

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Faculdade Engenharia de Campinas

Departamento de Engenharia de Sistemas Químicos

"Desenvolvimento de software para aquisição de
dados em tempo real em dispersões gás-líquido"

Autor: Margareth K.K.D.Franco

Orientador: Prof.Dr.João Alexandre Pereira

Este exemplar corresponde
à Redação Final da Tese
defendida por Margareth
K. Kobayashi e aprovada
pela Comissão julgadora
em 01/09/88



PROF. DR. JOÃO ALEXANDRE F. DA ROCHA PEREIRA
Departamento de Engenharia de Sistemas Químicos - P&C
UNICAMP

UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia de Campinas
Engenharia Química

"DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA AQUISIÇÃO DE DADOS
EM TEMPO REAL EM DISPERSÕES GÁS-LÍQUIDO."

Autor: Margareth Kazuyo Kobayashi

Tese submetida à comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia de Campinas - UNICAMP como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de "MESTRE EM ENGENHARIA QUÍMICA".

Aprovada por:



Prof. Dr. João Alexandre F. da Rocha Pereira
(Orientador)

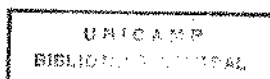


Prof. Dr. Alberto Luiz de Andrade



Prof.ª Dr.ª Lucia Helena I. Mei

Campinas-SP-Brasil
01 Setembro 1988



A

Tatsumi, Helena e Milton

e ao meu esposo

Paulo Henrique

Agradecimentos

Ao Prof.Dr.João Alexandre Pereira pela orientação e apoio prestados, sem o qual este trabalho não seria realizado.

Ao amigo Ernesto Nakamura um agradecimento sincero pelo grande interesse e empenho com que se dedicou na colaboração do presente trabalho.

Aos verdadeiros amigos.

Indice

INDICE GERAL

	página
Resumo	
Cap.01 - Introdução.....	01
Cap.02 - Análise da Literatura	
2.1 - Introdução.....	03
2.2 - Regime de Fluxo.....	04
2.3 - Subida de uma única bolha no líquido	
2.3.1 - Coeficiente de arraste e velocidade de subida.....	15
2.3.2 - Trabalho Experimental.....	23
2.3.3 - Movimento das Bolhas.....	28
2.4 - Formação de bolha em único orifício.....	30
2.5 - Utilização dos sensores.....	36
Cap.03 - Projeto e Desenvolvimento do Sensor na Técnica de Aquisição de Dados	
3.1 - Introdução.....	46
3.2 - Projeto do sensor.....	47
3.3 - Análise da produção de pulsos	
3.3.1 - Análise de um único pulso.....	50
3.3.2 - Forma de sequência de pulsos.....	52
3.4 - Parâmetros da bolha	
3.4.1 - Velocidade de subida da bolha.....	56
3.4.2 - Tamanho da bolha.....	57
3.5 - Programas	
3.5.1 - Análise de possíveis situações.....	59
3.5.2 - Programas para aquisição de dados.....	62
Cap.04 - Aplicação da Técnica na Dispersão Gás em Líquido	
4.1 - Introdução.....	83
4.2 - Montagem experimental	
4.2.1 - Equipamento.....	84
4.2.2 - Sistema de fluxo de gás.....	88
4.2.3 - Sistema de fluxo de líquido.....	89
4.2.4 - Sistema de lição sensor microcomputador.....	90
4.3 - Distribuição do tamanho das bolhas.....	92

Cap.05 - Análise de dados

5.1	-	Introdução.....	98
5.2	-	Tamanho das bolhas.....	102
5.2.1	-	Variação com a vazão de líquido.....	106
5.2.2	-	Variação com a posição radial do sensor.....	106
5.2.3	-	Variação com a vazão de gás.....	112
5.3	-	Distribuição do tamanho das bolhas	
5.3.1	-	Variação com o movimento vertical do sensor.....	116
5.3.2	-	Variação com o movimento radial do sensor no topo da dispersão.....	119
5.3.3	-	Variação com o movimento radial do sensor na base da dispersão.....	121
5.4	-	Conclusão e sugestões.....	122

Cap.06 - Apêndice

A	-	Comandos do microprocessador 8080.....	124
B	-	Programa para gráfico - GRDU6502.....	128
C	-	Sistema on-line.....	134
D	-	Conversor A/D.....	138
E	-	Subrotinas.....	141
F	-	Calibração.....	152
G	-	Sluq.....	157

Referências.....	160
------------------	-----

Nomenclatura.....	169
-------------------	-----

Resumo

O trabalho de tese desenvolvido tem por objetivo a elaboração de "software" para aquisição de dados em dispersões gás em líquido à temperatura ambiente. A aquisição de dados leva em consideração a leitura em tempo real, o que implica substancialmente no uso do método computacional. Para tanto, utiliza-se um sistema composto por um sensor de contato elétrico, que permanece continuamente submerso na dispersão gás-líquido e uma placa analógica digital acoplado a um microcomputador.

Utiliza-se um modelo hidráulico composto por uma coluna de vidro com prato perfurado operando em fluxo contínuo de líquido e gás, obtendo-se assim a dispersão gás em líquido. Na medida em que o sensor de contato elétrico permanece continuamente submerso, a captação de sinais é executada de forma contínua.

Os sinais enviados são captados pelo sensor, sendo posteriormente codificados pela placa analógica digital, enviados ao microcomputador, e devidamente analisados para obtenção de diversas propriedades tais como, dimensões características e velocidades das bolhas na dispersão. A fração de gás por volume da dispersão também é obtida através dos mesmos sinais já captados.

Como a porosidade é função da razão entre o volume ocupado pelas bolhas de gás e volume da dispersão, a medida da porosidade na mistura gás-líquido é necessária para avaliação dos coeficientes de transferência de massa dos filmes líquido e gasoso.

Portanto, embasados na importância do estudo das bolhas, o presente trabalho desenvolve "software" que permite a determinação de parâmetros do regime de fluxo da coluna em estudo.

Capitolo 1

INTRODUÇÃO

Um dos fenômenos mais significativos dentro dos processos industriais é a transferência de massa que ocorre normalmente devido a interação entre bolhas e um líquido. As bolhas movem-se dentro da dispersão gás-líquido em número elevado com distribuição de tamanho e de tempo de residência que são a priori desconhecidos. Verifica-se que no contexto literário existem grandes quantidades de trabalhos que estudam o comportamento das bolhas dentro de uma determinada dispersão. Este número elevado de trabalhos ressalta a importância do conhecimento das características de dispersões gás-líquido.

Os trabalhos publicados empregam tanto o método empírico quanto o experimental no desenvolvimento de soluções que objetivam o esclarecimento quanto ao comportamento das bolhas e suas propriedades físicas e químicas, mas a investigação através do método experimental é extremamente complexo sem o uso de instrumentação adequada, devido a dificuldade na medição direta dos parâmetros da bolha.

No início da era da automação industrial, utilizou-se uma instrumentação projetada especificamente para manter o operador informado a respeito das condições do processo. Verifica-se, no entanto, que a decisão sobre a ação de controle ainda era deixada a cargo do julgamento do operador.

Capitulo 2

No estágio subsequente, surgiram os controladores de realimentação, que contribuíram para o avanço das técnicas de controle. Com esses dispositivos tornou-se possível selecionar valores para as variáveis do processo, e conseqüentemente mantê-los perto de seus "set-points".

Atualmente com o desenvolvimento das técnicas computacionais tem-se configurações de controle sofisticadas para se conseguir tanto o controle antecipativo (feedforward) como o controle adaptativo.

O trabalho de aquisição de dados em tempo real é considerado de importância fundamental, pois todo controle necessita da informação para ser efetuada com eficácia.

Desta forma, o presente trabalho utiliza-se de equipamentos que permitem o desenvolvimento de uma técnica para aquisição de dados fundamentais na obtenção da condição ótima de operação de uma coluna com dispersão. Essa aquisição de dados é obtida sob a forma de sinais que são transmitidos pelos sensores alocados diretamente no processo.

Assim, desenvolve-se "software" para obtenção da aquisição de sinais em tempo real e também o processamento dos mesmos para quantificação em grandezas mensuráveis.

2.1 - INTRODUÇÃO

Verifica-se que dentre os processos de separação de misturas líquidas, a destilação é a mais comumente empregada. O princípio de separação baseia-se na transferência de massa e calor entre as fases gasosa e líquida que compõem a dispersão.

O estudo da fase gasosa, que se encontra sob a forma de bolhas dentro da dispersão é um dos fenômenos físicos mais pesquisados.

Muitas técnicas experimentais utilizadas inicialmente tais como a absorção química, fotografia e raio X, apresentaram limitações e sérias inconveniências. Essas técnicas apresentaram resultados imprecisos, portanto não confiáveis, que descrevem a dispersão de forma irreal.

Na maioria dos trabalhos, os estudos concentram-se primeiramente na previsão teórica e experimental do movimento de bolhas isoladas em líquido que tem característica Newtoniana, passando posteriormente ao estudo da formação de bolhas em um único orifício. Esta formação é acompanhada de um desenvolvimento teórico usado para prever tamanho de bolhas e condições das propriedades do fluido gasoso, conhecidos: o tipo de orifício, a geração do fluxo de gás e líquido. Após esses dois estágios o trabalho volta-se para a dispersão gás em líquido sobre prato perfurado. O prato perfurado proporciona melhor contato entre as fases, fazendo com que a separação torne-se mais eficiente. Nes-

te trabalho investiga-se o tamanho e velocidade das bolhas para obtenção das propriedades da dispersão gás-líquido.

Assume-se que todas as bolhas contidas na dispersão tenham forma esférica, independente do tamanho ou do fluxo gasoso.

Essa consideração tem apenas intuito simplificador.

2.2 - REGIME DE FLUXO

Na dispersão gás em líquido sobre prato perfurado sem vertedor, as taxas de transferência de massa e calor são determinadas pelas condições hidrodinâmicas da coluna. Desta forma, uma mudança nas vazões das fases gasosa e/ou líquida implica diretamente em alterações no tipo e no comportamento das dispersões formadas. Portanto, o conhecimento das alturas das dispersões, oscilações, regimes de escoamento e os tipos de dispersões que se formam sobre os pratos é fundamental para o estudo de uma coluna de destilação.

A revisão bibliográfica restringe-se às dispersões formadas sobre pratos perfurados sem vertedor. Devida à importância da forma como a dispersão se apresenta efetua-se uma análise detalhada dos regimes de escoamento.

Baseados nos trabalhos de Zelinski e Kafarov (60), Rylek e Standart (48) desenvolveram um trabalho de descrição dos diferentes tipos de regime.

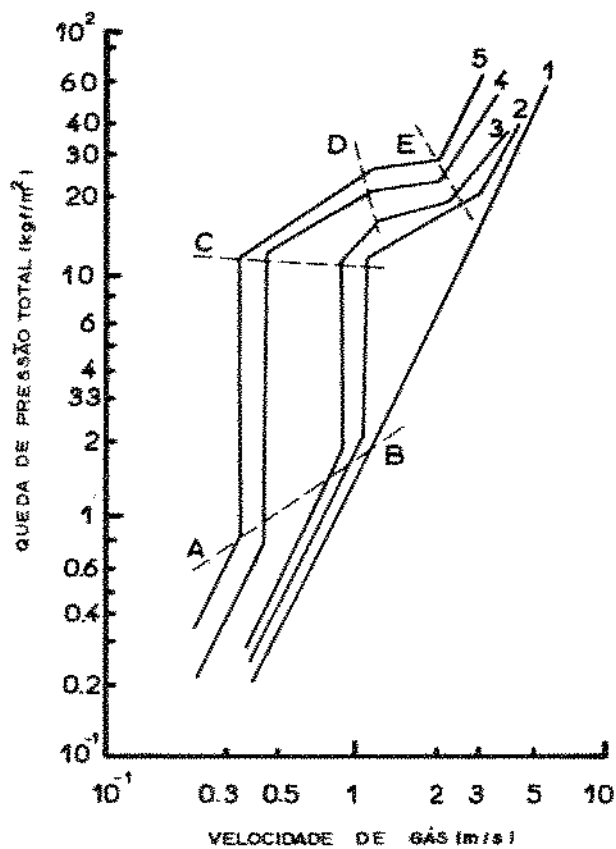


Figura 2.1 - Queda de pressão total, para um prato sem vertedor versus velocidade superficial de gás a várias vazões de líquido.

1.L= 0 4.L=11.200
 2.L=1650 5.L=21.100
 3.L=3780

[Rylek e Standart, Int.Chem.Engng,4,711,1964]

Através da Figura 2.1 reconhe-se os seguintes regimes de escoamento: 1) prato sem dispersão de líquido - segmento AB, 2) regime de borbulhamento - segmento CD, 3) regime de espuma móvel ou "froth" - segmento DE, 4) regime de oscilações - segmento EF.

Essa figura é a representação gráfica em forma logarítmica da queda de pressão através do prato e da dispersão, em função das vazões de líquido e velocidade do gás.

Cervenka e Kolar (06) apresentaram sete diferentes regimes de escoamento observados em pratos perfurados sem vertedor. 1) Fluxo separado de líquido e gás através do prato, 2) Pulsações uniformes, 3) Borbulhamento, 4) Espuma celular, 5) Circulação, 6) Oscilações em ondas, 7) Fluidização - "Spray".

Shoukry e outros (51) apresentaram em seu trabalho cinco principais regimes de escoamento: 1) Borbulhamento, 2) Espuma celular, 3) "Froth", 4) "Froth" oscilante, 5) Oscilações.

Cruz (07) descreve a existência de três tipos de regimes em seus experimentos: 1) Borbulhamento, 2) Espuma celular, 3) "Froth".

Em todos trabalhos já publicados a respeito das regiões em que ocorrem os regimes de escoamento, não se verifica uma uniformidade nos termos empregados. De uma forma geral os regimes de escoamento são caracterizados por três tipos básicos: 1) Borbulhamento, 2) Espuma móvel ou "Froth", 3) "Spray".

2.2.1 - REGIME DE BORBULHAMENTO

Segundo a descrição de Zelinski e Kafarov (60), Rylek e Standart (48), e Cervenka e Kolar (06), o regime de borbulhamento inicia-se no ponto de retenção do líquido. Durante essa retenção observa-se uma elevação na queda de pressão total (Figura 2.1 - segmento AC), seguida posteriormente pela formação de bolhas nos orifícios. Essas bolhas formam uma dispersão gás em líquido denominada borbulhamento.

Assim o borbulhamento é caracterizado pela existência de uma camada de líquido sobre a superfície do prato perfurado, através do qual as bolhas de gás atravessam livremente.

Acima da camada de líquido observa-se a formação de uma camada de espuma. A altura desta camada aumenta proporcionalmente com a velocidade do gás, enquanto que a altura da camada de líquido contendo as bolhas sofre uma diminuição. Verifica-se que os autores Shoukry e outros (51) e Thorogood (54) atribuem uma classificação diferente ao regime que apresenta essas características.

Observa-se também que a queda de pressão, altura da dispersão e a quantidade de líquido retida no prato aumentam com a velocidade do gás, mantendo-se a vazão de líquido constante, ou seja, com o aumento da vazão de gás através da dispersão a uma dada taxa de escoamento de líquido, a proporção de orifícios disponíveis para drenagem do líquido diminui e a quantidade de líquido retido sobre o prato aumenta.

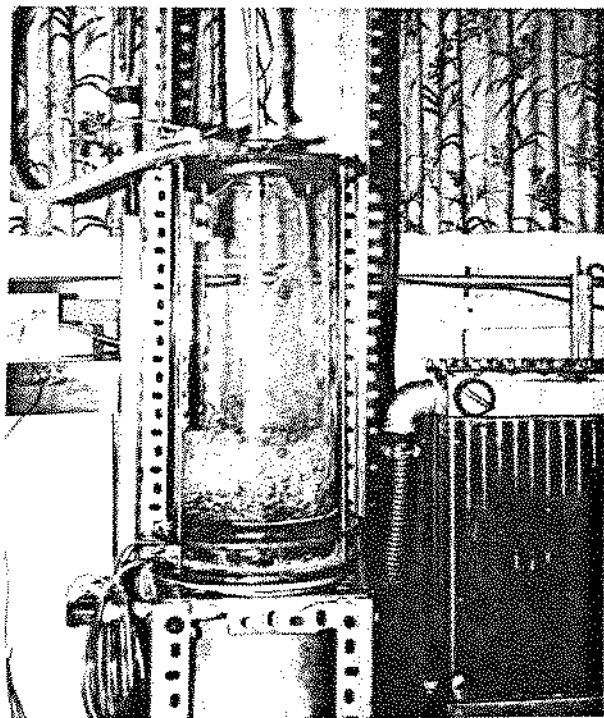


Figura 2.2 - Dispersão ar-água

Regime de Borbulhamento em prato perfurado sem vertedor

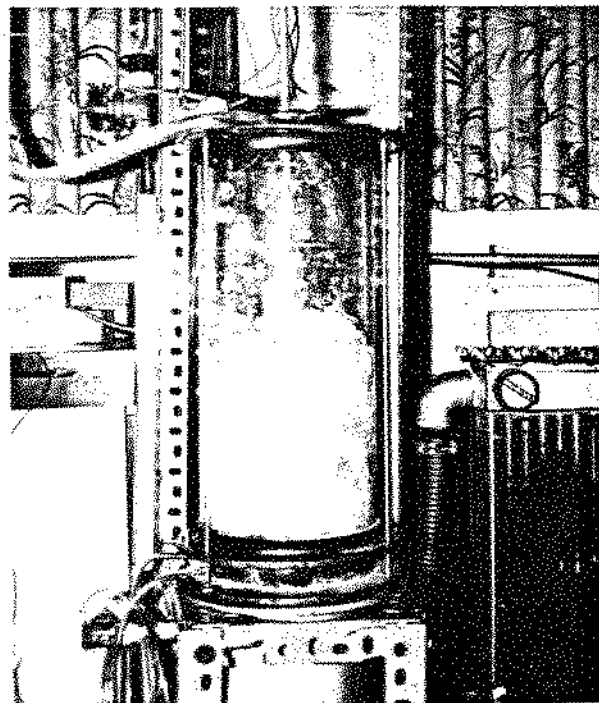


Figura 2.3 - Dispersão ar-água

Regime "Froth" em prato perfurado sem vertedor

Assim o regime de borbulhamento é caracterizado por camada espessa de líquido onde o gás passa sob a forma de bolhas individuais.

2.2.2 - REGIME "FROTH"

O regime de escoamento designado por "froth" inicia-se quando toda a dispersão adquire o estado de espuma móvel, ou seja, aumentando-se a velocidade do gás, as bolhas se rompem em bolhas menores, posteriormente coalescem formando-se assim correntes de gás. Ressalta-se que o regime "froth" apresenta características próprias tais como: correntes desordenadas de bolhas, película de líquido e turbulência que o distinguem perfeitamente do estado de espuma estável. A velocidade de ascensão do gás neste regime é 10 vezes maior que a velocidade de ascensão livre da bolha. Devido à característica dinâmica deste regime, observa-se a formação de correntes desordenadas de gás. Desta forma, o líquido pode expandir em película e juntar-se em gotas ou camadas. Neste regime existe uma forte mistura entre as fases, isto é, uma intensa turbulência que leva a obtenção do aumento das taxas de transferência de massa e calor em relação ao regime de borbulhamento.

Através do segmento DE da Figura 2.1 verifica-se a representação deste regime. Verifica-se que a perda de pressão e a altura da dispersão aumentam pouco com o aumento da velocidade do gás.

Segundo Rylek e Standart (48), Cervenka e Kolar (06), e Skoukry e outros (51) o regime "froth" pode ser encontrado com oscilações. A oscilação inicia-se quando a coalescência das bolhas individuais e a formação de correntes que passam através da dispersão tornam-se intensas.

Cervenka e Kolar (06) descrevem esta fase de oscilações em dois regimes distintos: oscilação de meia onda e oscilação de onda completa, representada pela Figura 2.4.

A passagem para a fase de oscilação é acompanhada pelo aumento da altura de espuma, quantidade de líquido sobre o prato e conseqüente aumento na queda de pressão, sendo que durante esta fase o fluxo de líquido através dos orifícios varia bruscamente.

Nos regimes de escoamento tipo borbulhamento e "froth" a fase contínua é a fase líquida enquanto que a fase dispersa é o gás. Mas quando a velocidade do gás se aproxima do limite superior da fase "froth", cada orifício injeta "jatos", ocorrendo então a mudança da dispersão gás em líquido para dispersão líquido gás denominada de regime "spray".

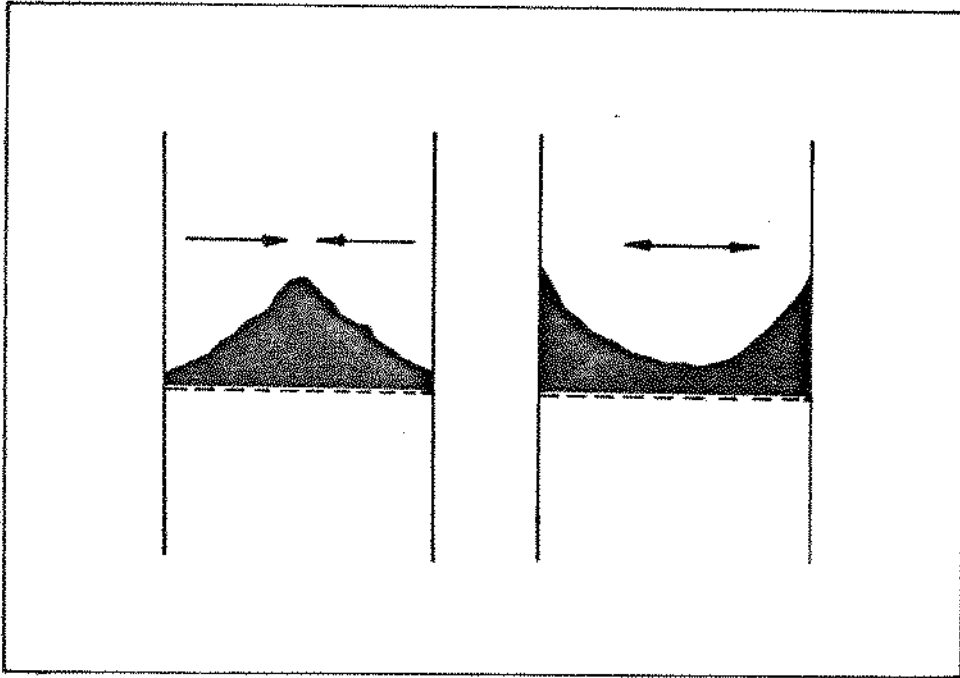


Figura 2.4.a - Oscilação do tipo onda completa

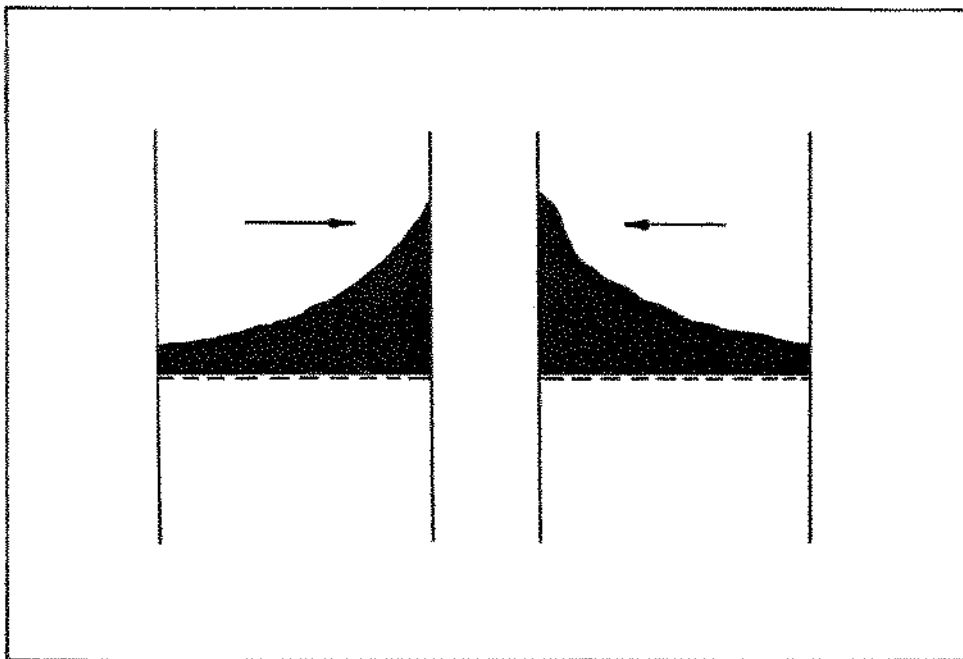


Figura 2.4.b - Oscilação do tipo meia onda

2.2.3 - REGIME "SPRAY"

O regime "spray" é caracterizado por uma fase contínua gasosa e uma fase dispersa líquida. Devida a alta velocidade do gás e a conseqüente existência de movimentos oscilatórios na dispersão a maioria dos trabalhos publicados tem-se preocupado mais na descrição destes movimentos do que o estudo sobre a estrutura da dispersão.

