óleo
H = altura do detetor
N = frequência do agitador
 $\Delta = 100 (\beta_a - \beta_c) / \beta_a$

Tabela V.3

Influência do Borbulhamento de Ar na Distribuição de Diâmetros de Gotas de Óleo Diesel em Suspensão em Água
(Ensaios Realizados no Fermentador III)

S_o (g/l)	H (cm)	N (min ⁻¹)	$10^5 \cdot \beta$ (cm ²)		Δ (%)
			sem borbulhamento de ar (β_s)	com borbulhamento de ar (β_c)	
20,0	8,0	400	8,57	7,40	13,7
		500	5,96	6,61	- 10,9
		700	3,83	4,32	- 12,8
	22,8	400	8,45	7,68	9,1
		500	6,09	5,58	8,4
		700	3,99	4,66	- 16,8
50,0	8,0	500	8,75	9,18	- 4,9
		700	6,28	7,51	- 19,6
	22,8	500	9,98	9,01	9,7
		700	7,27	7,42	- 2,1

h_L = altura do líquido = 35,0 cm
 h = alturas das turbinas = 27,0 e 25,0 cm (2 turbinas)
 S_o = concentração de óleo
 H = altura do detetor
 N = frequência do agitador
 $\Delta = 100 (\beta_s - \beta_c) / \beta_s$

OBSERVAÇÃO: Neste fermentador, não se conseguiu homogeneizar o sistema para $S_o > 50,0$ g/l

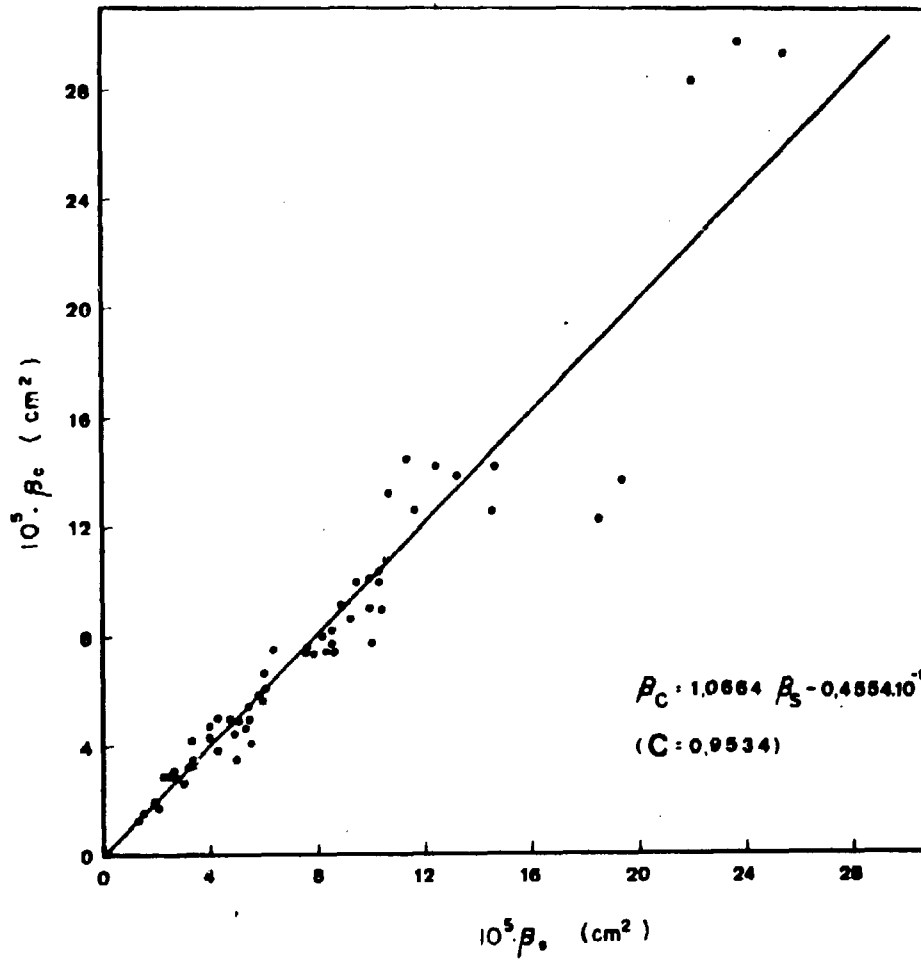


Figura 5.1 – Comparação entre os Valores de β Obtidos em Ensaio com Borbulhamento de Ar (β_c) e em Ensaio sem Borbulhamento de Ar (β_s). C = Coeficiente de Correlação