Esta dispersão líquido em gás apresenta uma formação diferente da área interfacial e conseqüentemente uma diferente formação quanto aos fenômenos de transferência de calor e massa comparada com o regime "froth". Ressalta-se a importância das transferências de calor e massa, pois estão diretamente ligadas à eficiência da destilação.

Zuiderweg (61) apresentou em seu trabalho o estudo de colunas com pratos contendo vertedor. Verificou-se que o regime "spray" é obtido a altas velocidades de gás e baixas vazões de líquido, sendo que o líquido retido sobre o prato é completamente disperso em pequenas gotas. Estas gotas aparecem pela ação dos jatos de gás que vem dos orifícios.

Segundo o estudo de Rylek e Standart (48), em pratos perfurados sem vertedor, a altura da dispersão permanece quase inalterada até determinada vazão de gás, e a partir deste ponto a altura aumenta rapidamente passando o regime "froth" para um sistema composto de gotas, membranas de líquido e jatos de gás, o qual constitui o regime "spray".

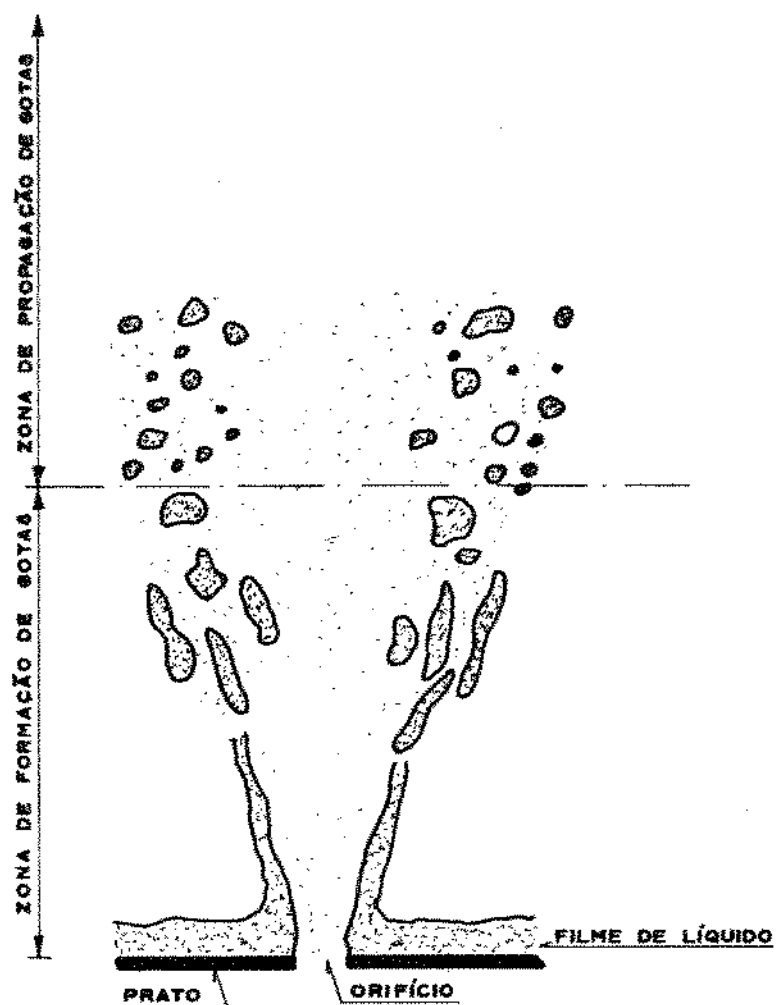


Figura 2.5 - Formação do "Spray"

[Pinczewski e Fell - 1974]

Os pesquisadores Pinczewski e Fell (38) descreveram a dispersão tipo "spray" da seguinte forma: primeiramente observa-se que, na região inferior, a dispersão apresenta filmes de líquido que envolvem os jatos de gás. Este gás sai pelos orifícios do prato perfurado, conforme verifica-se através da Figura 2.5. Os filmes apresentam forma cônica, sendo posteriormente transformado em gotículas pela influência da grande velocidade dos jatos de gás. A região inferior, também chamada de zona de formação de gotículas, compreende a região entre a superfície do prato até o ponto onde as gotículas começam a ocorrer. A região superior, denominada zona de propagação de gotículas, corresponde à região onde o efeito dos jatos de gás não é significativo e as gotículas percorrem uma trajetória normal.

2.3 - SUBIDA DA BOLHA EM LÍQUIDO

Verifica-se que as bolhas tem comportamento diferenciado quando estão isoladas ou quando estão submetidas à interação de outras bolhas, isto é, estão submersas em uma dispersão. Apesar disso, faz-se primeiramente uma revisão de alguns aspectos estudados em trabalhos anteriores que se referem ao movimento de uma única bolha isolada em líquido.

2.3.1 - Coeficiente de arraste e velocidade de subida

Reynolds demonstrou a existência dos dois diferentes tipos de regime de escoamento: laminar e turbulento. Mas uma outra maneira de comprovar os diferentes regimes de fluxo e também a dependência com o número de Reynolds é através do arraste.

Como o arraste é a perda de energia ocasionada pela resistência ao movimento de um objeto em um fluido, estudou-se os tipos de resistência encontrados. Desta forma, o tipo de resistência que oferece um corpo bojudado de forma semelhante a um cilindro, a qual é causada principalmente por uma diferença de pressão, é chamada resistência de forma. A resistência causada por cisalhamento viscoso na camada limite é denominada de atrito de superfície, que é a única resistência encontrada quando o escoamento se dá sobre uma placa plana. A resistência de forma é

frequentemente associada ao aparecimento de uma esteira de fluido. Para escoamento sobre uma esfera ou outros objetos o coeficiente de arraste é definido como:

$$C_D = \frac{2F}{\rho_o U^2 A_c}$$

onde:

F... força resistiva do fluido

A_c... área da seção transversal do corpo na direção do movimento

U... velocidade do corpo

ρ_o... massa específica do fluido

Para o regime onde o número de Reynolds é pequeno, as bolhas são consideradas como pequenas esferas rígidas, com velocidade interfacial do líquido nula. Stokes (52) encontrou para um líquido Newtoniano que:

$$C_D = \frac{24}{Re}$$

sendo a velocidade da bôlha dada por:

$$U_B = \frac{84}{\nu} V^{2/3}$$

A Figura 2.6 mostra a representação do coeficiente de arraste para uma ampla faixa de número de Reynolds. considerando-se várias formas.

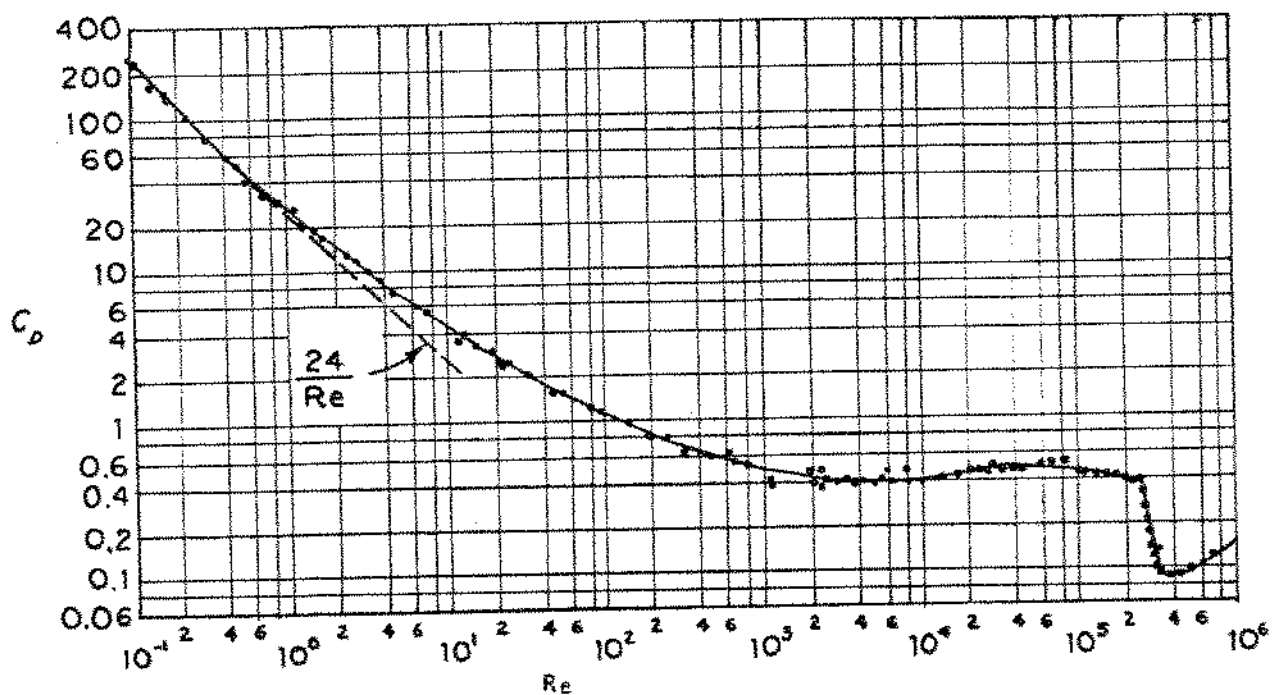


Figura 2.6.a - Coeficiente de Arraste para Esfera

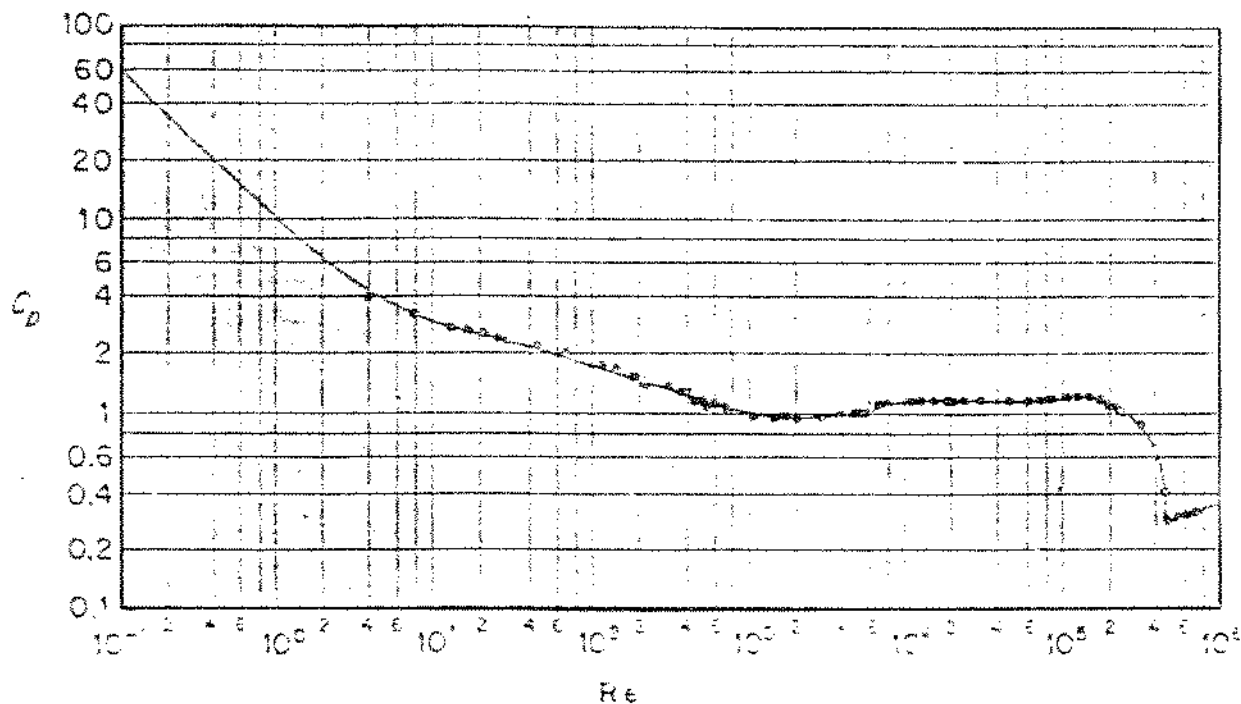


Figura 2.6.b - Coeficiente de Arraste para Cilindro

Para escoamento ao redor de um cilindro, não existe solução analítica, tal como a encontrada por Stokes (52) para uma esfera, mas a Figura 2.6 mostra, empiricamente, que para baixos números de Re , C_D é também inversamente proporcional ao número de Re . À medida que o número de Re cresce, os efeitos de viscosidade se tornam relativamente menos importantes. A brusca queda de C_D para um valor aproximado de $Re = 500.000$ corresponde a tran-

sição de uma camada limite laminar para turbulenta com a consequente mudança do ponto de descolamento. Desta forma, de um modo geral, a relação entre C_d e Re deve ser encontrada experimentalmente para cada caso de escoamento sobre uma dada forma específica.

Em 1960, Oseen (34) propôs que para $Re < 2$

$$C_D = \frac{24}{Re} \left(1 + \frac{3}{16} Re \right)$$

Considerando-se as faixas de $10 < Re < 100$ e $Re \gg 1$, Hamielec e Johnson (22) obtiveram uma função aproximada da velocidade, assumindo-se para tanto uma função de corrente estimativa na equação de Navier-Stokes, e avaliando os coeficientes indeterminados pelas condições de contorno. Obtiveram assim:

$$C_D = \frac{16}{3} \left(\frac{-24A_2 - 70A_3 - 144A_4}{Re} \right) + \frac{16}{15} (1 - A_1 - 2A_2 - 3A_3 - 4A_4) (B_1 + 2B_2 + 3B_3 + 4B_4)$$

Posteriormente a Hamielec e Johnson (22), o coeficiente de arraste C_d para $Re=30$ foi estudado por alguns pesquisadores, seguido pelo trabalho de Baird e Hamielec (03) para $Re=70$.

Para o caso onde o número de Re é alto, Moore (29) calculou o coeficiente de arraste e a velocidade da bolha, igualando a dissipação de energia viscosa no fluxo com a taxa de perda de energia potencial devido ao movimento das bolhas de gás, com coeficiente de arraste.

Assim:

$$C_D = \frac{48}{Re}$$

$$U_B = \frac{42}{\nu} V^{2/3}$$

Para o caso de bolhas de forma esférica em líquidos de baixa viscosidade, estendido para o infinito, Mendelson (27) sugeriu que a velocidade terminal dessas deve ser representada por:

$$U_B = \sqrt{\frac{2 \sigma}{d_e \rho_0} + \frac{g d_e^3}{2}}$$

Quando as bolhas são grandes:

então:
$$U_B = 22.2 (d_e)^{1/2}$$

Davies e Taylor (11) consideraram o caso onde o diâmetro da bolha aproxima-se do diâmetro da coluna e provoca um movimento do tipo pistão, ou bolhas mais longas também em fluxo sem turbulência. Obtiveram que:

$$U_B = c_1 \sqrt{g D_c}$$

onde:

D_cdiâmetro da coluna

c_1assume valores de 0.35 e 0.33

Griffith (17) demonstrou que se U_B depende da forma do perfil de velocidade do líquido na frente da bolha submetida ao movimento pistão, então:

$$U_B = c_1 c_2 \sqrt{g D_c}$$

onde:

$$c_1 = 0.35$$

c_2 é função da velocidade da bolha e do perfil de velocidade do líquido na frente da bolha submetida ao movimento pistão

Nicklin (31) e Nicklin e outros (32) estudaram a influência dos fluxos de gás e líquido sobre a velocidade de subida da bolha tipo pistão, considerando um tubo vertical. Verificaram que no "slug" o movimento é relativo ao líquido que está na frente, sendo a velocidade igual a velocidade de subida da pequena esteira de bolhas.

Desta forma para fluxo de duas fases com bolha tipo pistão, encontraram que:

$$\frac{G}{\epsilon_g A} = 1.2 \left(\frac{G+L}{A} \right) + 0.35 (g D_c)^{1/2}$$

onde:

Eq.porosidade

G.....vazão de gás

L.....vazão de líquido

D.....diâmetro do tubo

A.....área do tubo

Nicklin (31) também propôs uma equação equivalente que pode descrever o fluxo em duas fases com bolha.

$$\frac{G}{\epsilon_E A} = U_{E\infty} + \frac{G}{A}$$

onde:

U_{Bo} velocidade de subida da bolha quando isolada

2.3.2 - Trabalho Experimental

Encontram-se vários trabalhos experimentais abordando o coeficiente de arraste e velocidade terminal de esferas rígidas, gotas ou bolhas em movimento através de fluidos; assim estes trabalhos baseiam-se na investigação extensiva dos fenômenos de transporte.

Datta (08) demonstrou experimentalmente que o efeito de parede do tubo provocou uma redução na velocidade da bolha, ou seja, devido ao arraste houve uma diminuição na velocidade.

Os pesquisadores Uno e Kinter (55) desenvolveram um estudo que consiste na medição da velocidade de subida das bolhas de ar em quatro líquidos diferentes, contidos em tubos cilíndricos verticais de diferentes diâmetros. Eles propuseram a seguinte equação abaixo para correção do efeito de parede.

$$\frac{U_F}{U_{B_\infty}} = \left(\frac{1}{K} \left(1 - \frac{d_b}{D_c} \right) \right)^{0.755}$$

onde:

K' constante

d_b diâmetro da bolha

D_c diâmetro da coluna

Peebles e Garber (36) mediram as velocidades das bolhas em dezesseis líquidos e deduziram uma correlação experimental para coeficiente e arraste em quatro regimes.

$C_D = \frac{24}{Re}$	$Re \leq 2$
$C_D = \frac{18.7}{Re^{0.68}}$	$2 < Re \leq 4.02 M^{-0.214}$
$C_D = 0.0275 M Re^4$	$4.02 M^{-0.214} < Re \leq 3.1 M^{-0.25}$
$C_D = 0.82 M^{0.25} Re$	$3.1 M^{-0.25} \leq Re$

onde:

$$M = \frac{\epsilon U^4}{\rho \sigma^3}$$

Devido ao efeito de parede descrito por Uno e Kinter (55) essas correlações comprovaram ser satisfatórias somente para $d_e < 0.25$ cm.

Tadaki e Maeda (53) mediram a velocidade terminal de bolhas com tamanho entre $0.25 < d_e < 1.8$ cm em quatorze líquidos diferentes. Estes pesquisadores concluíram que:

$CD = 0.076 (Re M^{0.23})^{1.82}$	$8 M^{0.068} < Re M^{0.23} \leq 6$
$CD = 1.25 (Re M^{0.23})^{0.25}$	$6 < Re M^{0.23} \leq 16.5$
$CD = 2.6$	$16.5 < Re M^{0.23}$

Neqligenciando-se o efeito de parede discutido por Datta (08), os pesquisadores Haberman e Morton (21) estudaram o movimento das bolhas de ar em oito líquidos, chegando às seguintes conclusões:

1. Em líquidos caracterizados pelo baixo valor de M ($M < 10 E-8$), a velocidade aumenta rapidamente; inicialmente com aumento de volume, alcança-se um máximo, depois decai-se para um mínimo, e sobe outra vez gradualmente.

2. O coeficiente de arraste das bolhas esféricas muito pequenas identifica-as com as esferas rígidas de mesmo tamanho.
3. O coeficiente de arraste mínimo é obtido na transição da forma esférica para elipsoidal quando o líquido tem baixo M .
4. Para bolhas grandes, o coeficiente de arraste tem valor constante de 2.6.
- 5. Impurezas e ^{surfactants} "surfactants" aumentam o arraste sobre bolhas pequenas em água.

Os dados obtidos para os líquidos utilizados por Haberman e Morton (21) foram bem correlacionados pela equação (2.4) proposta por Mendelson (27).

Davenport e outros (09) e Angelino(01) verificaram também uma redução na velocidade terminal quando foi aumentada a viscosidade do líquido Newtoniano.

Através da Figura 2.7 verifica-se um conjunto de curvas obtida por alisamento que exprimem a velocidade terminal de subida de bolha única em fluxo livre através de diferentes líquidos Newtonianos.

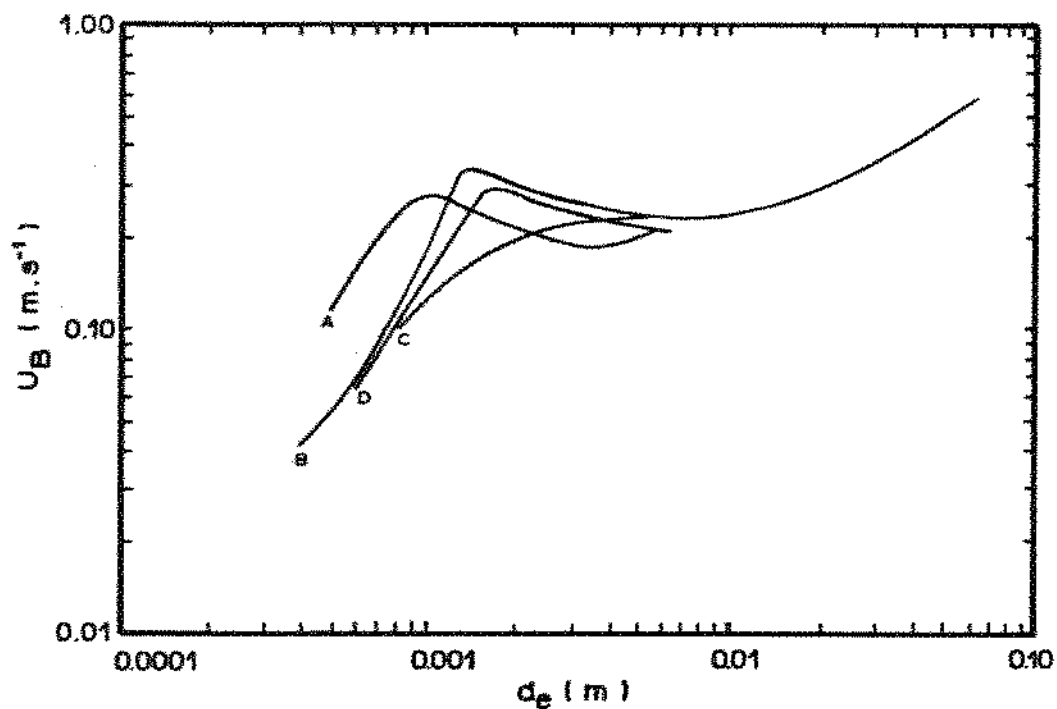


Figura 2.7 - Velocidade de subida da bolha

sendo que:

- A ... ar - metanol (18)
- B ... ar - água filtrada (18)
- C ... ar - água (18)
- D ... ar - água (08)

Em 1973 os pesquisadores Guthrie e Bradshaw (19) estudaram as bolhas esféricas grandes e suas velocidades de subida em colunas de diâmetro grande, sendo que o efeito de parede foi negligenciado. Obtiveram uma equação para velocidade de subida das bolhas.

$$U_E = c \sqrt{g r_e}$$

onde:

$c = 1.03 \pm 0.006$ para água

r_e ... raio de uma esfera de volume equivalente a bolha

2.3.3 - Movimento das Bolhas

Considerando-se uma bolha única de tamanho e forma definidos subindo livremente no líquido, observa-se que a trajetória seguida pela mesma é uma característica das propriedades do líquido.

A trajetória da bolha é classificada de uma forma geral

em:

- a - retilíneo
- b - zig-zag
- c - retilíneo com oscilações
- d - espiral

Conclui-se que a interação entre o movimento oscilante e o movimento instável próximo a parte dianteira da bolha, provoca o movimento em zig-zag.

Haberman e Morton (21), e Davenport et al (09) observaram que aumentando-se a viscosidade do líquido diminui a subida da bolha de trajetória instável. Desta forma, concluíram que para qualquer líquido:

- Re < 300 - movimento retilíneo
- 300 < Re < 3000 - movimento espiral
- Re > 3000 - movimento retilíneo com oscilações

Observaram certas ondulações sobre a superfície das bolhas grandes ($1.5 < d < 4$ cm) que estão subindo através de líquidos de baixa viscosidade (29.30), e que aumentando-se a viscosidade do líquido diminui-se o efeito dessas ondulações.

2.4 - FORMAÇÃO DE BOLHA EM UM ÚNICO ORIFÍCIO

Apesar do orifício isolado não ter aplicações industriais, ele é intensamente estudado, pois a geração de bolhas através do orifício é condição limitante para a construção de equipamento de contato que contém múltiplos orifícios.

O diâmetro da bolha gerada em um único orifício é afetada por fatores tais como: diâmetro e forma do orifício, fluxos de gás e líquido, parâmetros reológicos do gás e líquido.

Considera-se um mecanismo de formação de bolha simples quando a bolha é formada muito abaixo da abertura final do tubo imerso verticalmente no líquido.

Datta e outros (08) obtiveram uma equação para o diâmetro da bolha considerando um balanço estático entre a força de flutuabilidade e tensão superficial no momento da libertação. Ressalta-se que esta equação foi confirmada através de vários dados experimentais.

então:
$$d_B = \left(\frac{6 d_o \sigma}{\Delta \rho g} \right)^{1/3}$$

onde:

d_o diâmetro do orifício

σ tensão superficial do líquido

$\Delta \rho$ diferença de massa específica

g aceleração devida à gravidade

Geralmente é estabelecido que quando a taxa de fluxo é aumentada, o diâmetro da bolha inicialmente permanece constante enquanto a frequência de formação aumenta. ~~Em~~ ^{fluxo} ~~estático~~ elevado, a frequência de formação se torna aproximadamente constante enquanto o diâmetro da bolha aumenta novamente. A altas taxas de fluxo, aproximando-se da situação industrial, muitos autores verificaram que existe uma distribuição de tamanhos de bolha formada acima do orifício, de considerável dispersão na distribuição.

Davidson e outros (10) apresentaram uma análise para a relação entre volume de bolhas e taxa de gás na região onde a inércia do líquido movida pelas bolhas em ascensão ~~tem-se~~ ^é mais importante do que a tensão superficial ou o momento do gás de saída. Em regime de fluxo constante, eles obtiveram o momento do balanço sobre formação da bolha como:

$$\rho_L V_G = \frac{d}{dt} \left\{ \frac{1}{2} \rho_L V \frac{ds}{dt} \right\}$$

$$\frac{ds}{dt} = g t$$

onde:

s....distância da fonte de geração de gás para o centro da bolha

t....tempo após formação

O volume da bolha foi dada por:

$$V = 1.138 Q^{6/5} E^{-3}$$

Davidson (10) analisaram o caso do movimento inicial da bolha de gás saindo do repouso dentro do líquido. Os autores encontraram que bolhas inicialmente esféricas tem uma aceleração inicial duas vezes maior que a da gravidade e sua forma é distorcida para dentro, obtendo-se a configuração de um cogumelo. Posteriormente ocorre a definitiva quebra da bolha.

Ramakrishnan e outros (40) propuseram um modelo para formação de bolhas baseado num mecanismo de dois estágios.

O modelo assume que a formação de bolhas realiza-se em dois estágios: expansão e separação. Durante o primeiro estágio a bolha expande enquanto sua base permanece unida a ponta do orifício ao passo que dentro do estágio de separação a base da bolha move longe da ponta, a natureza da bolha em contato com o orifício através um colo. O segundo estágio da formação da bolha é mostrado na Figura 2.8.

O volume final da bolha é a soma dos volumes pertencentes aos dois estágios.

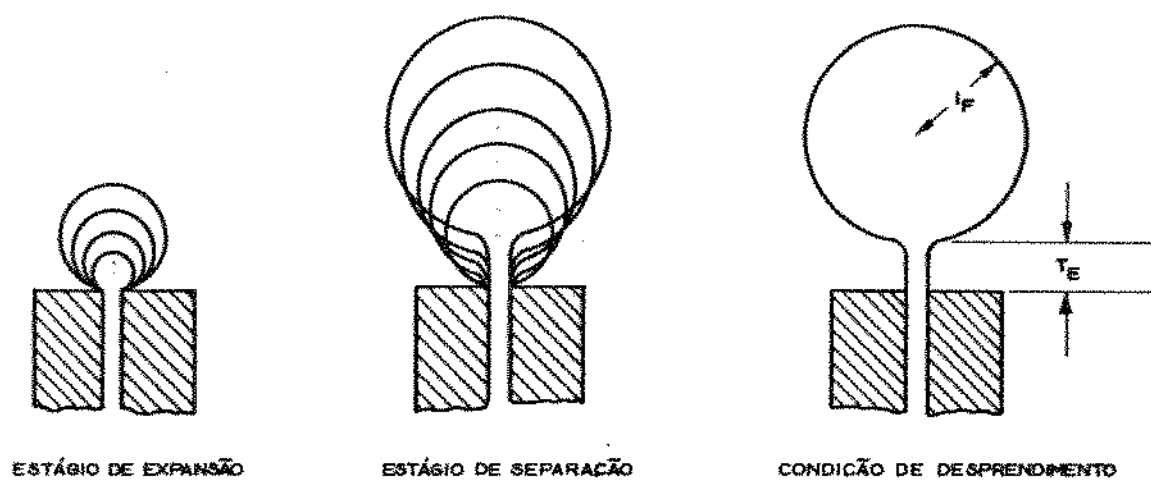


Figura 2.8

Satynarayan e outros (49) estudaram a formação de bolhas sob condições de pressão constante dentro de uma grande faixa de variação das propriedades do líquido. Bolhas de ar foram formadas no orifício horizontal único submerso em líquido cuja viscosidade variou de 1.0 a 600 cPs e tensão superficial de 37 a 72 din/cm.

Foi desenvolvido um modelo de formação baseado no conceito dado por Kumar e Kuloor (24) (para condições de fluxo constante) para situação de pressão constante. Obteve-se um bom ajuste entre os dados obtidos empírica e experimentalmente, considerando-se a faixa de variáveis mencionada acima.

Pinczewski (39) desenvolveu um modelo para descrever a formação de bolha única em um orifício submerso. O modelo é baseado em uma equação modificada de Rayleigh (18) para o crescimento de bolha e descreve o efeito do momento gás presumindo que o campo do fluxo dentro da bolha subindo é na foma de uma circulação vortex toroidal. O modelo mostra que ascensão da bolha é caracterizada por um movimento inicial externo da base da bolha circular na base do prato seguida por movimento interno posterior em direção do orifício que em primeiro lugar para um rigoroso da bolha para o orifício e terminação do ciclo crescimento.

Obteve-se a taxa de crescimento da bolha, tempo de formação e pressão sua flutuação são mostrados ser em bem ajustado com os dados experimentais disponíveis para uma grande faixa de pressão (0 - 1.37) MN/m²) e verificou formas de bolhas similares a aquelas observadas experimentalmente.

Gaddis e Vogelpohl (13) desenvolveram teoricamente uma equação simples para predizer o diâmetro de separação da bolha em líquido parado sob condições de vazão volumétrica de gás constante. A equação é válida no regime de borbulhamento até a transição para o regime de jateamento e para líquido com mais baixa para mais alta viscosidade. Medidas experimentais conhecidas foram usadas para examinar a validade da equação desenvolvida. A comparação entre predição teórica e a medida experimental é satisfatória, os desvios são na maioria dos casos dentro de +- 10%.

então:

$$V = V_e + \Delta V$$

onde:

V_e ... volume da bolha no final do estágio de expansão
 ΔV ... excesso de volume correspondente ao fluxo de gás na bolha através do pequeno tubo formado durante o período de separação.

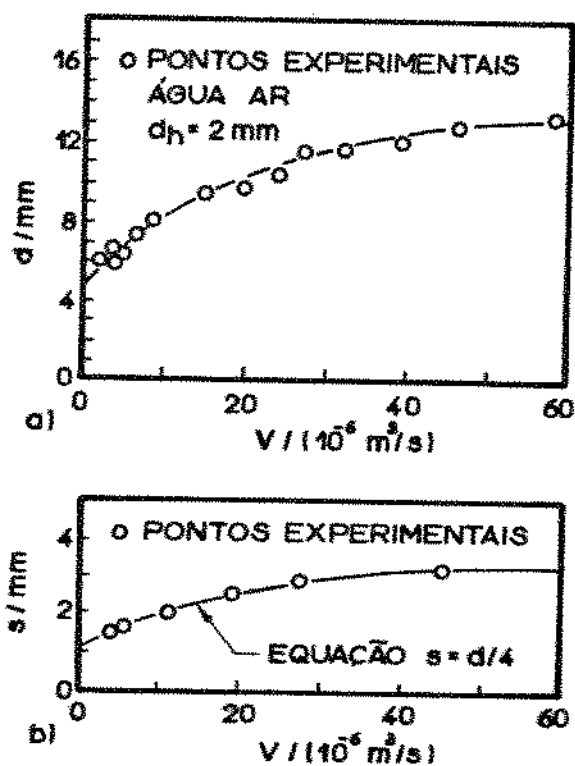


Figura 2.9

d ...diâmetro da bolha

v ...vazão volumétrica do gás através do bocal

d_h ...diâmetro do bocal

s ...comprimento do tubo formado durante o período de separação

2.5 - SENSORES

A utilização de sensores para coleta de dados existe devida à necessidade de um método mais preciso, que relate de forma exata, os parâmetros da dispersão em estudo.

Como a formação e a distribuição de bolhas, tanto em dispersões gás-líquido ou em leite fluidizado, são um dos fatores predominantes na transferência de massa, encontra-se vários trabalhos que envolvem este estudo.

Através do item 2.3 verificou-se que as primeiras pesquisas retém-se ao estudo da bolha única subindo através da dispersão. Passou-se posteriormente ao estudo das bolhas em de misturas gás-líquido, porque o que se encontra na realidade são sistemas onde existem muitas bolhas movendo-se simultaneamente em trajetórias que são usualmente não-identificáveis.

Desta forma, surgiram basicamente dois métodos experimentais para solucionar o problema da medição da distribuição de bolhas. O primeiro método baseia-se na utilização de raios gama ou raios X que atravessam a dispersão. O segundo método refere-se ao desenvolvimento de sensores elétricos que são inseridos na dispersão e respondem devido a capacitância, condutividade ou outras propriedades sensíveis a mudança de fases, isto é, a perturbação pela passagem da bolha.

Goldschmidt e Legoff (16) estudaram inicialmente a condutividade por um sensor único, dentro de um leito fluidizado. Os sensores de capacitância única também foram usados por Lockett e Harrison (26) e Geldart e Kelsey (14).

Como as informações que podem ser obtidas pelo sensor único são limitadas, surgiram trabalhos usando dois sensores.

Em 1960 Lanneau (25) usou dois sensores de capacitância com saída elétrica registrada por um oscilógrafo. Os sensores eram separados por distância vertical de 75 mm. Yasui e Johansen (58) empregaram dois sensores ópticos separados por distância vertical de 2.5 mm.

Park e outros (35) utilizaram em seus estudos um duplo sensor de eletroresistividade para estudar a condição local do borbulhamento em um leito fluidizado com condutividade pelas partículas de coque. Os sensores foram separados por uma distância vertical de 9,5 mm, sendo que o eletrodo da parede encontra-se a uma distância comum a ambos os sensores. Os sinais de amplitude maiores que 0.5 V foram considerados representativos de bolhas, e abaixo deste nível foram considerados ruídos.

Este método apresenta um problema significativo quanto ao desconhecimento da posição em que o sensor encontra a bolha. Uma colisão centralizadamente coaxial em uma bolha em ascensão é um evento extremamente raro, pois existe uma alta probabilidade de que qualquer bolha, que esteja posicionada randomicamente no espaço em torno do sensor seja golpeado pelo mesmo, não sendo necessariamente na posição central. Desta forma obtém-se um tempo pequeno, correspondente à corda da bolha, o que leva a uma velo-

cidade alta, incharacterística. Esta situação é verificada pela Figura 2.10. Sob essas condições os autores calcularam o tamanho das bolhas de forma irreal.

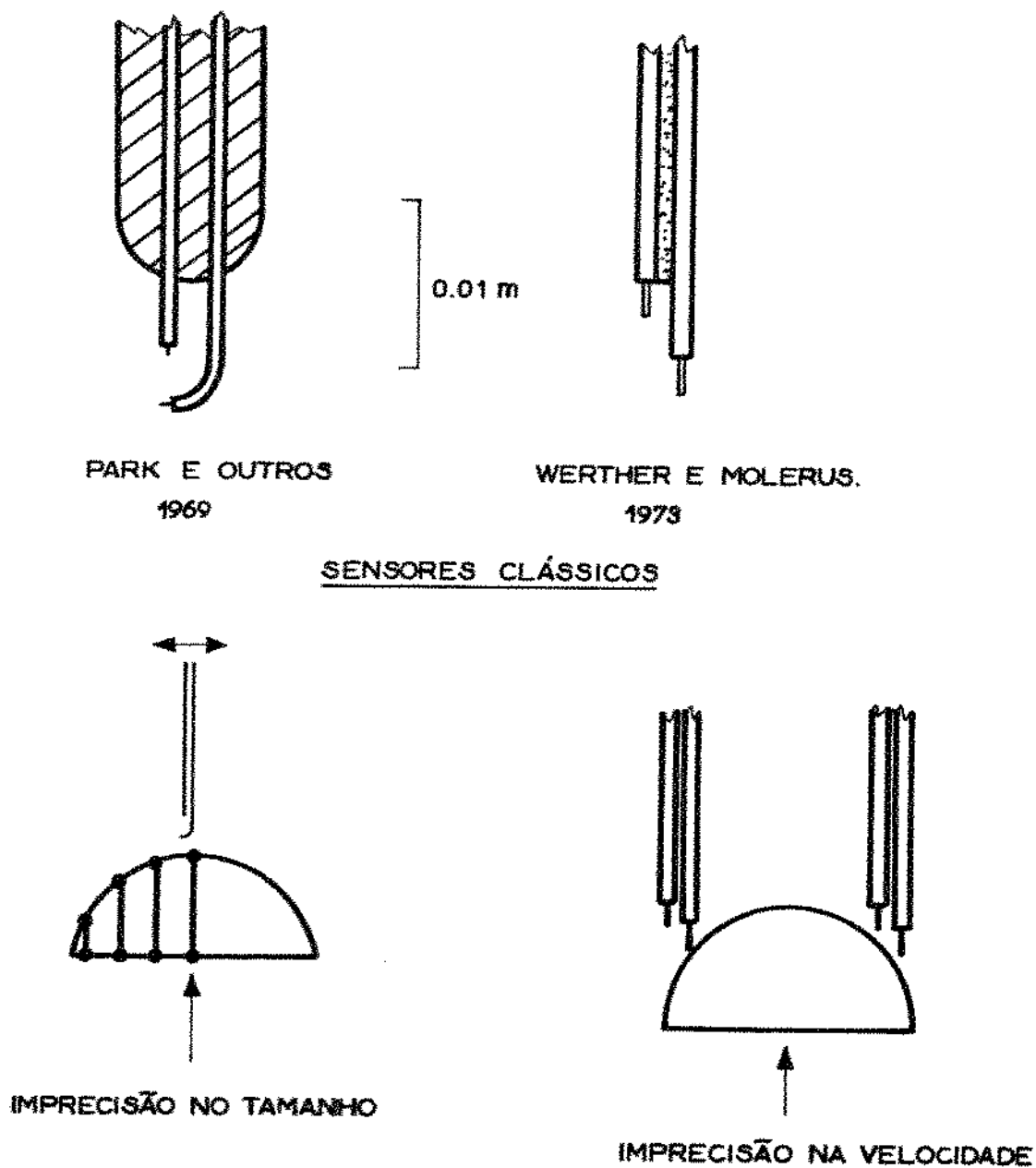


Figura 2.10

Werther e Molerus (56) usaram um sensor duplo de capacitância formado por agulhas de 0.4 mm de diâmetro e 2.8 mm de comprimento, como polo elétrico, e um tubo de metal circundante de 1.1 mm de diâmetro formando o outro polo.

Werther usou também dois sensores duplos de capacitância no mesmo nível horizontal para estudar a dimensão horizontal das bolhas.

Eles calcularam a velocidade da bolha através da correlação cruzada entre os sinais dos elementos do sensor duplo. O produto da velocidade pela duração do pulso médio permitiu calcular o tamanho médio das bolhas em um ponto dentro do leito.

Verifica-se através da Figura 2.10 que este sensor também apresenta o problema da colisão em posição não central, desta forma podendo relatar velocidade da bolha incorreta pois ainda existe o efeito da curvatura da bolha. Além disso, a velocidade e o tamanho médio das bolhas em um único ponto do leito não é suficiente para formulação de um modelo teórico, sendo assim descrito de forma incompleta.

Portanto, para cada bolha encontrada, a multiplicação da velocidade instantânea pela duração do pulso medido pelo sensor obtém a corda da bolha que passou pelo sensor. Este produto deve ser computado para cada encontro entre o sensor e a bolha presente na dispersão, antes do cálculo do tamanho médio das bolhas.

Desta forma, necessitou-se uma reavaliação na técnica de medição através de sensores, visando eliminar ambiguidades e

efetuar assim uma descrição completa e fidedigna das propriedades da dispersão.

Whitehead e Young (57), empregarem sensores formado por uma rede de 196 sensores de luz que incidem sobre um filme para estudar bolhas de diâmetro grande em leito fluidizado.

Burgess e Calderbank (05) usaram um sensor de resistividade composto, contendo cinco elementos conforme se verifica através da Figura 2.11. O sensor está ligado a um computador sob sistema "on-line" (Apendice C), sendo que somente bolhas simétricas e em movimento de ascensão são registradas.

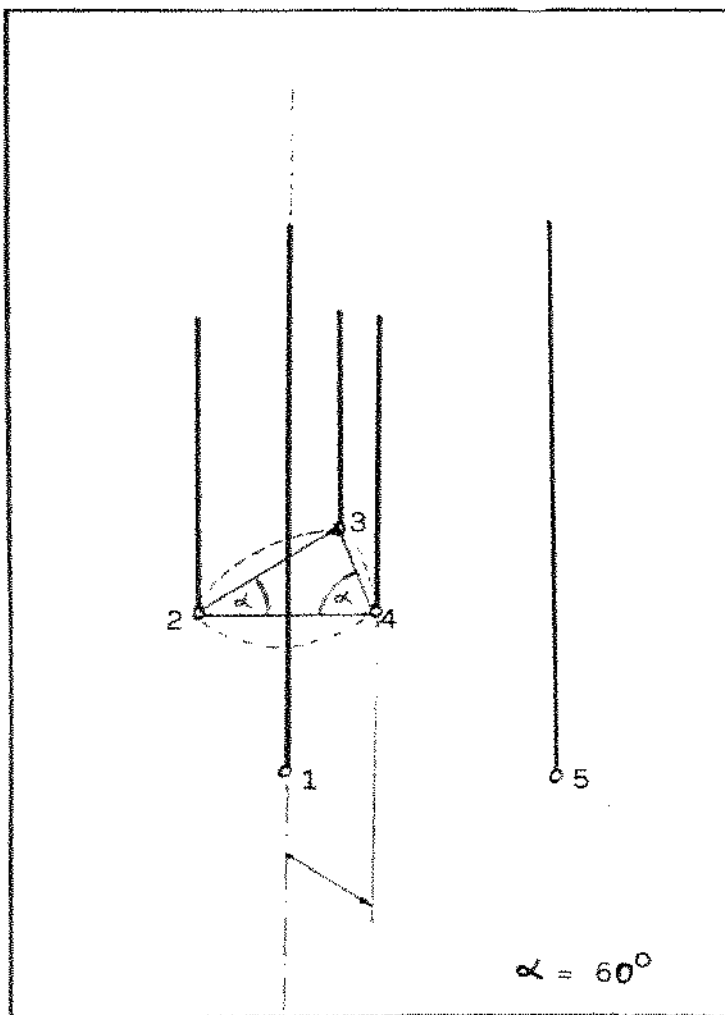


Figura 2.11

Pereira e Calderbank (37), empregaram um arranjo de cinco sensores ópticos, sendo que um sensor principal é simetricamente circundado por três sensores idênticos como mostra a Figura 2.12.

Os sensores ópticos detectam a passagem das bolhas através da mudança do índice de refração em suas extremidades.

Desta forma, quando se verifica um baixo índice de refração houve passagem de bolha.

Este arranjo de sensores pelos pesquisadores foi mergulhado em uma dispersão do tipo froth sobre prato perfurado de 6 polegadas de diâmetro.

Considera-se somente as bolhas que colidem com o arranjo de sensores de forma coaxial para que não haja ambiguidade na medição do comprimento máximo e velocidade das bolhas. Parâmetros estes que foram calculados através dos respectivos tempos bases de contato com a bolha.