Tabela V.4

Resumo das Tabelas V.1, V.2 e V.3

S_o (g/l)	Nº total de ensaios	Nº de ensaios com $ \Delta > 20\%$	% do nº total de ensaios com $ \Delta > 20\%$
8,0	14	1	7,1
20,0	6	0	0
50,0	12	0	0
100,0	28	9	32,1

Tabela V.5

Influência do Tipo de Óleo na Distribuição de Diâmetros de Gotas de Óleo Diesel em Suspensão em Água

Ensaio Nº	Dia de Realização do Ensaio	$10^5 \cdot \beta$ (cm ²)	
		Óleo não Tratado	Óleo Tratado
1	1º	7,27	0,59
2	2º	6,16	0,55
3	3º	6,26	0,64
4	4º	6,93	0,69
5	5º	6,16	0,84
6	6º	7,96	0,60
7	7º	7,13	0,62
8	8º	7,02	0,75
9	11º	7,43	0,73
10	12º	7,40	0,57
Média e Desvio Padrão		6,97 ± 0,61	0,66 ± 0,09

Concentração de óleo = 50,0 g/litro

Altura do líquido = 30,0 cm

Alturas das turbinas = 7,0 e 21,0 cm

Altura do detetor = 8,0 cm

Frequência do agitador = 500 min⁻¹

Vazão específica de ar = 1,0 min⁻¹

Foram realizados dez ensaios com cada tipo de óleo, abrangendo um período de 12 dias no intuito de procurar observar a possível influência do tempo de utilização e armazenamento do óleo no valor do parâmetro β .

Os valores da Tabela V.5 mostram a influência acentuada do tratamento do óleo no valor de β . O tratamento efetuado praticamente não alterou a densidade e a viscosidade do óleo, mas deve ter influído na tensão interfacial acarretando uma diminuição de 90,5% no valor de β .

4) Coalescência de Gotículas Durante seu Deslocamento em Direção à Superfície Livre do Líquido

Em trabalho anterior^(5,20) tivemos a oportunidade de observar que, nas condições experimentais então adotadas, a altura do detetor em relação ao fundo do tanque (8 cm e 13 cm) não influiu no resultado obtido, indicando que, naquelas condições experimentais, a coalescência de gotículas de óleo durante seu deslocamento em direção à superfície livre do líquido não afetava, de maneira sensível, a distribuição de diâmetros obtida a partir das medidas efetuadas em cada uma das posições do detetor.

No intuito de verificar a validade dessa conclusão em diferentes condições experimentais, foram realizados ensaios cujos resultados encontram-se nas Tabelas V.6, V.7 e V.8. A Tabela V.9 apresenta um resumo desses resultados.

Tomando-se novamente por base o critério de comparação de distribuição proposto no Capítulo IV, observa-se que:

- a) em 23 dos 61 ensaios realizados tem-se $\Delta < -20\%$;
- b) apenas em um ensaio encontrou-se $\Delta > 20\%$;
- c) dos 23 ensaios citados no item a, 19 foram realizados com $S_o = 100,0$ g/l, dois com $S_o = 50,0$ g/l, um com $S_o = 20,0$ g/l e um com $S_o = 8,0$ g/l;
- d) todos os 19 ensaios apontados no item c foram realizados no Fermentador I;
- e) em todos os ensaios realizados no Fermentador II encontrou-se $|\Delta| < 20\%$.

Lembrando que $\Delta < -20\%$ significa, com base no critério proposto β_2 substancialmente maior do que β_1 e, portanto, a existência de significativa coalescência de gotículas durante seu trajeto em direção à superfície livre do líquido, os resultados obtidos mostram que:

- 1) Quanto maior a concentração de óleo, mais acentuado pode se tornar o efeito da coalescência de gotículas na medida da distribuição dos diâmetros.

- 2) A geometria do sistema influi no fenômeno de coalescência das gotas durante seu deslocamento em direção à superfície livre do líquido.

Cumpre destacar que em todos os ensaios realizados nos trabalhos por nós publicados^(5,20) utilizou-se o Fermentador II, o que pode explicar o fato, então observado, de a posição do detetor não ter influenciado, como aconteceu agora (ver Tabela V.7), nos resultados obtidos.

Quanto ao valor de $\Delta > 20\%$ (Tabela V.6, $S_o = 100,0$ g/l, sem borbulhamento de ar, $N = 1.000 \text{ min}^{-1}$) tudo parece indicar ter sido esse resultado de erro experimental que não conseguimos identificar.