Uma bolha é considerada de contato coaxial com o arranjo de sensores somente quando atinge de forma coincidente os 3 sensores idênticos, isto é, apresenta um atraso comum após o contato com o sensor principal.

A função do quinto sensor é de medir a posição e o comprimento de uma corda vertical, a uma distância conhecida da linha de centro, podendo-se assim deduzir a forma da bolha.

Todos os dados coletados pelos sensores são processados pelo computador que está conectado fisicamente aos sensores.

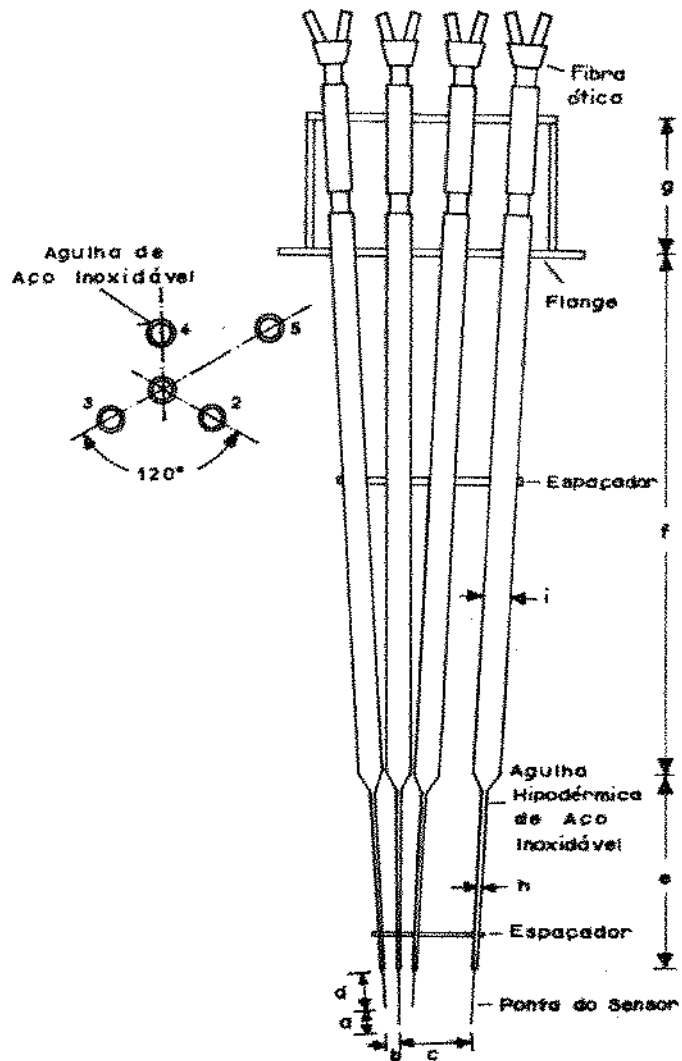


Figura 2.12 - Conjunto do sensor

$$a=0.293\text{cm}, b=0.103\text{cm}, c=0.495\text{cm}$$

$$d=1.421\text{cm}, e=8.0\text{cm}, f=24\text{cm}$$

$$g=5\text{cm}, h=0.079\text{cm}, i=0.398\text{cm}$$

Rowe e Masson (47) estudaram as bolhas em leito fluidizado através do uso de sensores e dos raios X, simultaneamente. O sensor utilizado é óptico com discriminação de sinais pelo método de Werther (56).

A primeira crítica levantada por Rowe e Masson (47) aborda sobre o método de discriminação entre sinais de bolha e sobreposição de ruídos.

A segunda crítica refere-se à superfície da bolha que é considerada horizontal, no ponto de impacto com o sensor, ou seja, plano uniforme.

A terceira crítica envolve o efeito do sensor sobre as propriedades da bolha. Devido a isso os sensores tem sido feitos de tamanho pequeno para minimizar as interferências com o fluxo de bolhas. Apesar da ponta do sensor ser pequena, a estrutura de sustentação deve ter resistência suficiente para manter a posição do sensor constante. Assim o sensor delgado é conectado a um dispositivo suficientemente resistente para manter o sensor na posição anterior ao impacto com as bolhas.

Gunn e Al-Dori (18) compararam as velocidades e dimensões de bolhas em leito fluidizado medidas através de um sensor duplo de condutividade elétrica e pelo método de filmagem. Ressalta-se que as leituras foram feitas em um mesmo ponto do leito a vários tempos em ambos os métodos. Verificaram assim que os dados obtidos nos dois métodos estavam bem ajustados entre si somente quando as condições de medida através do sensor elétrico eram estruturadas para excluir sinais falsos, considerar os efeitos de retardação e distorção das bolhas, e permitir incidência estatística entre a bolha e o sensor.

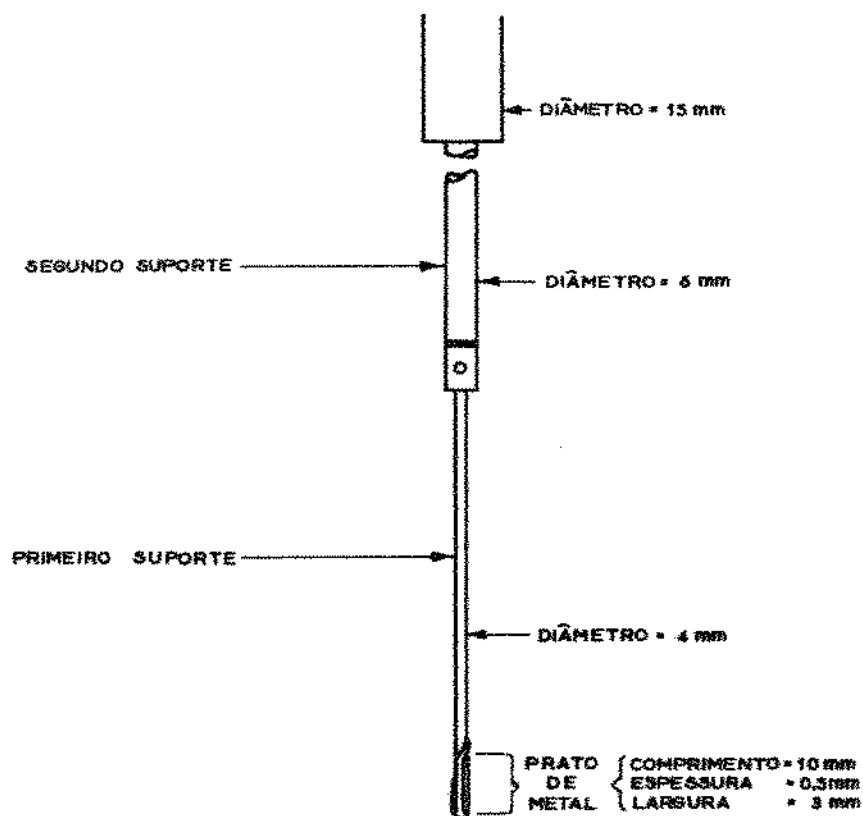


Figura 2.13

Kataoka, Ishi e Serizawa (23) estudaram os métodos de medição visando a obtenção da concentração da área interfacial. Propuseram um método baseado na aquisição de dados, através do qual a concentração da área interfacial poderia se medido de forma exata. Este método é baseado na leitura efetuada por conjunto de três sensores duplos, dispostos conforme a Figura 2.14. Os pesquisadores estudaram também o método utilizando um único sensor duplo sob vários aspectos estatísticos. Obtiveram através dos dados experimentais, a velocidade interfacial e o perfil radial da concentração da área interfacial. Os resultados indicam que a concentração local da área interfacial tem um valor pico próximo a parede do tubo quando o fluxo é bolbulhante.

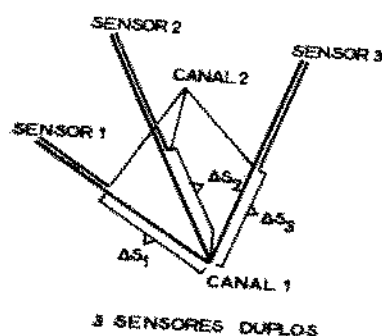


Figura 2.14

Capitulo 3

3.1 - INTRODUÇÃO

Encontra-se até a década de 60 uma grande quantidade de trabalhos envolvendo o estudo das propriedades de uma única bolha que sobe verticalmente através do líquido. Até então a extensão para o leito de borbulhamento livre era experimentalmente difícil, pois a distribuição do tamanho e velocidade das bolhas eram desconhecidos. Uma das técnicas utilizadas no estudo de uma única bolha foi a fotografia de raio X, desenvolvido por Rowe e outros (46,47) em 1965. Verifica-se então que a técnica de uso dos sensores tem-se desenvolvido essencialmente para medir propriedades das bolhas dentro de um leito borbulhante livre.

Park e outros (35) e Rigby e outros (44) desenvolveram um sensor de resistividade para examinar o estado de fluidização de duas a três fases do leito fluidizado. Burgess e Calderbank (05) desenvolveram uma mistura de sensores condutivos que aperfeiçoou grandemente a medida da bolha na água. Pereira e Calderbank (37) desenvolveram um sensor óptico que permitiu medir propriedades da bolha em líquido orgânico borbulhante sobre prato perfurado.

Neste capítulo descreve-se a técnica do sensor de condutividade elétrica aplicada ao sistema ar-água sobre prato perfurado sem vertedor, visando o desenvolvimento de técnicas computacionais de aquisição de dados utilizando um microcomputador da linha APPLE II.

3.2 - PROJETO DO SENSOR

Neste trabalho, utiliza-se um arranjo de sensores formado por duas agulhas hipodérmicas de dimensões 120 x 100 mm soldadas lateralmente como mostra Figura 3.1. As agulhas são de aço inoxidável e tem essencialmente a função de suporte mecânico.

Fios de níquel com revestimento de Teflon e com a ponta descascada passam por dentro das agulhas formando-se o arranjo de sensores, tal que cada contato forme um circuito elétrico. Este circuito é proveniente de uma fonte externa de corrente contínua.

A distância vertical b , referente à distância entre a ponta dos dois sensores, é medida rigorosamente com um catetômetro. Este arranjo está preso a uma haste de alumínio mais resistente, como mostra a Figura 3.2, devido ao movimento vigoroso da dispersão turbulenta gás-líquido mostrada anteriormente pela Figura 2.3.

Verifica-se que para o sensor ser eficiente deve ser capaz de detectar corretamente o instante em que sua ponta contacta a bolha, ou seja, a mudança entre as fases gasosa e líquida. Essa mudança de fase é reconhecida pela variação de voltagem detectada pelo microcomputador em "on-line" (Apêndice C), que recebe os sinais dos dois sensores que estão em comunicação direta através da placa analógico-digital (Apêndice D).

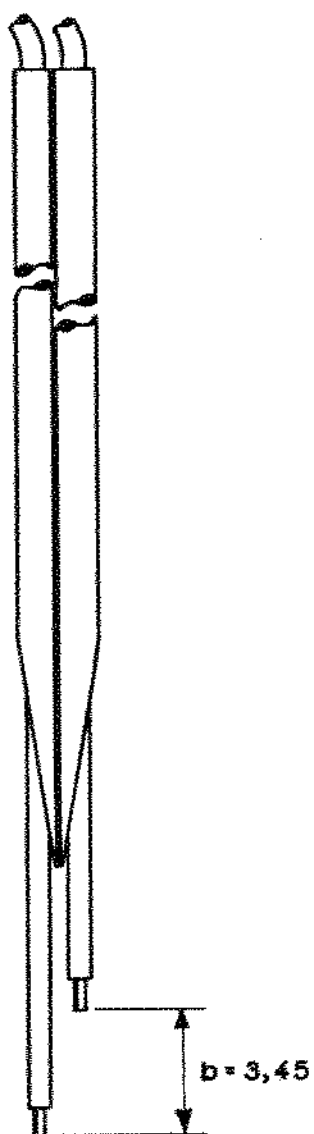


Figura 3.1 - duas agulhas soldadas lateralmente com
fios de níquel que passam no interior
 $b = 3.45$ mm

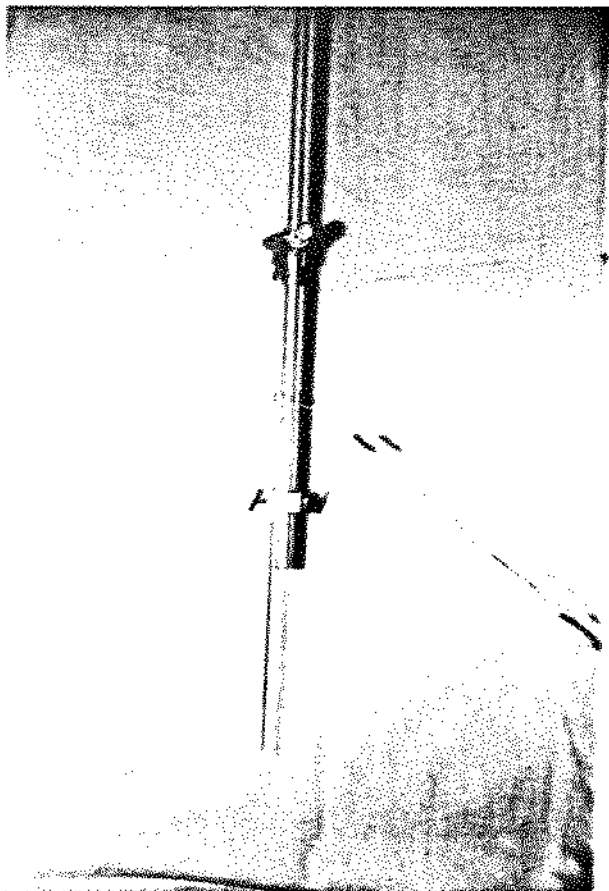


Figura 3.2 - haste de alumínio

3.3 - ANÁLISE DOS PULSOS GERADOS

3.3.1 - Análise de um único pulso

Para um melhor esclarecimento sobre o tipo de pulso obtido em um dos canais, considera-se primeiramente a situação ideal onde ocorre a aproximação de uma única bolha do aglomerado existente na dispersão subindo verticalmente. A bolha contacta coaxialmente o arranjo de sensores, conforme mostra a Figura 3.3.

Como o princípio da amostragem é a detecção das voltagens, isto é, detecção da passagem de corrente elétrica através da dispersão, verifica-se através da Figura 3.4 a necessidade de um eletrodo mergulhado na dispersão para estabelecer o contato elétrico. Este fio de cobre (diâmetro = 4 mm) tem contato permanente com a dispersão gás-líquido, posicionado próximo a parede da coluna. Para estabelecer corrente utiliza-se uma fonte de alimentação, conforme citado no item 3.2.

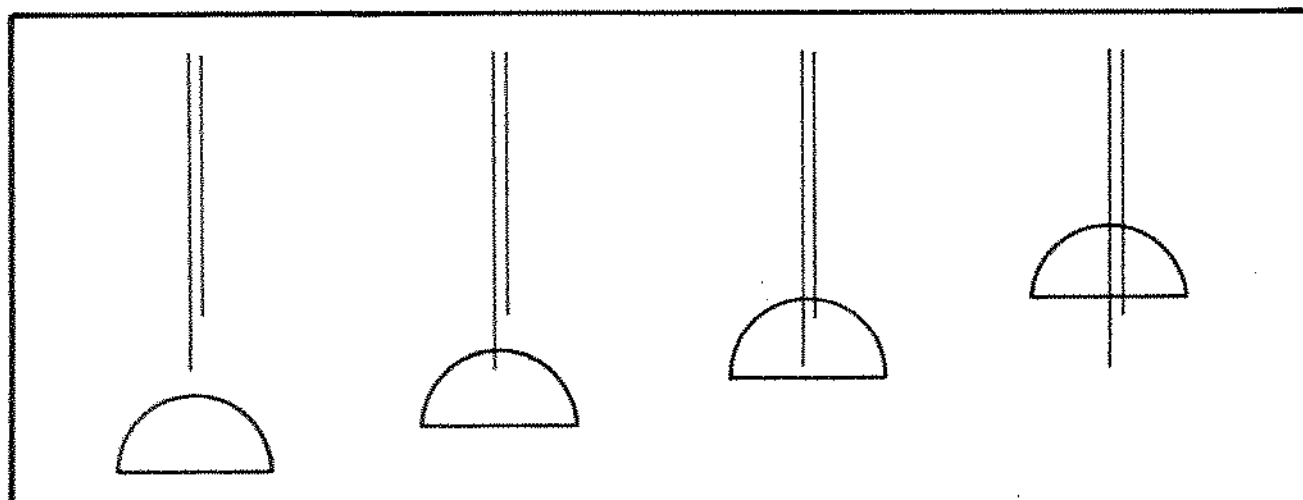


Figura 3.3

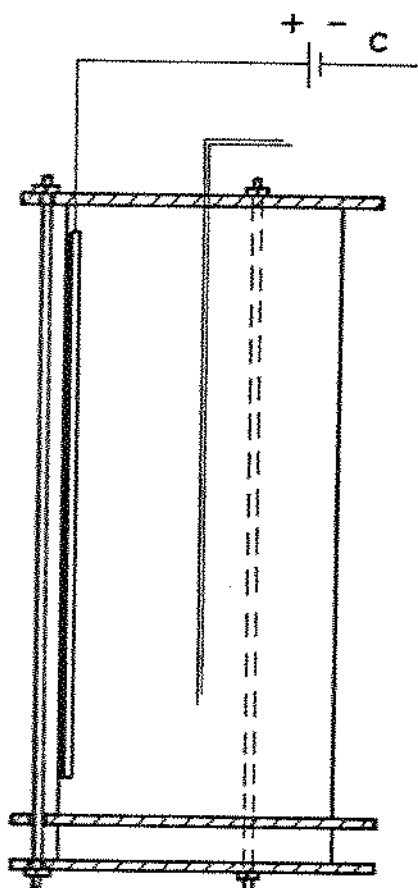


Figura 3.4

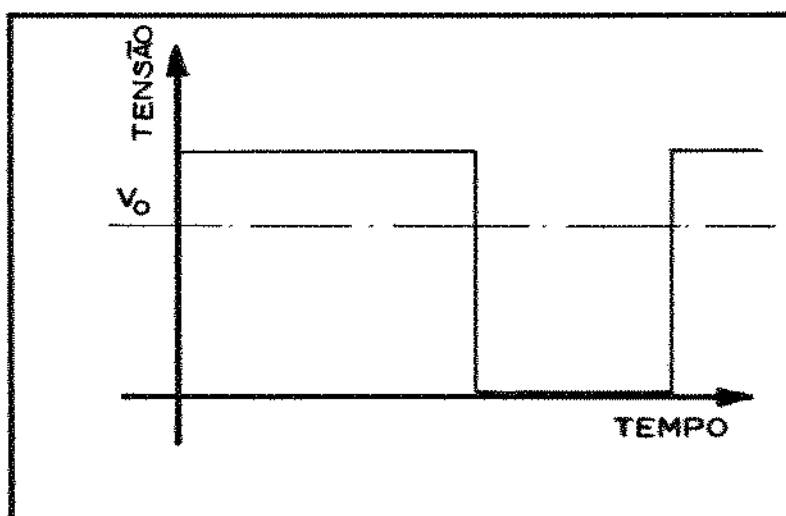


Figura 3.5

A voltagem é máxima (5V), quando a ponta do sensor permanece na fase líquida e conseqüentemente mínima (0V), quando residente na fase gasosa.

A Figura 3.5 mostra um pulso ideal, onde a forma quadrada não está considerando o tempo finito necessário para a voltagem baixar de um máximo até o nível de voltagem V_0 , previamente discriminado, onde $V_{\min} < V_0 < V_{\max}$

3.3.2 - Forma e sequência de pulsos

Novamente, considera-se uma única bolha subindo na direção vertical contactando os sensores de forma coaxial, conforme a Figura 3.6

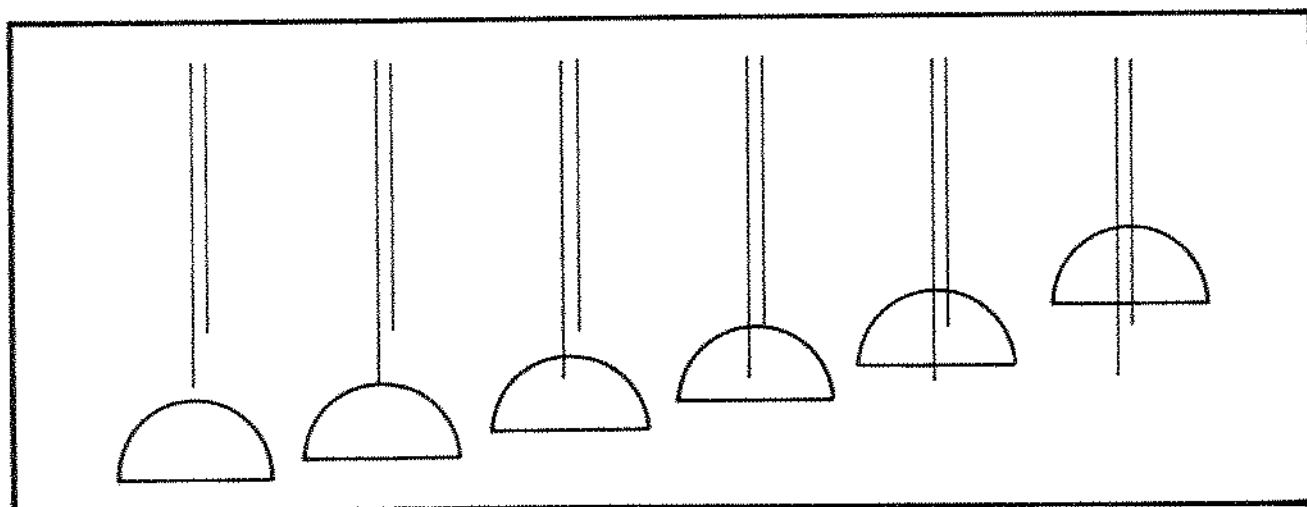


Figura 3.6

Verifica-se através da esquematização, que os dois sensores estão representados por duas linhas distanciadas verticalmente. A bolha contacta primeiramente o sensor 00 e posteriormente o sensor 01, obtendo-se desta forma uma sequência de pulsos, conforme a Figura 3.7

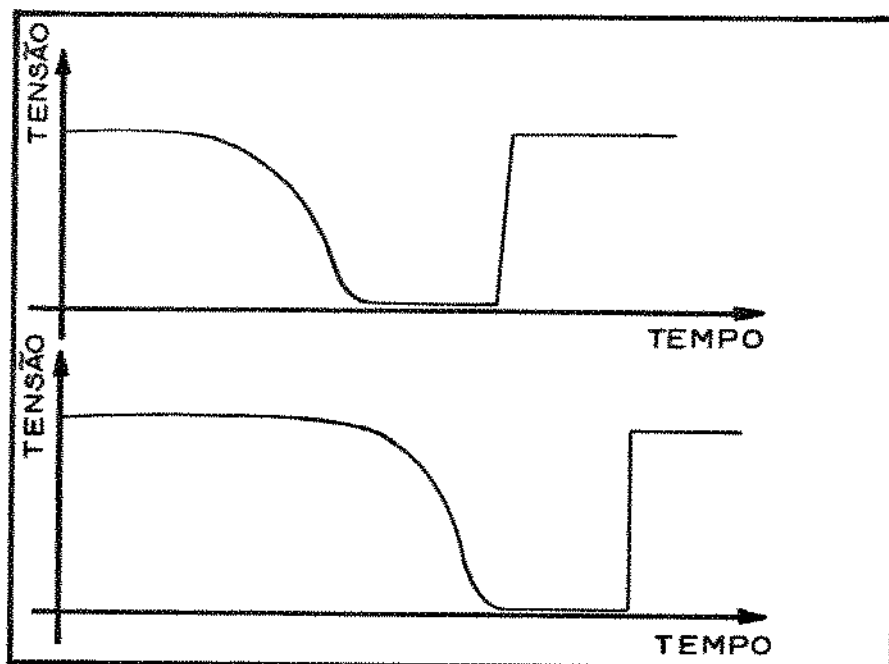


Figura 3.7

Para o início da análise da sequência de pulsos, o computador lógico primeiramente examina a representação digital binária instantânea dos canais de entrada. A decisão da fase em que o sensor se encontra em determinado momento é efetuada pela comparação lógica entre o valor da medida da voltagem e a constante V_0 , definida anteriormente.