Os resultados apresentados nas Tabelas V.6 a V.8 mostram que, dependendo da geometria do sistema e da concentração de óleo, é necessário realizar ensaios preliminares com o objetivo de determinar a distância do detetor ao fundo do tanque que conduza ao menor valor de β sem prejuízo, porém, da reprodutibilidade da medida⁽²⁰⁾.

Tabela V.6

Influência, no Valor de β , da Altura do Detetor em Relação ao Fundo do Tanque.
(Ensaio Realizados no Fermentador I)

S_o (g/l)	Borbulhamento de ar	N (min^{-1})	$10^5 \beta_1$ (cm^2)	$10^5 \beta_2$ (cm^2)	Δ (%)
8,0	Não	400	5,40	5,41	- 0,19
		600	2,22	2,68	- 20,72
		800	2,06	1,95	- 5,34
		1000	1,30	1,52	- 16,92
	Sim (*)	400	4,98	5,43	- 9,04
		600	2,83	3,07	- 8,48
		800	1,78	2,00	- 12,36
		1000	1,37	1,57	- 15,44
100,0	Não	400	13,26	19,35	- 45,93
			12,37	25,49	- 106,06
			12,28	17,29	- 40,80
		600	9,87	14,60	- 47,92
			11,34	23,83	- 110,14
			8,86	14,34	- 61,85
		800	10,21	14,57	- 42,70
			10,60	22,11	- 108,58
	1000	8,21	14,47	- 76,25	
		9,41	18,45	- 96,07	
		4,87	3,35	31,21	
	Sim (*)	400	14,23	29,34	- 106,18
			13,95	19,72	- 41,36
			14,44	29,57	- 104,78
			10,12	14,14	- 39,72
		600	10,00	12,58	- 25,80
13,38			28,35	- 112,20	
800		10,02	12,15	- 21,26	
		1000	3,43	4,18	- 21,87

(*) = Vazão específica de ar = $1,0 \text{ min}^{-1}$
 h_L = altura de líquido = 25,0 cm
 h = altura da turbina = 9,0 cm
 H_1 = altura do detetor ($H_1 = 7,3 \text{ cm}$; $H_2 = 14,8 \text{ cm}$)
 β_1 = valor de β obtido com o detetor na posição definida por H_1
 S_o = concentração de óleo
 N = frequência do agitador
 $\Delta = 100 (\beta_1 - \beta_2) / \beta_1$

Tabela V.7

Influência, no Valor de β , da Altura do Detetor em Relação ao Fundo do Tanque.
(Ensaio Realizados no Fermentador II)

S_o (g/l)	Borbulhamento de ar	N (min^{-1})	$10^5 \beta_1$ (cm^2)	$10^5 \beta_2$ (cm^2)	Δ (%)
8,0	Não	400	4,58	4,38	4,37
		600	2,63	2,52	4,18
	Sim (*)	400	4,93	5,08	- 3,04
		600	2,92	2,87	1,71
50,0	Não	300	10,56	11,57	- 9,56
		400	7,58	8,51	- 12,27
		500	6,01	5,84	2,83
		600	4,82	5,26	- 9,13
	Sim (*)	300	10,86	12,61	- 16,11
		400	7,49	8,18	- 9,21
		500	5,56	5,86	- 5,40
		600	4,36	4,64	- 6,42
100,0	Não	300	14,42	15,39	- 6,73
		400	10,37	10,28	0,87
		500	9,97	9,20	7,72
		600	7,83	8,14	- 3,96
	Sim (*)	400	8,91	10,43	- 17,06
		500	7,76	8,62	- 11,08
		600	7,34	7,83	- 6,68

(*) = Vazão específica de ar = $1,0 \text{ min}^{-1}$
 h_L = altura de líquido = 20,0 cm
 h = alturas das turbinas = 7,0 e 13,0 cm (2 turbinas)
 H_1 = altura do detetor ($H_1 = 8,0 \text{ cm}$; $H_2 = 10,3 \text{ cm}$)
 β_1 = valor de β obtido com o detetor na posição definida por H_1
 S_o = concentração de óleo
 N = frequência do agitador
 $\Delta = 100 (\beta_1 - \beta_2) / \beta_1$

Tabela V.8

Influência, no Valor de β , da Altura do Detetor em Relação ao Fundo do Tanque.
(Ensaio Realizados no Fermentador III)