Considerando-se que a amostragem efetuada pelo sensor é de forma contínua, obtém-se a seguinte sequência de análise para a voltagem.

1º) $V_1 > V_0$ e $V_2 > V_0$, indicando a permanência dos canais 00 e 01 em líquido.

2º) Os contadores de tempo CTV e CTD são ativados quando V_1 menor ou igual a V_0 , indicando que a interface da bolha envolve a ponta do sensor 00.

3º) CTD permanece ativado até que $V_1 > V_0$ novamente, enquanto que CTV será desativado somente quando a leitura no sensor 01 seja $V_2 > V_0$, indicando assim que a interface da bolha envolveu a ponta do sensor 01.

Estes contadores para o cálculo do tempo (CTV e CTD) são utilizados pelo programa desenvolvido neste trabalho (item 3.5).

Devida a rápida amostragem (em torno de microsegundos) associada com os sensores de saída e armazenagem sequencial na forma digital binária, obtém-se um gráfico exato representativo das leituras dos dois canais de sensores que detectam bolhas dentro do sistema ar-água.

Através do programa GRDU6502 (Apêndice B), verifica-se que os sinais de saída captados pelo arranjo de sensores imerso dentro da dispersão são extremamente distorcidos por ruídos comparados com o caso ideal, onde uma única bolha sobe atingindo coaxialmente o conjunto de sensores. A Figura 3.8 mostra a representação simultânea da variação da voltagem nos dois sensores de saída com o tempo, durante 100 milissegundos. O arranjo dos sensores está imerso dentro de uma dispersão ar-água em regime "froth" (item 2.2.2).

A forma da curva é causada pelo filme de líquido retido em torno da ponta dos sensores e sobre o Teflon que cobre o fio de níquel.

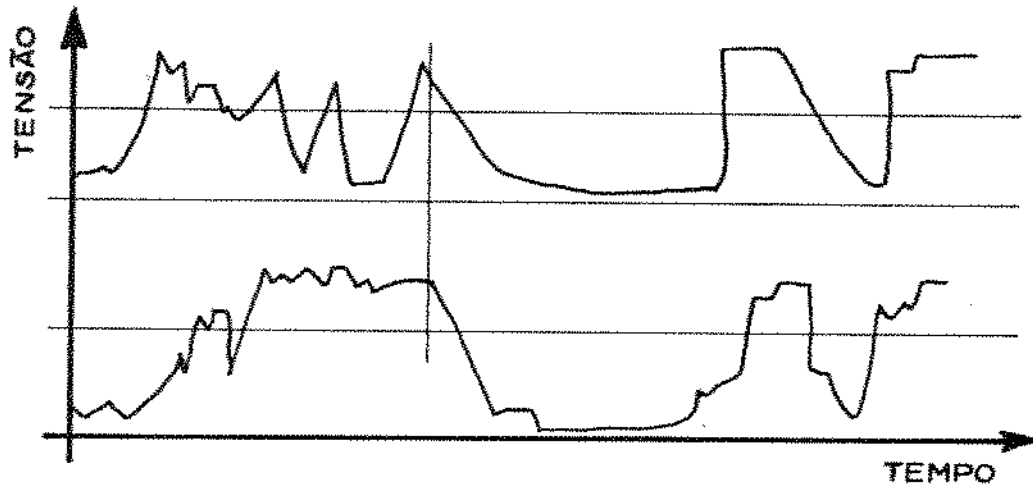


Figura 3.8

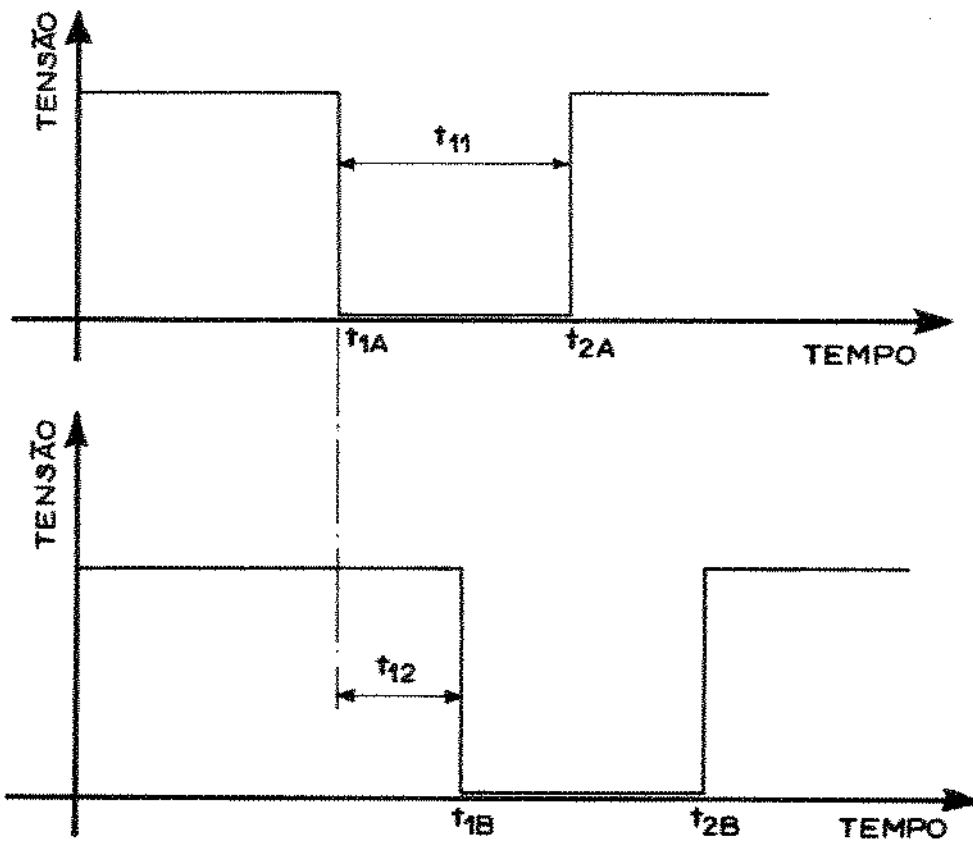


Figure 3.9

3.4 - PARAMETROS DA BOLHA

3.4.1 - Velocidade de subida da bolha

O tempo de duração de um pulso reporta o tempo que uma dada bolha rodeia o sensor; então, para cada bolha interceptada pelo arranjo de sensores, a velocidade instantânea é calculada da seguinte forma:

Considerando-se a Figura 3.9 verifica-se que

$$V = \frac{E}{t_{12}}$$

Equação 3.1

onde:

V....velocidade instantânea

E....distância vertical entre os dois sensores

t₁₂....tempo de atraso

O tempo t₁₂ é o intervalo necessário para bolha atingir o sensor 01 depois de contactado o sensor 00.

t_{1A}....instante em que a bolha incide o sensor 00

t_{2A}....instante em que a bolha sai do sensor 00

t_{1B}....instante em que a bolha incide no sensor 01

t_{2B}....instante em que a bolha sai do sensor 01

A velocidade média das bolhas é calculada através da equação 3.2

$$V_m = \frac{\sum_{i=1}^N V(i)}{N}$$

Equação 3.2

onde:

V_m ...velocidade média

V ...velocidade instantânea

N ...número de bolhas

3.4.2 - Dimensões das Bolhas

Observa-se que o arranjo de sensores contacta a bolha de forma aleatória, isto é, não é assegurado que o contato seja central. Logo, a velocidade instantânea e a duração do pulso medido pelo sensores fornecem um determinado tamanho que não é necessariamente a medida do diâmetro da bolha.

Considerando-se novamente a Figura 3.9 tem-se que:

$$D = V \cdot t_{11}$$

Equação 3.3

onde:

D ...diâmetro suposto da bolha

V ...velocidade instantânea

t_{11} ..tempo para passagem da bolha em um sensor

Desta forma, uma das maneiras de calcular a dimensão média das bolhas, considerando-se as limitações do modelo, é da seguinte forma:

$$D_m = b \cdot \left[\frac{t_{11}^{(1)}}{t_{12}^{(1)}} + \frac{t_{11}^{(2)}}{t_{12}^{(2)}} + \dots + \frac{t_{11}^{(N)}}{t_{12}^{(N)}} \right] \cdot \frac{1}{N}$$

$$D_m = b \cdot \left[\frac{\sum_{i=1}^N \frac{E}{t_{12}^{(i)}} t_{11}^{(i)}}{N} \right]$$

onde:

D_m diâmetro médio para um dado número de bolhas

b distância entre os sensores

3.5 - PROGRAMAS

Para a coleta e processamento de dados é necessário a utilização de um microcomputador, optando-se desta forma pelo microcomputador padrão APPLE II, devida as suas características tais como: arquitetura aberta, expansibilidade, grande quantidade e variedade de placas de expansão (Apêndice D) e periféricos. Embora o APPLE II já tenha sido superado por equipamentos mais sofisticados, ele é ainda o que oferece a melhor relação custo-benefício para o usuário que trabalha com outros sistemas operacionais ou desenvolvem aplicações em diversas linguagens.

3.5.1 - Análise de possíveis situações

Para o desenvolvimento de software no cálculo da velocidade instantânea e comprimento da bolha são consideradas duas situações que são previstas e descartadas para uma medição correta.

Analizando-se a Figura 3.10, verifica-se as situações que envolvem duas ou mais bolhas simultaneamente, pois apresentam uma leitura falsa para aquisição de dados.

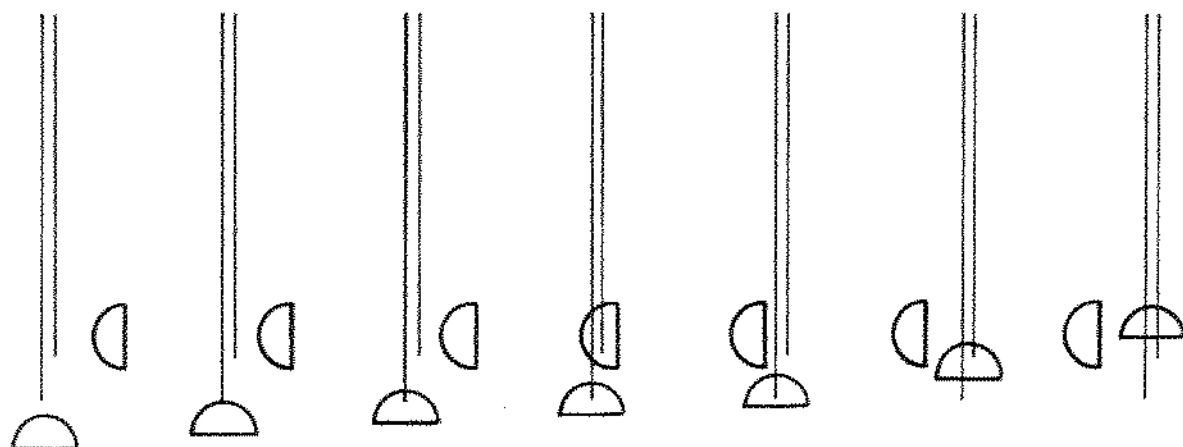


Figure 3.10.a

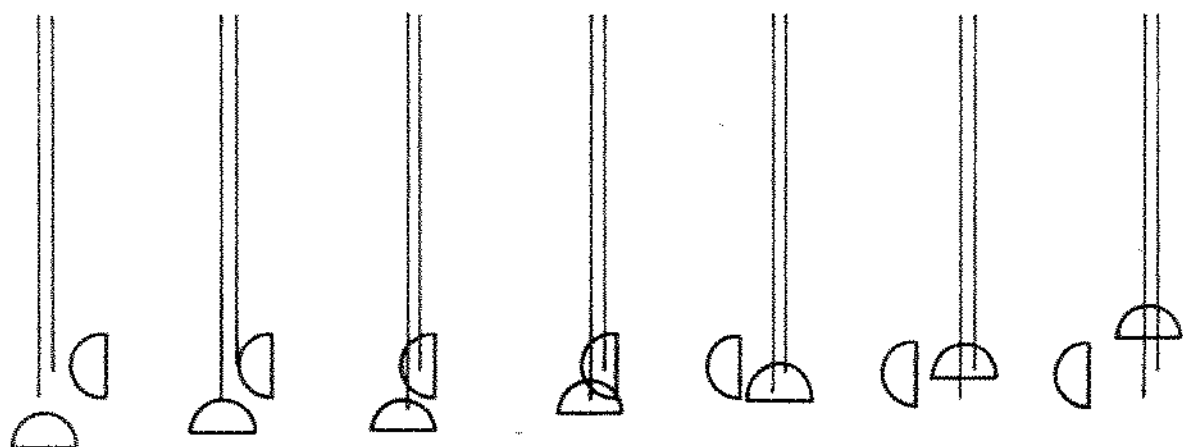


Figure 3.10.b

A Figura 3.10.a apresenta a situação em que duas bolhas contactam o sensor de forma inconveniente. Considerando-se o canal 00 e 01 tem-se a seguinte sequência: Líquido-Líquido, Gás-Líquido, Gás-Gás, Gás-Líquido, Líquido-Gás, Líquido-Líquido.

Como são consideradas somente situações em que uma única bolha com movimento ascendente contacta o sensor, a sequência apresentada não pode ocorrer a não ser que exista mais de uma bolha.

A Figura 3.10.b apresenta outra situação em que duas bolhas contactam o sensor. A sequência para contato bolha-sensor é apresentada primeiramente para o canal 00 seguido pelo canal 01. Sendo assim tem-se: Líquido-Líquido, Gás-Gás, Líquido-Gás, Líquido-Líquido. Verifica-se assim que as duas bolhas atingem simultaneamente os canais 00 e 01 fornecendo desta forma uma falsa leitura.

A forma utilizada para solucionar as situações indicadas pela Figura 3.10 é o uso das flags G2 e G3, conforme fluxograma.

Para a solução da situação da Figura 3.10.a utiliza-se a flag G2 que opera da seguinte forma: enquanto $G2=0$ o sensor 00 está dentro da bolha e o sensor 01 não esteve nenhuma vez dentro do gás durante esta execução do programa, então se $G2=1$ significa que o sensor 00 está em gás e o sensor 01 está ou já esteve em gás. Desta forma, se o sensor 01 voltar em líquido o programa é reiniciado.

A flaq C3 soluciona a situação da Figura 3.10.b, onde é assegurado que pelo menos uma vez tem-se a situação onde o sensor 00 é gás e o sensor 01 é líquido. Portanto, quando o sensor 00 é gás e o sensor 01 também, verifica-se se o sensor 01 já esteve em líquido, se não o programa é reiniciado.

3.5.2 - Programas para aquisição de dados

Nesta seção efetua-se a explanação sobre os programas desenvolvidos neste trabalho. Basicamente elaborou-se dois programas: DIAVEL.COM, CALVDMED.BAS.

DIAVEL.COM é um programa de temporização da passagem das bolhas.

CALVDMED.BAS capta dados do arquivo Files.dat e constrói um histograma referente a distribuição das bolhas segundo seu tamanho.

A - Programa DIAVEL.COM

O programa DIAVEL.COM é elaborado para que forneça contadores que permitam o cálculo do tempo em que a bolha permanece em contato com o sensor 00, e o tempo para que a bolha contacte o sensor 01.

O diagrama de blocos representado pela Figura 3.11 apresenta a sequência lógica do programa em questão.

Primeiramente define-se todas as constantes e endereços que serão utilizados no decorrer do programa.

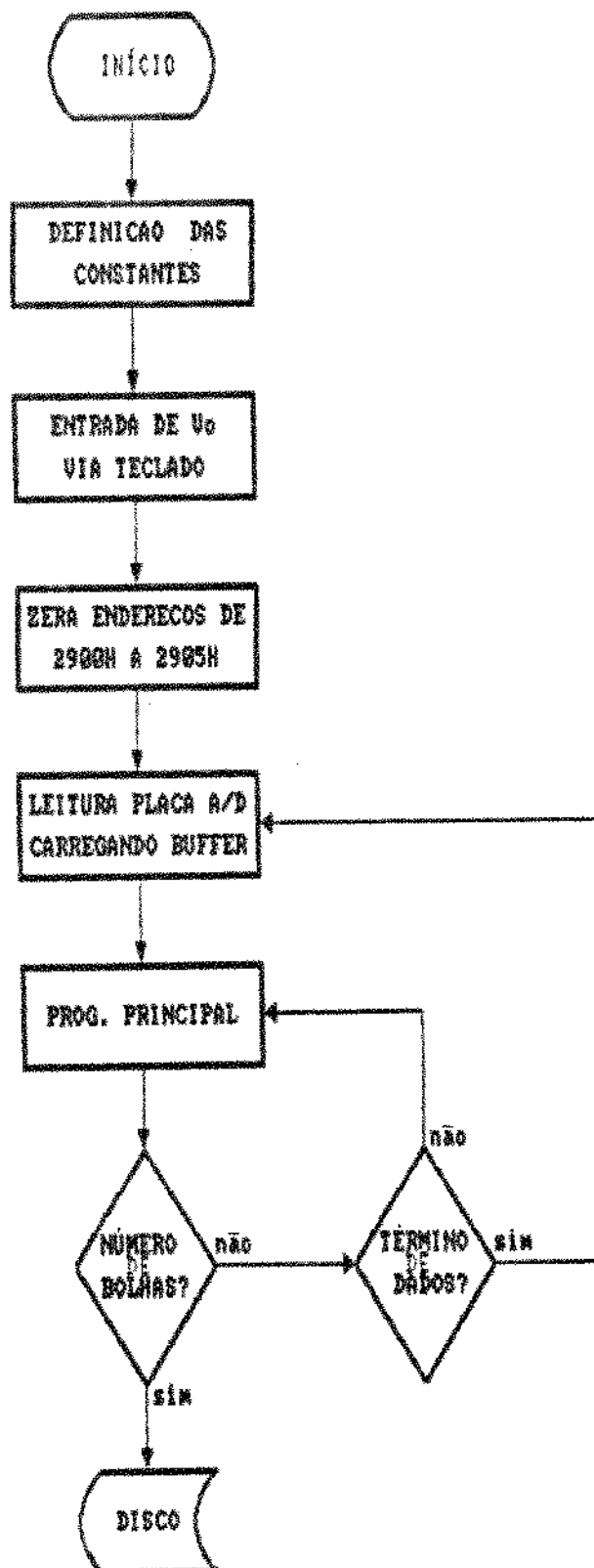
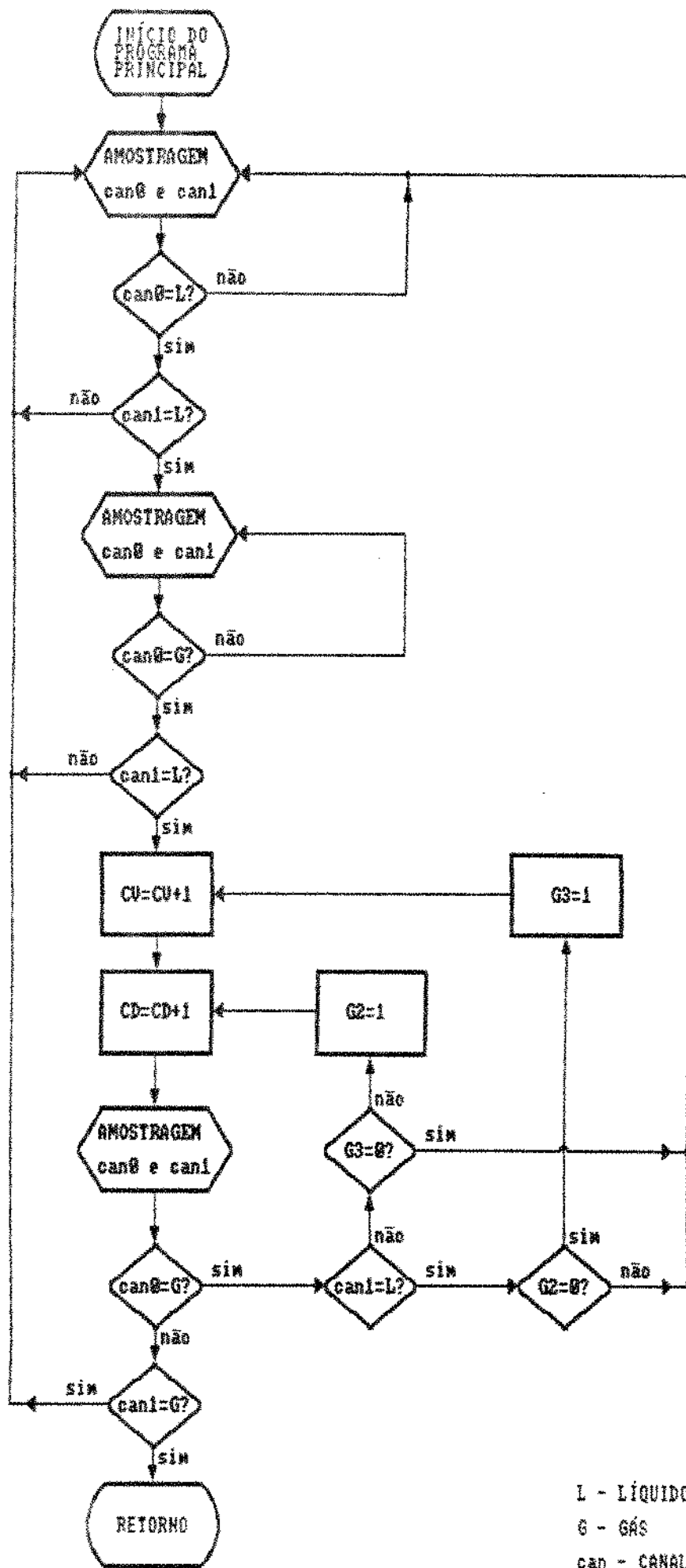


Figura 3.11 - Diagrama do Programa DIABEL. COM



O endereço 2000h é escolhido aleatoriamente, dentro da faixa disponível de à na memória do microcomputador para que seja o endereço inicial do programa. Uma vez definido os endereços a serem utilizados, assegura-se que nos endereços 2908H à 290CH estão carregados com zeros, inclusive a FCB. Como alguns dados são arquivados, reserva-se um bloco de 128 bytes que será usado para guardar todas as transferências do disco.

Para efetivação da transferência em disco há necessidade de criar um arquivo de dados. Desta forma, as instruções para abertura do arquivo de dados são executadas antes de dar início as leituras dos canais, sendo posteriormente seguida da subrotina para zerar o buffer.

A subrotina INTRO (Apêndice E) é chamada para introduzir-se no registrador E o valor da constante V_0 . Este dado é digitado via teclado na forma decimal, sendo convertido para forma hexadecimal pela própria subrotina.

Uma vez carregado o registrador E, executa-se por várias vezes a leitura dos sensores preenchendo-se assim o buffer. Este carregamento é efetuado através da subrotina VAI, que por sua vez utiliza-se das subrotinas ANADIGO e ANADIG1 para leitura dos canais 00 e 01. Todos os dados são armazenados sem critério de escolha até que o buffer esteja preenchido. O carregamento sempre obedece a mesma ordem de estocagem, primeiro o valor lido pelo canal 00 seguido posteriormente pelo valor do canal 01.

Antes de dar propriamente início ao programa principal é necessário assegurar que nos endereços 2900H à 2905H, ou seja, no endereço do contador para velocidade, diâmetro e número de bolhas, estejam com zeros. Então inicia-se o programa principal que tem label "START"; coloca-se zero no acumulador para que depois disto, sejam zeradas as flags G2 e G3.

Chama-se a subrotina CAM1 que por sua vez chama a subrotina LEBUFF, que retornará o valor lido pelo sensor 00. Dentro da subrotina LEBUFF, verifica-se se ainda existe valor a ser lido no buffer, caso não exista ativa-se a subrotina VAI. Este valor lido é comparado com o valor V_0 , que está guardado no registrador E. Caso o valor lido V seja menor que V_0 , indica que o sensor 00 está em gás, voltando o programa para a label "START".

Caso o sensor 00 esteja em líquido lê-se o sensor 01 e compara-se com V_0 . Se o sensor 01 também estiver em líquido passa-se para a fase de espera da bolha.

A bolha esperada é aquela que toca primeiramente o sensor 00 depois o sensor 01, ou seja, são todas as bolhas que se movimentam verticalmente de baixo para cima e tenham dimensões maiores que "b" devido o princípio experimental empregado neste trabalho.

No momento que o sensor 00 é atingido pela bolha, ativa-se as subrotinas INCVE e INCDI. A subrotina INCVE utiliza-se de CTV, endereço 2900H, para incrementar um contador que será posteriormente usado no cálculo da velocidade média das bolhas. Da mesma forma, a subrotina INCDI utiliza-se de CTD, endereço 2902H, para incrementar o contador que será usado no cálculo do diâmetro médio de Sauter.



Lê-se novamente o canal C0, compara-se com o conteúdo do registrador E, e se for menor efetua-se a leitura do sensor O1. Se o segundo canal não está em líquido, verifica-se se a flag G3 é diferente de zero. Quando G3 é diferente de zero, define-se G2 com o valor O1, retornando para label LOOP2, para que CTD seja novamente incrementado. Se G3=00 reinicia-se o programa.

O programa só é executado quando as leituras nos sensores D0 e D1 obedecerem à seguinte sequência de leitura: líquido-líquido, gás-líquido, gás-gás, líquido-gás, líquido-líquido, respectivamente.

Caso o sensor O1 esteja em líquido e G2 seja igual a zero define-se G3 com o valor igual a um, retornando para a label "LOOP2" para incrementar CTV. Esta situação refere-se a seguinte sequência: líquido-líquido, gás-líquido, gás-gás, gás-líquido, com a apresentação respectiva dos canais D0 e D1 (Figura 3.10.a).

Este loop é repetido até que a bolha atinja o sensor O1, ou seja, com o valor contido no contador CTV e o conhecimento do número de estados multiplicado pelo tempo do ciclo, estabelece-se o tempo gasto para que a bolha percorra a distância "b" indica pela figura 3.1, comprimento este que se refere a distância da ponta do sensor D0 até a ponta do sensor O1.

Se G2 é diferente de zero reinicia-se o programa, voltando para "label" START, como foi justificado anteriormente no sub item 3.5.1

Esta sequência do diagrama de blocos é executada tantas vezes quantas forem o número de bolhas pré-determinado para amos-

tagem. Desta forma, para cada bolha amostrada armazena-se dois contadores CTV e CTD, que formam o arquivo "FILES.DAT".

B - PROGRAMA CALVDMED.BAS

Uma vez terminada a montagem do arquivo "Files.dat", o programa CALVDMED.BAS processa os dados, formando posteriormente o arquivo ARQ.DAT. Neste arquivo são armazenados a velocidade e o diâmetro médio. Este arquivo é composto de um histograma formado por 100 (cem) intervalos dispostos em ordem crescente do diâmetro médio das bolhas.

No início deste programa, introduz-se a distância exata entre os sensores, a velocidade superficial do gás e a razão dos intervalos. Uma vez digitados essas constantes, abre-se o arquivo "Files.dat", onde serão lidos os conteúdos dos contadores CTV e CTD. Inicialmente, lê-se o primeiro conjunto de dados referente a primeira bolha. Como os dados contidos no arquivo "Files.dat" estão na forma hexadecimal desenvolveu-se uma subrotina para efetuar a transformação hexadecimal para decimal.

Esta transformação é necessária, pois o programa está escrito em linguagem BASIC, o que exige a forma decimal para utilização.

O cálculo do tempo t_{11} é efetuado pela multiplicação do contador CTV pelo número de estados e pelo tempo de cada estado. O tempo t_{12} é resultado da multiplicação do contador CTD pelo número de estados e pelo tempo de cada estado.

Utilizando-se as equações 3.1 e 3.3 obtém-se as velocidades instantânea e o comprimento da corda de cada bolha, posteriormente calcula-se o intervalo genérico I_a que pertence este conjunto de dados da bolha.

```

;*****
;*** Programa: obtenção do tempo          ***
;*** Programador: M.K.Kobayashi         ***
;*** Sistema: Processador Z80           ***
;*** Linguagem: Assembler 8080        ***
;*****

```

```

; Este programa obtem:
; 1 - Tempo necessário para passagem de uma
;     bolha entre dois sensores
; 2 - Tempo necessário para passagem de uma
;     bolha em um único sensor

```

```

;***Definição das constantes e endereços***

```

```

2900 =      CTV   EQU  2900H ;Endereço do contador-velocidade
2902 =      CTD   EQU  2902H ;Endereço do contador-diâmetro
0064 =      NBLH  EQU  0064H ;Limite do número de bolhas
F300 =      AM0   EQU  0F300H;Endereço de leitura do canal 00
F301 =      AM1   EQU  0F301H;Endereço de leitura do canal 01
F3D0 =      L6502 EQU  0F3D0H;Endereço da subrotina em 6502
F3DE =      LZ80  EQU  0F3DEH;Endereço da placa A/D
2904 =      CONT  EQU  2904H ;Contador de bolhas
0000 =      ZERO  EQU  0000H ;Definição da constante zero
0007 =      MAX1  EQU  0007H ;Limite para o preencher o buffer
0020 =      MAX2  EQU  0020H ;Número de vezes para gravação
2906 =      XCONT EQU  2906H ;Endereço para o caracter
2908 =      INCX1 EQU  2908H ;End.do contador preenche buffer
290A =      INCX2 EQU  290AH ;End.do contador de parada
290C =      G2    EQU  290CH ;Endereço da Flag
290E =      G3    EQU  290EH ;Endereço da Flag
290D =      VD    EQU  290DH ;Endereço da voltagem digital
3000 =      ENDER EQU  3000H ;Endereço inicial do buffer de
                        16 K para leitura
0040 =      BLOCOS EQU 0040H ;Ns de blocos que serão gravados
2910 =      CONTX EQU  2910H ;Endereço do contador de leitura
                        do buffer

```

```

2000          ORG 2000H      ;Endereço inicial do programa
2000 214126   PROG: LXI     H,BUFF
2003 220629   SHLD    XCONT
2006 CD5527   CALL    ZERFCB
2009 210829   LXI     H,2908H ;Conteúdo dos end.2908H,2909H
200C 3600     MVI     M,ZERO  ;290AH,290BH,290CH,estão sendo
200E 23      INX     H        ;zerados
200F 3600     MVI     M,ZERO
2011 23      INX     H
2012 3600     MVI     M,ZERO
2014 23      INX     H
2015 3600     MVI     M,ZERO
2017 23      INX     H

```

```

2018 3600      MVI    M,ZERO
201A 23        INX    H
201B 3600      MVI    M,ZERO
201D 23        INX    H
201E 3600      MVI    M,ZERO
2020 23        INX    H
2021 3600      MVI    M,ZERO
2023 23        INX    H
2024 3600      MVI    M,ZERO

```

;Coloca endereço no DMA

;usado para seleccionar o bloco de memória de 128 bytes que usa
;do para guardar todas as transferências do disco

```

2026 0E1A      ABERT  MVI    C,001AH
2028 114126    LXI    D,BUFF
202B CD0500    CALL  0005H

```

;Eliminação de arquivos

;troca uma flag na entrada do diretório para o arquivo apontado
;pelo FCB, de forma que o CPM não o reconhece como um arquivo
;válido

```

202E 0E13      MVI    C,0013H
2030 111526    LXI    D,ARQU
2033 CD0500    CALL  0005H

```

;Geração de um arquivo

;cria um novo arquivo com a informação indicada pelo FCB
;esta função também executa as funções necessárias para abertura de
;arquivo

```

2036 0E16      MVI    C,16H      ;16H é a função para criar arquivo
2038 111526    LXI    D,ARQU    ;cujo nome está em ARQ
203B CD0500    CALL  0005H

203E CD4127    CALL  ZERBUFF    ;chama subrotina ZERBUFF

2041 CD1D24    CALL  INTRO      ;chama subrotina para introdução
                ;de Vo via teclado

2044 C35125    JMP    VAI

2047 CD0024    RADIME; CALL  STAR      ;chama subrotina para colocar
                ;zeros

204A CDC624    CALL  START      ;subrotina principal

204D 3A0129    LDA    2901H
2050 CDCD25    CALL  UBYTE
2053 3A0029    LDA    2900H
2056 CDCD25    CALL  UBYTE
2059 CDE425    CALL  CR
205C 3A0329    LDA    2903H
205F CDCD25    CALL  UBYTE

```

;Subrotina para introdução da variável VD
;esta subrotina converte cadeia de string em binário

```

241D 118C24      INTRO:LXI    D,MSGBFF ;imprime uma string cujo endereço
                                ;está em DE
2420 0E09                MVI    C,0009H
2422 CD0500          CALL   0005H
2425 11A224          LXI    D,BDOSBUF;carrega uma cadeia de caracteres
2428 0E0A                MVI    C,000AH ;(digitado no teclado) no buffer
242A CD0500          CALL   0005H ;apontado por DE
242D 21A324          LXI    H,INIBUFF;INIBUFF indica nº de caracteres
2430 7E              DEC2TIN:MOV   A,M ;número de caracteres
2431 47                MOV   B,A
2432 23                INX   H
2433 97                SUB   A
2434 328B24          STA   NGFLAG
2437 110000          LXI    D,0000H
243A B0                ORA   B
243B CA8824          JZ    EREXIT
243E 7E              INIT1: MOV   A,M
243F FE2D            CPI    002DH
2441 C24C24          JNZ   PLUS
2444 3EFF            MVI    A,00FFH
2446 328B24          STA   NGFLAG
2449 C35124          JMP   SKIP
244C FE2B            PLUS:  CPI    002BH
244E C25724          JNZ   CHKDIG
2451 23              SKIP:  INX   H
2452 05              DCR   B
2453 CA8824          JZ    EREXIT

```

;CNVERT é a subrotina de converte a string

```

2456 7E              CNVERT:MOV   A,M
2457 D630            CHKDIG:SUI   0030H
2459 DA8824          JC    EREXIT
245C FE0A            CPI    000AH
245E D28824          JNC   EREXIT
2461 4F              MOV   C,A
2462 E5              PUSH  H
2463 EB              XCHG
2464 29              DAD   H
2465 5D              MOV   E,L
2466 54              MOV   D,H
2467 29              DAD   H
2468 29              DAD   H
2469 19              DAD   D
246A 59              MOV   E,C
246B 1600            MVI    D,0000H
246D 19              DAD   D
246E EB              XCHG
246F E1              POP   H
2470 23              INX   H
2471 10E3            DB    0010H,00E3H ; 00E3H - Z80 DJNZ
2473 EB              XCHG
2474 3A8B24          LDA   NGFLAG

```

```

2477 B7          ORA    A
2478 CA8224     JZ     OKEXIT
247B EB        XCHG
247C 210000     LXI    H,0000H
247F B7        ORA    A
2480 ED52      DB     00EDH,0052H
2482 5D        OKEXIT: MOV    E,L
2483 210D29     LXI    H,VD
2486 73        MOV    M,E
2487 C9        RET
2488 C31D24     EREXIT: JMP    INTRO
248B          NGFLAG: DS 1
                MSGBFF:
248C 20564F4C   DB     020H,056H,04FH,04CH ;voltage digital:
2490 54414745   DB     054H,041H,047H,045H
2494 4D204449   DB     04DH,020H,044H,049H
2498 47495441   DB     047H,049H,054H,041H
249C 4C3A2020   DB     04CH,03AH,020H,020H
24A0 2024      DB     020H,024H
24A2 10        BDOSBUF:DB 0010H
24A3          INIBUFF:DS 010H

```

;apresenta indicação de bolha

```

24B3 D5        TESTE: PUSH H
24B4 11BE24     LXI    D,MENS
24B7 0E09      MVI    C,0009H
24B9 CD0500     CALL   0005H
24BC D1        POP    D
24BD C9        RET
                MENS:
24BE 20205656   DB     020H,020H,056H,056H
24C2 20200824   DB     020H,020H,008H,024H

```

;*****início do programa principal*****

```

24C6 3E00      START: MVI    A,0000H
24CB 320C29     STA    G2          ;introdução de zero na flag G2
24CB 3E00      MVI    A,0000H
24CD 320E29     STA    G3          ;introdução de zero na flag G3
24D0 CD3925     LOOP1: CALL   CAM1 ;leitura do canal 00
24D3 BB        CMP    E
24D4 DAC624     JC     START
24D7 CD3D25     CALL   CAM2          ;leitura do canal 01
24DA BB        CMP    E
24DB DAC624     JC     START

```

;como está assegurado a presença dos dois canais em líquido, a fase
;seguinte será de espera do contato bolha-canal 00

```

24DE CD3925     PP1: CALL   CAM1
24E1 BB        CMP    E
24E2 D2DE24     JNC   PP1
24E5 CD3D25     CALL   CAM2
24EB BB        CMP    E

```

```

24E9 DAC624          JC      START

24EC 3E00          INICIO: MVI   A,0000H
24EE 47           MOV    B,A           ;zera registrador
24EF 4F           MOV    C,A
24F0 210D29       LXI   H,VD
24F3 5E           MOV    E,M
24F4 CD8725       LOOP2: CALL  INCVE   ;incrementa contador de velocidade
24F7 CD9125       LOOP3: CALL  INCDI   ;incrementa contador de tamanho
24FA CD3925       CALL  CAM1
24FD BB           CMP    E           ;compara o valor lido com valor Vo
24FE DA0925       JC     PR1
2501 CD3D25       CALL  CAM2
2504 BB           CMP    E
2505 D2C624       JNC   START
2508 C9           RET
2509 CD3D25       PR1:  CALL  CAM2
250C BB           CMP    E
250D FA2325       JM    PR2
2510 3A0C29       LDA   G2
2513 FE00         CPI   0000H       ;verifica se flag está com zero
2515 CA1B25       JZ    LOOP21      ;se zero vá para LOOP21 para in-
2518 C3C624       JMP   START       ;crementar o contador de veloc.
                                   ;se G2=1 inicie o programa

251B 3E01         LOOP21: MVI  A,0001H
251D 320E29       STA  G3
2520 C3F424       JMP  LOOP2
2523 3A0E29       PR2:  LDA  G3
2526 FE00         CPI  0000H
2528 CAC624       JZ   START
252B 3E01         MVI  A,0001H
252D 320C29       STA  G2           ;copia o conteúdo do acumul. em 005H
2530 C3F724       JMP  LOOP3       ;vá para LOOP3, incremente apenas o
                                   ;contador de diâmetro
                                   ;chama contador de bolha

2533 CD7D25       RETORNO: CALL INCR
2536 00           NOP
2537 00           NOP
2538 C9           RET

;subrotina chamada de leitura

2539 CD4125       CAM1: CALL LEBUFF
253C C9           RET
253D CD4125       CAM2: CALL LEBUFF
2540 C9           RET
2541 E5           LEBUFF: PUSH H
2542 2A1029       LHLD CONTX
2545 7E           MOV   A,M
2546 FE00         CPI  0000H
2548 CA5125       JZ   VAI
254B 23           INX  H
254C 221029       SHLD CONTX
254F E1           POP  H
2550 C9           RET
2551 210030       VAI:  LXI  H,ENDER   ;carrega o buffer com dados lidos

```

```

2554 067F          MVI  B,127D      ;no canal 00 e 01
2556 0E40          MVI  C,BLOCDS
2558 AF           XRA  A
2559 CD9825        LOP: CALL ANADIGO ;chama subrotina p/leitura canal 0
255C 77           MOV  M,A
255D 23           INX  H
255E CDB425        CALL ANADIG1     ;chama subrotina p/leitura canal 1
2561 77           MOV  M,A
2562 23           INX  H
2563 05           DCR  B
2564 C25925        JNZ  LOP         ;se não preenchido volte para LOP
2567 0D           DCR  C         ;para continuar a leitura
2568 CA7025        JZ   SI
256B 067F          MVI  B,127D
256D C35925        JMP  LOP
2570 3E00          SI: MVI  A,0000H
2572 77           MOV  M,A
2573 210030        LXI  H,ENDER
2576 221029        SHLD CONTX
2579 E1           POP  H
257A C34720        JMP  RADIME

```

```

;****subrotina incrementador****

```

```

; contador do número de bolhas

```

```

; usada para controlar o número de bolhas amostradas

```

```

257D E5           INCR: PUSH H
257E 2A0429        LHLD CONT
2581 23           INX  H
2582 220429        SHLD CONT
2585 E1           POP  H
2586 C9           RET

```

```

; contador de velocidade

```

```

; usada para o cálculo do tempo de permanência do sensor em líquido

```

```

2587 E5           INCVE: PUSH H
2588 2A0029        LHLD CTV
258B 23           INX  H
258C 220029        SHLD CTV
258F E1           POP  H
2590 C9           RET

```

```

; contador CTD

```

```

; usada para o cálculo do tempo de permanência do sensor em gás

```

```

2591 E5           INCDI: PUSH H
2592 2A0229        LHLD CTD
2595 23           INX  H
2596 220229        SHLD CTD
2599 E1           POP  H
259A C9           RET

```

```

; subrotina: leitura do canal

```

```

259B 32D0E0        ANADIGO: STA OEODOH
259E 00           NOP
259F 00           NOP

```



```

25A0 00          NOP
25A1 00          NOP
25A2 00          NOP
25A3 00          NOP
25A4 00          NOP
25A5 3AD1E0     LAÇO: LDA OEOD1H
25A8 E601       ANI 0001H
25AA CAA525     JZ LAÇO
25AD 3AD0E0     LDA OEODOH
25B0 3200F3     STA OF300H
25B3 C9         RET
25B4 32D1E0     ANADIG1: STA OEOD1H
25B7 00          NOP
25B8 00          NOP
25B9 00          NOP
25BA 00          NOP
25BB 00          NOP
25BC 00          NOP
25BD 00          NOP
25BE 3AD1E0     LAÇO1: LDA OEOD1H
25C1 E601       ANI 0001H
25C3 CABE25     JZ LAÇO1
25C6 3AD0E0     LDA OEODOH
25C9 3201F3     STA OF301H
25CC C9         RET

```

;subrotina para converter 1 byte em 2 palavras

```

25CD CDEF25     UBYTE: CALL CONVERT
25D0 E5         PUSH H
25D1 7C         MOV A,H
25D2 CDDB25     CALL COLBUFF
25D5 E1         POP H
25D6 7D         MOV A,L
25D7 CDDB25     CALL COLBUFF
25DA C9         RET
25DB 2A0629     COLBUFF: LHL D XCONT      ;coloca um caracter no buffer
25DE 77         MOV M,A
25DF 23         INX H
25E0 220629     SHLD XCONT
25E3 C9         RET
25E4 3E0D       CR: MVI A,000DH
25E6 CDDB25     CALL COLBUFF
25E9 3E0A       MVI A,000AH
25EB CDDB25     CALL COLBUFF
25EE C9         RET
25EF 47         CONVERT: MOV B,A
25F0 E6F0       ANI 00F0H
25F2 0F         RRC
25F3 0F         RRC
25F4 0F         RRC
25F5 0F         RRC
25F6 CD0226     CALL TRANSF
25F9 67         MOV H,A
25FA 7B         MOV A,B
25FB E60F       ANI 000FH

```

```

25FD CD0226      CALL TRANSF
2600 6F          MOV  L,A
2601 C9          RET
2602 FEOA      TRANSF: CPI  000AH
2604 DA0926     JC    ALI
2607 C607      ADI  0007H
2609 C630      ALI: ADI  0030H
260B C9          RET

```

;grava buffer

;com o arquivo ativado, esta função de escrita sequencial escreve um bloco de 128 Bytes a partir da memória endereçada pelo número corrente do DMA, no próximo registro de 128 Bytes no arquivo.

```

260C OE15      GRVBUFF: MVI  C,0015H
260E 111526     LXI  D,ARQU
2611 CD0500     CALL 0005H
2614 C9          RET

```

;nome do arquivo que será criado e a sua extensão

```

2615 0046494C45 ARQU DB 0000H,'F','I','L','E','S'
261B 202020     DB  ' ',' ',' ',' ',' '
261E 444154     DB  'D','A','T'

```

;FCB-área de memória onde está o nome do arquivo que será utilizado

```

2621          FCB: DS 0020H
2641          BUFF: DS 100H

```

;preenche o buffer com espaços vazios

```

2741 214126     ZERBUFF: LXI  H,BUFF
2744 06FF      MVI  B,255D
2746 3E20      MVI  A,0020H
2748 77        LOPP1: MOV  M,A
2749 23        INX  H
274A 05        DCR  B
274B C24827     JNZ  LOPP1
274E 214126     LXI  H,BUFF
2751 220629     SHLD XCONT
2754 C9          RET

```

;para limpar a área reservada à FCB

```

2755 212126     ZERFCB: LXI  H,FCB
2758 0622      MVI  B,0022H ; contador
275A 3E00      MVI  A,0000H
275C 77        FLOOP: MOV  M,A
275A 23        INX  H
275E 05        DCR  B
275F C25C27     JNZ  FLOOP
2762 C9          RET

```

```

2763 3A0829     INCA: LDA  INCX1
2766 3C          INR  A
2767 320829     STA  INCX1
276A C9          RET
276B 3A0A29     INCB: LDA  INCX2
276E 3C          INR  A
276F 320A29     STA  INCX2
2772 C9          RET

```

```

2773 214126   FECHA: LXI  E,BUFF
2776 06FF           MVI  E,255D
2778 3E1A           MVI  A,001AH
277A 77           LOPP2: MOV  M,A
277B 23           INX  E
277C 05           DCR  E
277D C27A27       JNZ  LOPP2
2780 CDOC26       CALL GRVBUFF