S_o (g/l)	Borbulhamento de ar	N (min^{-1})	$10^5 \beta_1$ (cm^2)	$10^5 \beta_2$ (cm^2)	Δ (%)
20,0	Não	300	10,62	14,54	- 36,91
		400	8,57	8,45	1,40
		500	5,96	6,09	- 2,18
		700	3,83	3,99	- 4,18
	Sim (*)	400	7,40	7,68	- 3,78
		500	6,61	5,58	15,58
700		4,32	4,66	- 7,87	
50,0	Não	300	13,52	17,87	- 32,17
		400	13,70	19,60	- 43,07
		500	11,29	12,54	- 11,07
		700	8,75	9,98	- 14,06
	Sim (*)	500	9,18	9,01	1,85
		700	7,51	7,42	1,20
(*) = Vazão específica do ar = $1,0 \text{ min}^{-1}$ H_L = Altura do líquido = 35 cm h = Alturas das turbinas = 7,0 e 25,0 cm (2 turbinas) H_1 = Altura do detetor ($H_1 = 8,0 \text{ cm}$; $H_2 = 22,8 \text{ cm}$) β_1 = Valor de β obtido com o detetor na posição definida por H_1 S_o = Concentração de óleo N = frequência do agitador $\Delta = 100 (\beta_1 - \beta_2) / \beta_1$					
OBSERVAÇÃO: Neste Fermentador, não se conseguiu homogeneizar o sistema para $S_o > 50,0 \text{ g/l}$					

Tabela V.9

Resumo das Tabelas V.6, V.7 e V.8

S_o (g/l)	Nº total de ensaios	Nº de ensaios com $\Delta > 20\%$	Nº de ensaios com $\Delta < -20\%$
8,0	12	0	1
20,0	7	0	1
50,0	15	0	2
100,0	27	1	19

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesta Tese permitem concluir:

- 1) A distribuição de diâmetros para gotas de raios r tais que

$$105 \cdot 10^{-4} \text{ cm} < r \leq 0,15 \text{ cm},$$

o que corresponde a $2 < Re \leq 409$, obedece à equação

$$\phi = e^{-\gamma/r}$$

sendo ϕ a fração da massa de óleo na forma de gotas de raio menor do que r e γ o parâmetro que define a distribuição.

- 2) O parâmetro β (equação II-9), a concentração de óleo (S_o) e a frequência do agitador (N), nas condições experimentais já descritas (Capítulo III), podem ser correlacionados pela expressão:

$$10^5 \cdot \beta = 8,0088 \cdot 10^{-7,1332} \cdot 10^{-4} \cdot N \cdot \frac{S_o}{11,0534 + S_o}$$

sendo β medido em cm, N em min^{-1} e S_o em g/litro.

- 3) O borbulhamento de ar provocou alteração na distribuição de diâmetros em dez dos 60 ensaios realizados.
- 4) A influência do borbulhamento de ar na distribuição de diâmetros se fez sentir em nove dos 28 ensaios realizados com concentração de óleo igual a 100,0 g/l. Tal efeito, contudo, parece ter sido casual, pois em quatro, dos nove ensaios citados, o borbulhamento de ar provocou diminuição de β , enquanto nos cinco ensaios restantes houve aumento de β .
- 5) O tratamento do óleo com ácido sulfúrico levou a uma redução de 80,5% no valor de β .
- 6) A geometria do sistema influe no fenômeno de coalescência das gotas de óleo durante seu deslocamento em direção à superfície livre do líquido.
- 7) Dependendo da geometria do sistema, quanto maior a concentração de óleo, mais acentuado pode se tornar o fenômeno de coalescência das gotículas durante seu deslocamento em direção à superfície livre do líquido.

ABSTRACT

Based on published results (21,20), the Author shows that:

- 1) it is possible, from the results obtained by means of the radiometric method, to determine the diameter distribution when $2 < Re < 409$;
- 2) it is possible to correlate the parameter that defines the diameter distribution, the oil concentration and the impeller speed.

From experiments carried out with three different fermenters, the Author also shows that:

- 1) the air bubbling affected the diameter distribution, particularly in the tests carried out with relatively high oil concentration;
- 2) the drop size distribution was deeply affected by the treatment of the diesel oil by sulfuric acid;
- 3) depending on the system geometry, the distance from the radiation detector to the tank bottom may affect the results.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAJPAI, R. K. & PROKOP, A. A new method for measuring drop size distribution in hydrocarbon fermentations. *Biotechnol. Bioengng*, 16:1557-64, 1974.
2. BAJPAI, R. K.; PROKOP, A.; RAMKRISHNA, D. Dispersions in hydrocarbon fermentation a retrospective study. *Biotechnol. Bioengng*, 17:541-56, 1975.
3. BLANCH, H. W. & EINSELE, A. The kinetics of yeast growth on pure hydrocarbons. *Biotechnol. Bioengng*, 15:661-77, 1973.
4. BLANCH, H. W. & FIETCHER, A. Dispersion and coalescent phenomena in the hydrocarbon fermentation. *Biotechnol. Bioengng*, 16:539-43, 1974.
5. BORZANI, W. & SANCHEZ PODLECH, P. A. A radiometric method for determination of the oil drop size distribution in hydrocarbon-water systems. *Biotechnol. Bioengng*, 13:685-9, 1971.
6. CHAKRAVARTY, M.; SINGH, H. D.; BARUAH, J. N. A kinetic model for microbial growth on liquid hydrocarbons. *Biotechnol. Bioengng*, 17:399-412, 1975.
7. EINSELE, A. et alii. Agitation and aeration in hydrocarbon fermentations. *Biotechnol. Bioengng Symp.*, (4):455-66, 1973.
8. EINSELE, A. et alii. Characterization of microemulsions in a hydrocarbons fermentation by electronmicroscopy. *J. Ferment. Technol.*, 53(4):241-3, 1975.
9. ERICKSON, L. E.; FAN, L. T.; SHAH, P. S.; CHEN, M. S. K. Growth models of cultures with two liquid phases. 4. Cell adsorption, drop size distribution, and batch growth. *Biotechnol. Bioengng*, 12:713-46, 1970.
10. GOUNELLE DE PONTANEL, H. ed. *Proteins from hydrocarbons: proceedings of the 1972 symposium, Aix-en-Provence*. London, Academic Press, 1972. p.215-7.
11. HATTORI, Y. et alii. Scale-up of L-glutamic acid fermentation from hydrocarbons. *J. Ferment. Technol.*, 52(2):132-9, 1974.

12. HUMPHREY, A. E. & ERICKSON, L. E. Kinetics of growth on aqueous oil and aqueous-solid dispersed systems. *J. appl. Chem. Biotechnol.*, 4:125-47, 1972.
13. HERDAN, G. *Small particle statistics*. London, Butterworths, 1960. p.56.
14. LAINÉ, B. M. What proteins cost from oil. *Hydrocarb. Process. Petrol. Refin.*, 53(11):139-42, Nov. 1974.
15. LIPINSKY, E. S. & LITCHFIELD, J. H. Single-cell protein in perspective. *Fd Technol.*, 28(5):16-24, May 1974.
16. MIMURA, A. et alii. Biochemical engineering analysis of hydrocarbon fermentation. *J. Ferment. Technol.*, 49(3):255-71, 1971.
17. MOO-YOUNG, M. & SHIMIZU, T. Hydrocarbon fermentation using *Candida lipolytica*. 2. A model for cell growth kinetics. *Biotechnol. Bioengng*, 13:761-78, 1971.
18. PROKOP, A. & LUDVIK, M. Droplet size frequency distribution of dispersed hydrocarbon phase in a fermentation process. *Biotechnol. Bioengng Symp.*, (4):349-62, 1968.
19. PORTER, J. R. Microbiology and the food and energy crises. *Am. Soc. Microbiol. News*, 40(11):813-25, 1974.
20. SANCHEZ PODLECH, P. A. *Contribuição ao estudo de um método radiométrico de medida da distribuição de diâmetros de gotas de óleo em suspensão em água*. São Paulo, Escola Politécnica, dez. 1970. [Dissertação de Mestrado].
21. SANCHEZ PODLECH, P. A. & BORZANI, W. Oil drop size distribution in hydrocarbon-water systems. *Biotechnol. Bioengng*, 14:43-59, 1972.
22. SANCHEZ PODLECH, P. A. et alii. The influence of oxygen on the oil drop size distribution in hydrocarbon-water systems. *J. Ferment. Technol.*, 51:917-20, 1973.
23. VIGNES, A. Hydrodynamique des dispersions. *Génie Chlm.*, 93(5):129-42, 1965.
24. VIGNES, A. Hydrodynamique des dispersions. *Génie Chlm.*, 93(6):173-84, 1965.
25. WANG, D. I. C. & OCHOA, A. Measurements on the interfacial areas of hydrocarbon in yeast fermentations and relationship to specific growth areas. *Biotechnol. Bioengng*, 14:345, 1972.
26. YOSHIDA, F. & YAMADA, T. Average size of oil drops in hydrocarbon fermentors. *J. Ferment. Technol.*, 49(3):235-44, 1971.



INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA

Caixa Postal, 11049 – Pinheiros

CEP 05508

01000 – São Paulo – SP

Telefone: 211-6011

Endereço Telefônico – IEATOMICA

Telex – 011-23592 IENA BR