```

;executa o oposto da rotina de abrir arquivo. Esta função é execu-
;stada após o término da utilização do arquivo no qual tenham sido
;inseridas as informações.

```

2783 0E10           MVI  C,0010H ; código fecha arquivo
2785 111526       LXI  D,ARQU
2788 CD0500       CALL CD05H
278B C30000       JMP  C000H
278E                END

```

```

10 DIM V(100),D(100),M(100),F(100)
20 DIM Z(100)
30 REM *****
40 REM *** LETO PROGRAMA CAPTA DADOS DO ARQUIVO FILES.DAT ****
50 REM *** PROCESSANDO-OS PARA A DETERMINAD DA VEL. CRUDEL, ****
60 REM *** DIAMETRO.DISTRIBUICAO. OS DADOS OBTIDOS DESTE ****
70 REM *** PROCESSAMENTO SAO GUARDADOS EM ARQ.DIA ****
80 REM *****
90 GOTO
100 PRINT " MONTAGEM DO HISTOGRAMA "
110 PRINT:PRINT
120 INPUT " DISTANCIA DOS SENSORES =";E
130 REM " DELTA = "
140 DELTA=1/4
150 REM DM=4.47
160 PRINT:PRINT
170 DMAX=E+100*DM
180 PRINT " DIAMETRO MAXIMO CAPTADO = ";DMAX
190 GOTO
200 PRINT "VELOCIDADE DIAMETRO"
210 OPEN "I",#1,"FILES.DAT"
220 REM *****
230 I=1
240 IF I>=3 THEN GOTO 480
250 IF EOF(1) GOTO 390
260 INPUT #1,T10,T20,H0
270 GOSUB 010
280 V(I)=(TVEL*1.2099*10^(-4)+TVEL*2*10^(-4))
290 D(I)=(TDIA*5.3347*10^(-5)+TDIA*2*10^(-4))
300 IF D<E GOTO 220
310 I=INT((D-E)/DM)+1
320 IF I>100 GOTO 220
330 V(I)=(V(I)+V(I)+V)/((I)+1)
340 D(I)=(D(I)+D(I)+D)/((I)+1)
350 M(I)=M(I)+1
360 NB=NB+1
370 PRINT V(I),D(I),M(I),NB
380 GOTO 220
390 CLOSE #1
400 OPEN "O",#2,"ARD.DAT"
410 FOR J=1 TO 100
420 PRINT#2,V(J)
430 PRINT#2,D(J)
440 PRINT#2,M(J)
450 NEXT J
460 CLOSE #2
470 GOTO 540
480 INPUT #1,T10
490 I=1
500 RETURN
510 AS=T10
520 GOSUB 500
530 TVEL=NU
540 AL=T20
550 GOSUB 500
560 TDIA=NU
570 RETURN

```

```

500 R2=VAL(VAL1)
510 R3=VAL(VAL2)
520 R4=VAL(VAL3)
530 R5=VAL(VAL4)
540 R6=VAL(VAL5)
550 R7=VAL(VAL6)
560 R8=VAL(VAL7)
570 R9=VAL(VAL8)
580 R10=VAL(VAL9)
590 R11=VAL(VAL10)
600 R12=VAL(VAL11)
610 R13=VAL(VAL12)
620 R14=VAL(VAL13)
630 R15=VAL(VAL14)
640 R16=VAL(VAL15)
650 R17=VAL(VAL16)
660 R18=VAL(VAL17)
670 R19=VAL(VAL18)
680 R20=VAL(VAL19)
690 R21=VAL(VAL20)
700 R22=VAL(VAL21)
710 R23=VAL(VAL22)
720 R24=VAL(VAL23)
730 R25=VAL(VAL24)
740 R26=VAL(VAL25)
750 R27=VAL(VAL26)
760 R28=VAL(VAL27)
770 R29=VAL(VAL28)
780 R30=VAL(VAL29)
790 R31=VAL(VAL30)
800 R32=VAL(VAL31)
810 R33=VAL(VAL32)
820 R34=VAL(VAL33)
830 R35=VAL(VAL34)
840 R36=VAL(VAL35)
850 R37=VAL(VAL36)
860 R38=VAL(VAL37)
870 R39=VAL(VAL38)
880 R40=VAL(VAL39)
890 R41=VAL(VAL40)
900 R42=VAL(VAL41)
910 R43=VAL(VAL42)
920 R44=VAL(VAL43)
930 R45=VAL(VAL44)
940 R46=VAL(VAL45)
950 R47=VAL(VAL46)
960 R48=VAL(VAL47)
970 R49=VAL(VAL48)
980 R50=VAL(VAL49)
990 R51=VAL(VAL50)
1000 R52=VAL(VAL51)
1010 R53=VAL(VAL52)
1020 R54=VAL(VAL53)
1030 R55=VAL(VAL54)
1040 R56=VAL(VAL55)
1050 R57=VAL(VAL56)
1060 R58=VAL(VAL57)
1070 R59=VAL(VAL58)
1080 R60=VAL(VAL59)
1090 R61=VAL(VAL60)
1100 R62=VAL(VAL61)
1110 R63=VAL(VAL62)
1120 R64=VAL(VAL63)
1130 R65=VAL(VAL64)
1140 R66=VAL(VAL65)
1150 R67=VAL(VAL66)
1160 R68=VAL(VAL67)
1170 R69=VAL(VAL68)
1180 R70=VAL(VAL69)
1190 R71=VAL(VAL70)
1200 R72=VAL(VAL71)
1210 R73=VAL(VAL72)
1220 R74=VAL(VAL73)
1230 R75=VAL(VAL74)
1240 R76=VAL(VAL75)
1250 R77=VAL(VAL76)
1260 R78=VAL(VAL77)
1270 R79=VAL(VAL78)
1280 R80=VAL(VAL79)
1290 R81=VAL(VAL80)
1300 R82=VAL(VAL81)
1310 R83=VAL(VAL82)
1320 R84=VAL(VAL83)
1330 R85=VAL(VAL84)
1340 R86=VAL(VAL85)
1350 R87=VAL(VAL86)
1360 R88=VAL(VAL87)
1370 R89=VAL(VAL88)
1380 R90=VAL(VAL89)
1390 R91=VAL(VAL90)
1400 R92=VAL(VAL91)
1410 R93=VAL(VAL92)
1420 R94=VAL(VAL93)
1430 R95=VAL(VAL94)
1440 R96=VAL(VAL95)
1450 R97=VAL(VAL96)
1460 R98=VAL(VAL97)
1470 R99=VAL(VAL98)
1480 R100=VAL(VAL99)
1490 R101=VAL(VAL100)
1500 R102=VAL(VAL101)
1510 R103=VAL(VAL102)
1520 R104=VAL(VAL103)
1530 R105=VAL(VAL104)
1540 R106=VAL(VAL105)
1550 R107=VAL(VAL106)
1560 R108=VAL(VAL107)
1570 R109=VAL(VAL108)
1580 R110=VAL(VAL109)
1590 R111=VAL(VAL110)
1600 R112=VAL(VAL111)
1610 R113=VAL(VAL112)
1620 R114=VAL(VAL113)
1630 R115=VAL(VAL114)
1640 R116=VAL(VAL115)
1650 R117=VAL(VAL116)
1660 R118=VAL(VAL117)
1670 R119=VAL(VAL118)
1680 R120=VAL(VAL119)
1690 R121=VAL(VAL120)
1700 R122=VAL(VAL121)
1710 R123=VAL(VAL122)
1720 R124=VAL(VAL123)
1730 R125=VAL(VAL124)
1740 R126=VAL(VAL125)
1750 R127=VAL(VAL126)
1760 R128=VAL(VAL127)
1770 R129=VAL(VAL128)
1780 R130=VAL(VAL129)
1790 R131=VAL(VAL130)
1800 R132=VAL(VAL131)
1810 R133=VAL(VAL132)
1820 R134=VAL(VAL133)
1830 R135=VAL(VAL134)
1840 R136=VAL(VAL135)
1850 R137=VAL(VAL136)
1860 R138=VAL(VAL137)
1870 R139=VAL(VAL138)
1880 R140=VAL(VAL139)
1890 R141=VAL(VAL140)
1900 R142=VAL(VAL141)
1910 R143=VAL(VAL142)
1920 R144=VAL(VAL143)
1930 R145=VAL(VAL144)
1940 R146=VAL(VAL145)
1950 R147=VAL(VAL146)
1960 R148=VAL(VAL147)
1970 R149=VAL(VAL148)
1980 R150=VAL(VAL149)
1990 R151=VAL(VAL150)
2000 R152=VAL(VAL151)
2010 R153=VAL(VAL152)
2020 R154=VAL(VAL153)
2030 R155=VAL(VAL154)
2040 R156=VAL(VAL155)
2050 R157=VAL(VAL156)
2060 R158=VAL(VAL157)
2070 R159=VAL(VAL158)
2080 R160=VAL(VAL159)
2090 R161=VAL(VAL160)
2100 R162=VAL(VAL161)
2110 R163=VAL(VAL162)
2120 R164=VAL(VAL163)
2130 R165=VAL(VAL164)
2140 R166=VAL(VAL165)
2150 R167=VAL(VAL166)
2160 R168=VAL(VAL167)
2170 R169=VAL(VAL168)
2180 R170=VAL(VAL169)
2190 R171=VAL(VAL170)
2200 R172=VAL(VAL171)
2210 R173=VAL(VAL172)
2220 R174=VAL(VAL173)
2230 R175=VAL(VAL174)
2240 R176=VAL(VAL175)
2250 R177=VAL(VAL176)
2260 R178=VAL(VAL177)
2270 R179=VAL(VAL178)
2280 R180=VAL(VAL179)
2290 R181=VAL(VAL180)
2300 R182=VAL(VAL181)
2310 R183=VAL(VAL182)
2320 R184=VAL(VAL183)
2330 R185=VAL(VAL184)
2340 R186=VAL(VAL185)
2350 R187=VAL(VAL186)
2360 R188=VAL(VAL187)
2370 R189=VAL(VAL188)
2380 R190=VAL(VAL189)
2390 R191=VAL(VAL190)
2400 R192=VAL(VAL191)
2410 R193=VAL(VAL192)
2420 R194=VAL(VAL193)
2430 R195=VAL(VAL194)
2440 R196=VAL(VAL195)
2450 R197=VAL(VAL196)
2460 R198=VAL(VAL197)
2470 R199=VAL(VAL198)
2480 R200=VAL(VAL199)
2490 R201=VAL(VAL200)
2500 R202=VAL(VAL201)
2510 R203=VAL(VAL202)
2520 R204=VAL(VAL203)
2530 R205=VAL(VAL204)
2540 R206=VAL(VAL205)
2550 R207=VAL(VAL206)
2560 R208=VAL(VAL207)
2570 R209=VAL(VAL208)
2580 R210=VAL(VAL209)
2590 R211=VAL(VAL210)
2600 R212=VAL(VAL211)
2610 R213=VAL(VAL212)
2620 R214=VAL(VAL213)
2630 R215=VAL(VAL214)
2640 R216=VAL(VAL215)
2650 R217=VAL(VAL216)
2660 R218=VAL(VAL217)
2670 R219=VAL(VAL218)
2680 R220=VAL(VAL219)
2690 R221=VAL(VAL220)
2700 R222=VAL(VAL221)
2710 R223=VAL(VAL222)
2720 R224=VAL(VAL223)
2730 R225=VAL(VAL224)
2740 R226=VAL(VAL225)
2750 R227=VAL(VAL226)
2760 R228=VAL(VAL227)
2770 R229=VAL(VAL228)
2780 R230=VAL(VAL229)
2790 R231=VAL(VAL230)
2800 R232=VAL(VAL231)
2810 R233=VAL(VAL232)
2820 R234=VAL(VAL233)
2830 R235=VAL(VAL234)
2840 R236=VAL(VAL235)
2850 R237=VAL(VAL236)
2860 R238=VAL(VAL237)
2870 R239=VAL(VAL238)
2880 R240=VAL(VAL239)
2890 R241=VAL(VAL240)
2900 R242=VAL(VAL241)
2910 R243=VAL(VAL242)
2920 R244=VAL(VAL243)
2930 R245=VAL(VAL244)
2940 R246=VAL(VAL245)
2950 R247=VAL(VAL246)
2960 R248=VAL(VAL247)
2970 R249=VAL(VAL248)
2980 R250=VAL(VAL249)
2990 R251=VAL(VAL250)

```

```
1300 (T) = H(T) - K(T) * X
1310 (PRINT T, H(T), D(T), F(T)
1320 NEXT T
1330 END
```

Capitulo 4

4.1 - INTRODUÇÃO

A dispersão gás-líquido é um fenômeno que propicia o contato íntimo entre as fases, de modo a permitir a difusão entre as mesmas. Deste modo, a taxa de transferência de massa, depende da superfície interfacial exposta entre as fases, da natureza e do grau da dispersão de um fluido em outro.

As colunas com prato perfurados sem vertedor são equipamentos utilizados para se obter um bom contato entre as fases durante operações como a destilação e a absorção. Em determinadas condições as fases gasosa e líquida formam uma espuma que provoca um intenso contato entre as mesmas, propiciando assim as trocas de calor e massa entre as fases.

Considerando a importância da taxa de transferência de massa no processo de separação verifica-se a necessidade de um maior aprofundamento, aplicando-se assim técnicas computacionais.

4.2 - MONTAGEM EXPERIMENTAL

4.2.1 - Equipamento

O equipamento é um modelo hidráulico onde se simula a operação de uma coluna de destilação. Este sistema é constituído por uma coluna de vidro, rotâmetro, bomba centrífuga, soprador de ar, reservatório e prato perfurado, conforme mostra a Figura 4.1.

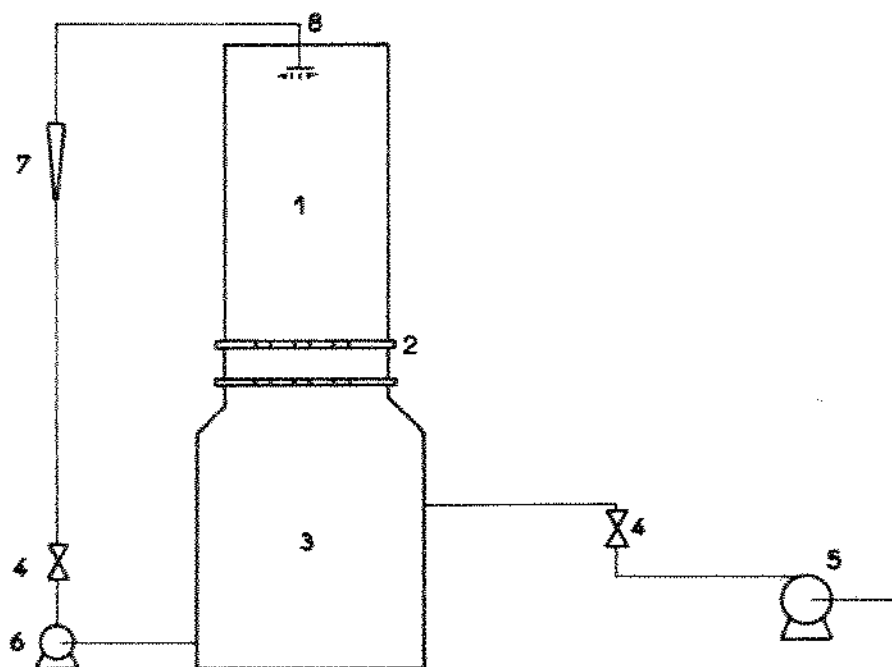


Figura 4.1

onde:

- 1 - coluna de vidro
- 2 - prato perfurado
- 3 - reservatório
- 4 - válvula
- 5 - soprador
- 6 - bomba
- 7 - rotâmetro
- 8 - dispensador

A coluna possui 0.18 m de diâmetro interno e é de vidro para facilitar a observação visual das características da dispersão gás-líquido.

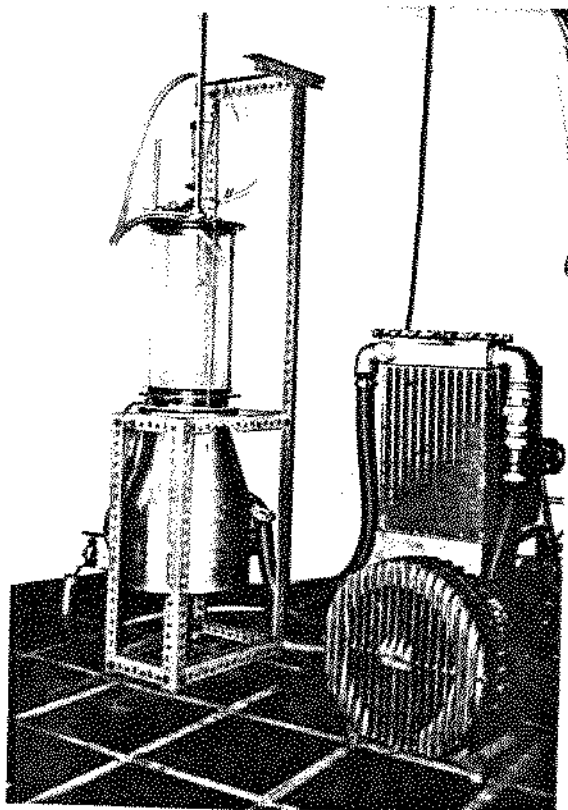


Figura 4.2

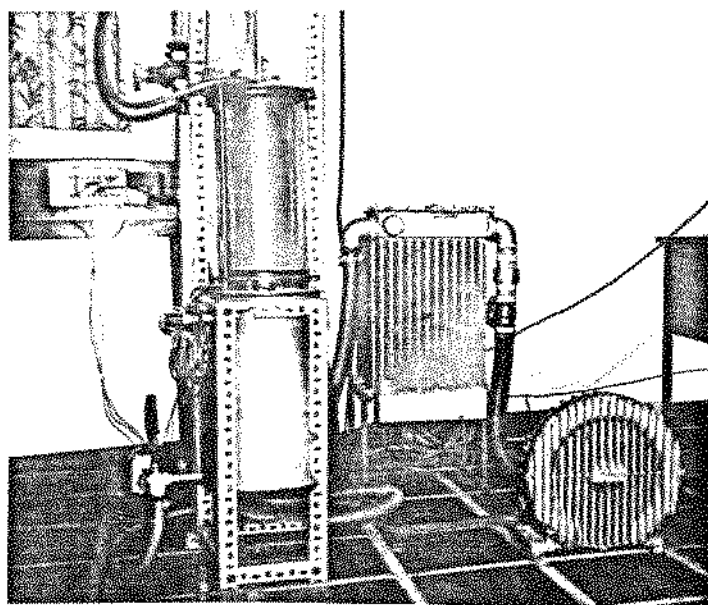


Figura 4.3

O prato perfurado empregado neste trabalho é de latão, com os seguintes dados geométricos:

espessura	-	2.1 mm
diâmetro do prato	-	180.0 mm
número de orifícios	-	43
diâmetro dos orifícios	-	8.9 mm
área livre	-	10.5 %
espaçamento entre os orifícios	-	22.0 mm

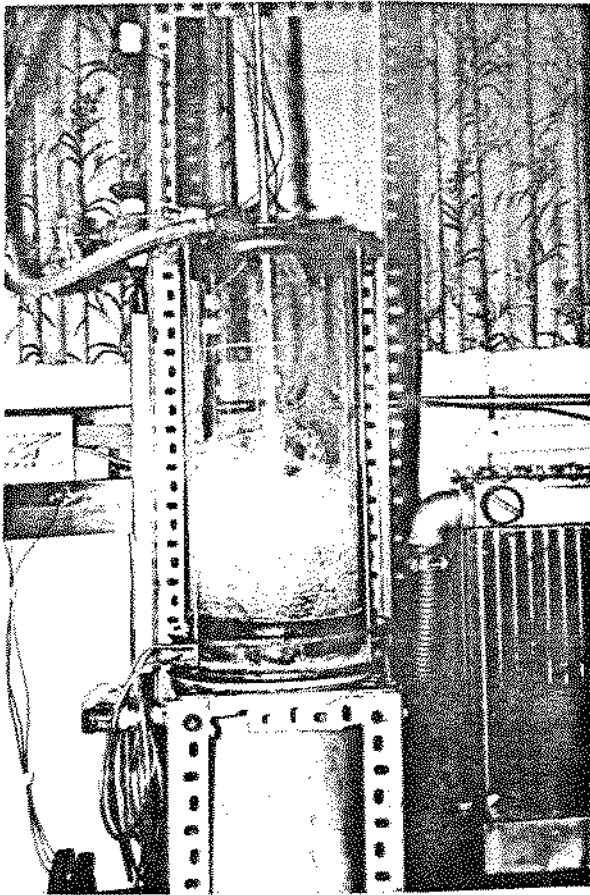


Figura 4.4

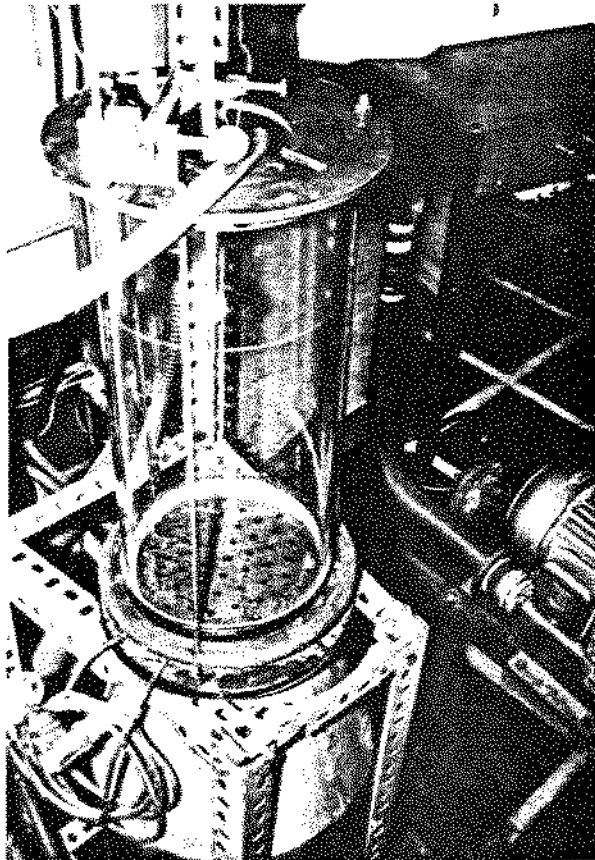


Figura 4.5

4.2.2 - Sistema do fluxo de gás

Conforme verifica-se na Figura 4.6, a circulação de ar através da coluna é efetuada por meio de um soprador, conectado ao reservatório a 10 cm da base. Este soprador de marca IMBRAIM possui potência de 4 CV.

O ar circula pelo radiador sendo a seguir injetado pela base da coluna de vidro passando através dos orifícios do prato perfurado, em seguida atravessando o líquido sob a forma de bolhas.

O arraste do gás provoca a retenção do líquido dentro da coluna, obtendo-se desta forma uma dispersão gás em líquido.

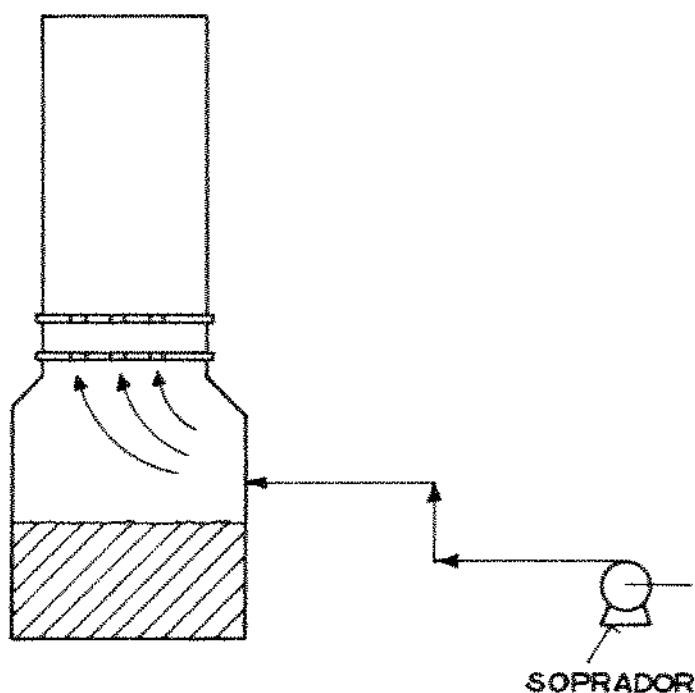


Figura 4.6

O fluxo de ar foi medido utilizando-se placa de orifício de 27.5 mm de diâmetro, conectada à entrada do soprador. Os calculos referentes a placa de orifício estão no Apêndice F. Verifica-se então que a perda de carga, a altura da espuma e a quantidade de líquido aumentam com a velocidade do gás à vazão de líquido constante.

4.2.3 - Sistema do fluxo de líquido

Através da Figura 4.7 verifica-se o percurso da água dentro do equipamento utilizado.

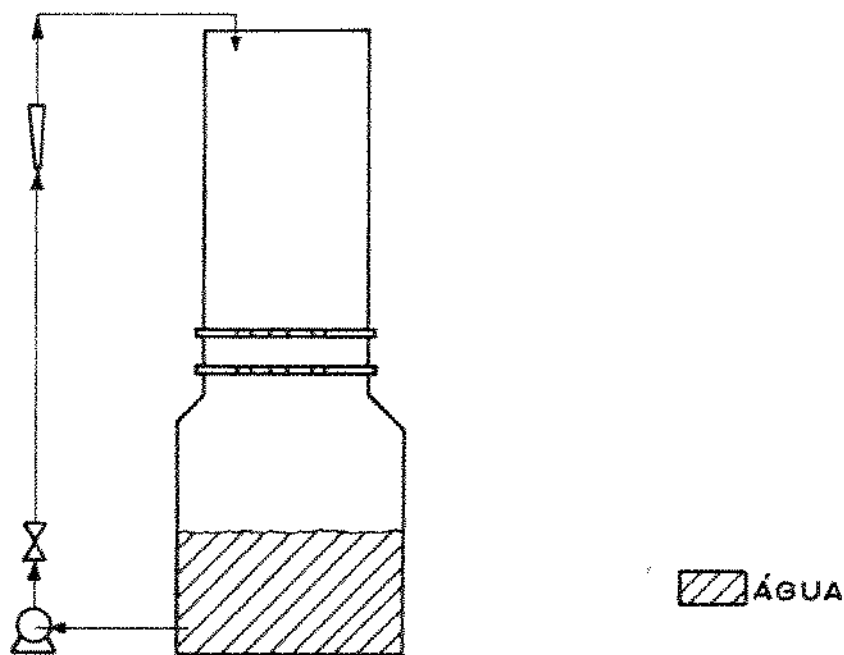


Figura 4.7

Verifica-se que a água circula em circuito fechado, isto é, entra pelo topo da coluna, sendo distribuída pelo dispersor e recirculada através de uma bomba centrífuga com motor de indução de marca "MALLORY".

O fluxo de líquido foi medido através do rotâmetro A-Flow previamente calibrado (Apêndice F).

4.2.4 - Sistema de ligação sensor-microcomputador

Através da Figura (4.8) observa-se o circuito completo da integração física entre o sensor e o microcomputador.

O arranjo formado pelos sensores é conectado de tal forma que cada contato forme um circuito elétrico, por onde passa o fluxo de corrente. Este fluxo é gerado por uma fonte de alimentação contínua de aproximadamente 5 Volts.

Verifica-se novamente através da Figura (4.8) um bastão de cobre que está permanentemente submerso na dispersão, próximo à parede da coluna. Este bastão é na realidade um eletrodo utilizado para fechar o contato elétrico.

Quando o circuito é fechado, isto é, o sensor esta na fase de condução de corrente, apresenta-se uma diferença de potencial através de uma resistência variável. Esta diferença de potencial é interpretada por um microcomputador na forma digital, simultaneamente para cada canal.

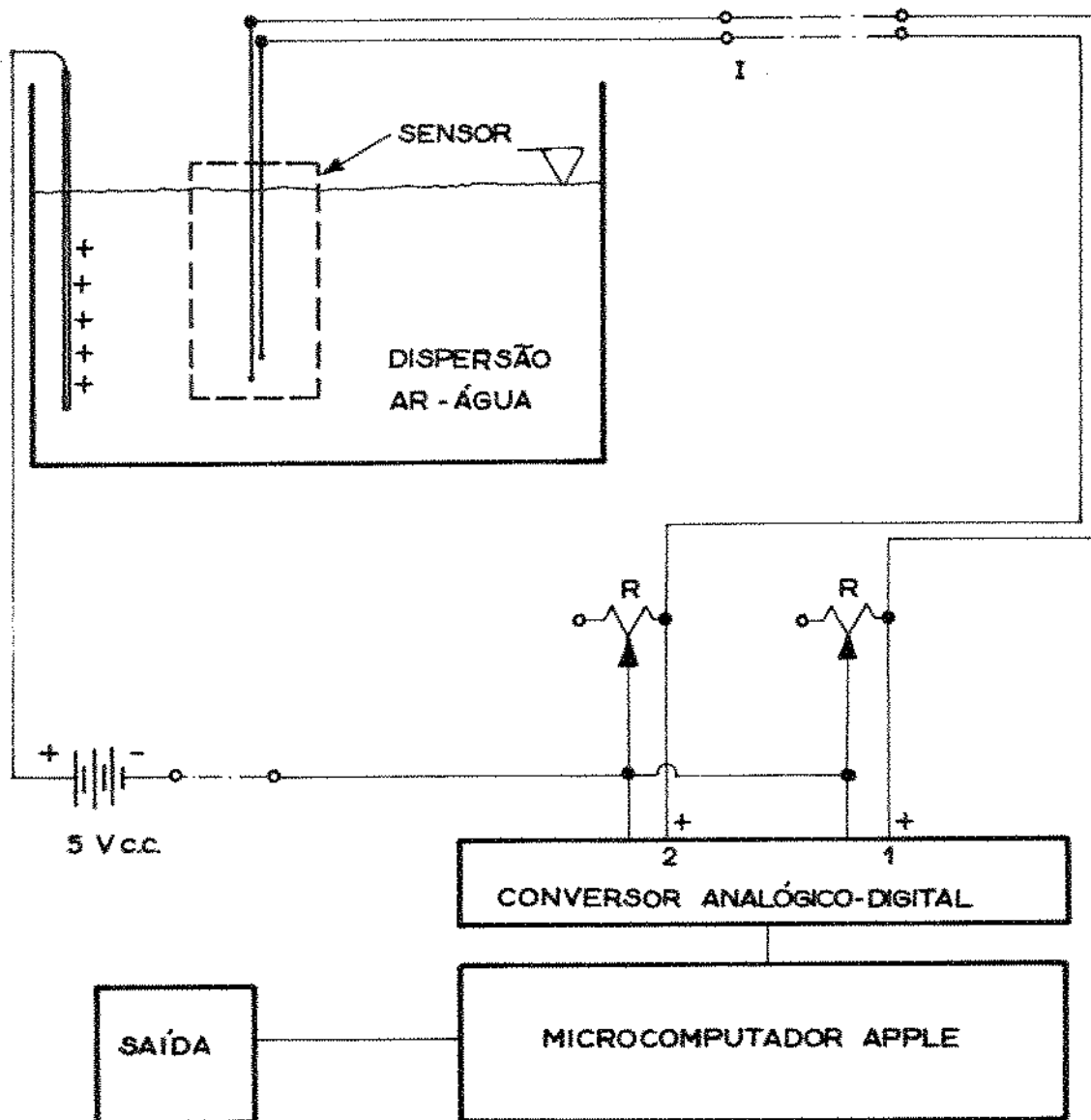


Figura 4.8

4.3 - DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DA BOLHA

Antes da discussão sobre a distribuição das bolhas, analisa-se primeiramente os mecanismos da coalescência e quebra das mesmas.

Um dos primeiros mecanismos referentes a coalescência foi proposta por Arqyrion e outros (02). Ele considerou a probabilidade de coalescência proporcional a soma da área projetada das duas bolhas.

Orcutt e Carpenter (33) introduziram o conceito de distância crítica, que era função do diâmetro da bolha, após a coalescência, a bolha resultante teria a coordenada do maior, e a velocidade de uma bolha seria influenciada pelas outras formando assim um cordão.

Segundo Narayanan e outros (30) a coalescência da bolha pode ser analisada em três estágios: a bolha entra na esteira principal, eles entram no seu vortex, e o estágio final é a diminuição e ruptura do filme que separa as duas bolhas.

Baseado no modelo de Arqyrion (02), Shah e outros (50) apresentaram uma aproximação global para populações pequenas de bolhas em leite fluidizado.

Yoshida e outros (59) formularam um modelo de coalescência das bolhas e distribuição do tamanho onde a frequência de colisões entre duas bolhas é proporcional às diferentes velocidades.

A distribuição do tamanho das bolhas é de essencial importância para reportar fielmente a situação real de uma dispersão gás-líquido.

Muitos autores como Ramkrishna e Borwanker (41), Ramkrishna e outros (42), e Ramkrishna (43) estudaram e analisaram detalhadamente o problema matemático da equação da distribuição.

Em 1967, Rodionov e Radikovski (45) formularam uma expressão analítica para descrever a função distribuição, obtida pelo método fotográfico. Esses autores graficaram seus resultados e concluíram que a função distribuição obedece a uma função do tipo log-normal da seguinte forma:

$$p(d_e) = \frac{1}{2\pi \beta} \exp \left[- \frac{[\ln(d_e) - \alpha]^2}{2\beta^2} \right]$$

onde:

$$\begin{aligned} \alpha &= \xi \ln(d_e) \\ \beta &= \text{VAR}(\ln d_e) \end{aligned}$$

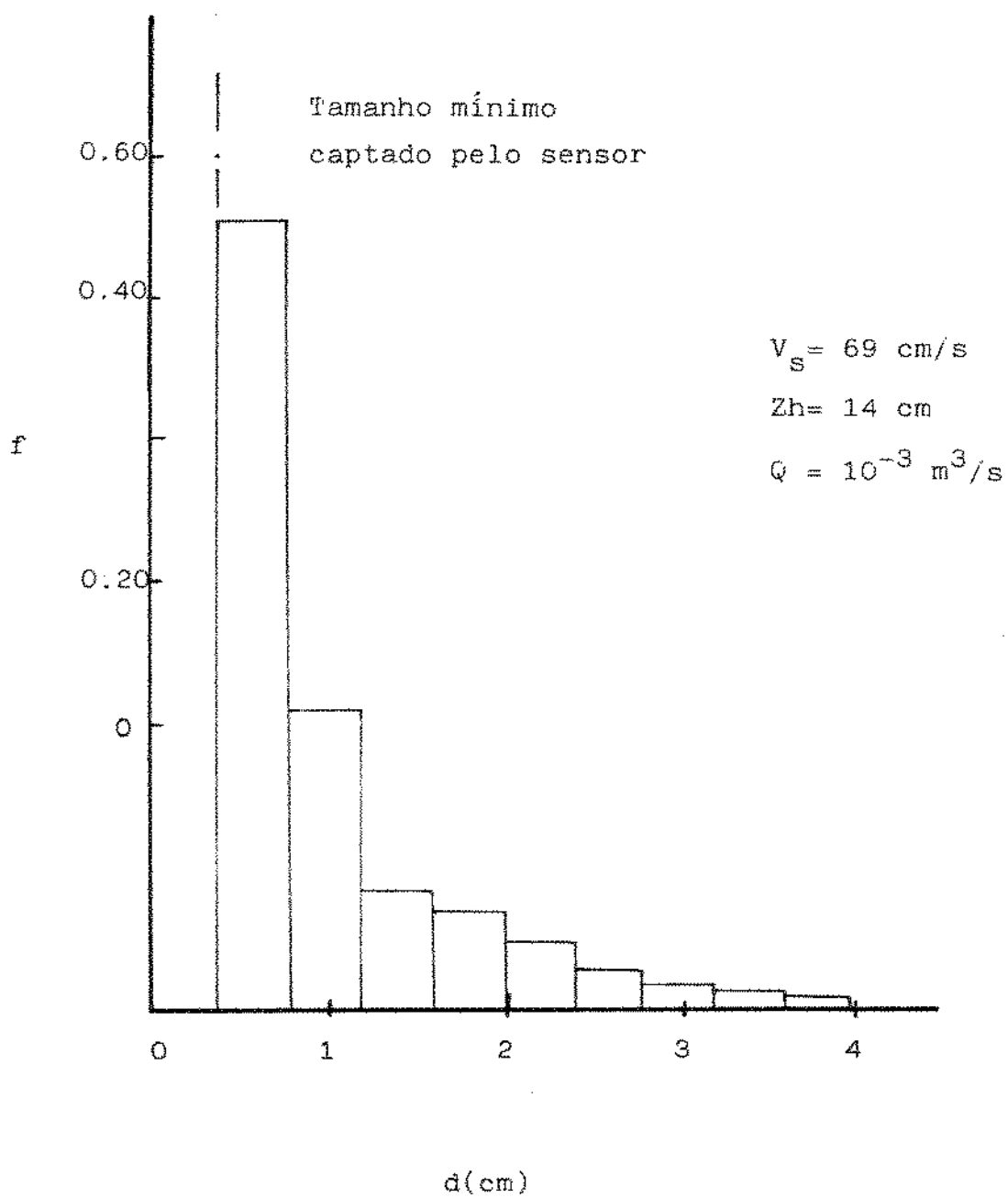


Figura 4.9 - Distribuição do Tamanho das Bolhas Amostrada pelo sensor

A função distribuição do tamanho das bolhas em leito fluidizado foi estudada por Rowe (46); sendo descrita através de uma função gama da seguinte forma:

$$p(x) = \frac{\beta^{\alpha+1}}{\Gamma(\alpha+1)} e^{-\beta x} x^{\alpha}$$

onde:

$$\alpha = \frac{\mu_x^2}{\sigma_x^2} - 1$$

$$\beta = \frac{\mu_x}{\sigma_x^2}$$

x volume da bolha

sendo que μ_x e σ_x^2 são a média e variância da variável, e a função gama de $(\alpha + 1)$.

$$\Gamma(\alpha + 1)$$

A Figura (4.10) mostra os dados de Rodionov e Radikovskii (45) junto com duas distribuições analíticas ajustado com a mesma média e variância do original. A função distribuição analítica gama apresenta um ajuste melhor dos dados experimentais do que a distribuição log-normal, que mostra uma estimativa da fração de bolhas de tamanho grande.

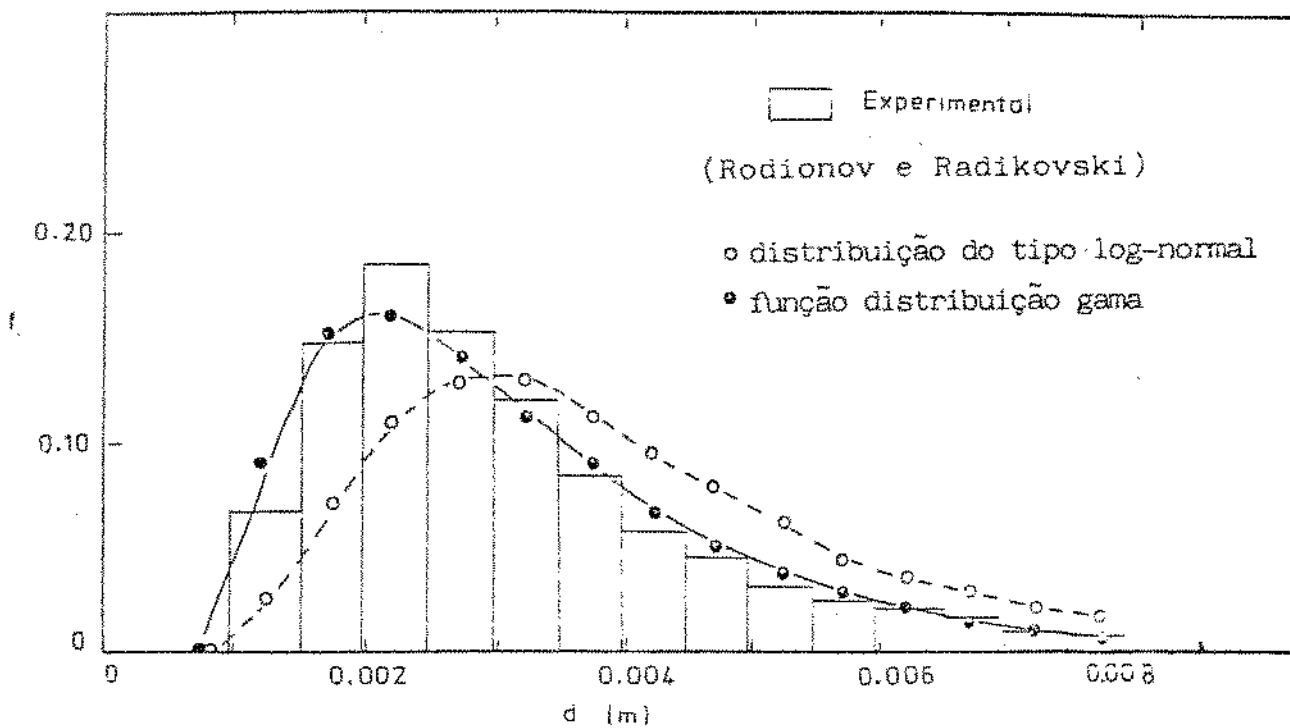


Figura 4.10

Burgess (04) considerou em seu trabalho o truncamento nos dados obtidos devido a bolhas pequenas. Desta forma, obteve a seguinte função distribuição:

$$p(\hat{d}_e) = \frac{\beta^{\alpha+1}}{\Gamma(\alpha+1)} e^{-\beta \hat{d}_e} (\hat{d}_e)^\alpha$$

onde:

$$d_e = d_e - d_{e_{\min}}$$

$d_{e(\min)}$classe de tamanho de bolhas imediatamente abaixo da menor distância que o sensor pode captar

e

$$\alpha = \frac{\mu_{de}^2}{\Gamma_{de}^2} - 1$$

$$\beta = \frac{\mu_{de}}{\Gamma_{de}^2}$$

A distribuição do tamanho das bolhas pode ser descrita a primeira vista por curva gaussiana, mas vários trabalhos mostraram ser inclinados. Algumas literaturas identificaram o fenômeno da segregação com respeito ao tamanho da bolha, onde a distribuição de tamanhos apresenta dois ou mais máximos.

Verifica-se que a maior parte dos modelos de coalescência e quebra de bolhas referem-se a modelos com agitação.

Em 1986, Mihali e Straja (28) desenvolveram um modelo teórico da distribuição de tamanhos em leite fluidizado e justificaram porque se encontra população de bolhas com mais do que um máximo. A presença desse máximo corresponde ao efeito de segregação da bolha com respeito a seu volume. O mecanismo de coalescência e quebra das bolhas foi obtido através da introdução de duas funções matemáticas.

Capitulo 5

5.1 - INTRODUÇÃO

O objetivo deste capítulo é a apresentação e a análise dos resultados experimentais encontrados no estudo das dispersões gás-líquido em prato perfurado sem vertedor. Utilizou-se para tanto uma coluna de diâmetro de 0.18 metros, tendo-se variado as vazões de gás e líquido. Para coleta de dados variou-se a posição do sensor longitudinalmente e radialmente.

O estudo do comportamento da dispersão gás em líquido efetua-se através da mistura de ar em água dentro do regime "froth".

Com a apresentação dos resultados experimentais através de tabelas e gráficos objetiva-se comprovar a validade dos programas computacionais desenvolvidos neste trabalho para reportar de forma adequada a dispersão em estudo.

Zv (mm)	diâmetro médio (mm)		
	Q1	Q2	Q3
20	5.25533	5.01666	6.06309
50	7.13766	6.50372	8.98136
80	8.93342	8.19832	10.7158
100	9.24236	8.90245	11.6648
120	9.16389	9.00115	12.3002

Tabela 5.1

$$Z_r = 0.0 \text{ mm}$$

$$W(ar) = 24.641 \text{ g/seg}$$

$$V_s(ar) = 872.35 \text{ mm/seg}$$

$$Q_1(\text{áqua}) = 4.4423 \text{ ml/seg}$$

$$Q_2(\text{áqua}) = 7.7119 \text{ ml/seg}$$

$$Q_3(\text{áqua}) = 11.3385 \text{ ml/seg}$$

$$\text{Prato: } D = 180 \text{ mm}$$

Área livre 6%

Zv (mm)	diâmetro médio (mm)		
	Q1	Q2	Q3
20	4.943766	5.6431	5.77264
50	5.94885	6.92376	6.94575
80	6.77541	7.50291	9.94841
100	7.20229	7.98066	9.94841
120	77.88542	8.40432	10.7933

Tabela 5.2

$$Z_r = 45.0 \text{ mm}$$

$$W(\text{ar}) = 24.6406 \text{ g/seg}$$

$$V_s(\text{ar}) = 872.35 \text{ mm/seg}$$

$$Q_1(\text{áqua}) = 4.4423 \text{ ml/seg}$$

$$Q_2(\text{áqua}) = 7.7119 \text{ ml/seg}$$

$$Q_3(\text{áqua}) = 11.3385 \text{ ml/seg}$$

$$\text{Prato: } D = 180 \text{ cm}$$

$$\text{Área livre } 5\%$$

Zv (mm)	diâmetro médio (mm)		
	Q1	Q2	Q3
20	5.00146	5.44608	6.214881
50	5.84221	6.31507	6.801
80	7.43379	7.48	7.53482
100	7.5214	7.67144	7.92004
120	7.66843	7.81412	7.84578

Tabela 5.3

$$Z_r = 80 \text{ mm}$$

$$W(ar) = 24.6406 \text{ a/seg}$$

$$V_s(ar) = 872.35 \text{ mm/seg}$$

$$Q1(\text{áqua}) = 4.4423 \text{ ml/seg}$$

$$Q2(\text{áqua}) = 7.7119 \text{ ml/seg}$$

$$Q3(\text{áqua}) = 11.3385 \text{ ml/seg}$$

$$\text{Prato: } D = 180 \text{ mm}$$

5.2 - ANÁLISE DE DADOS

As tabelas 5.1,5.2,5.3, mostram o regime de fluxo das dispersões gás-líquido, alterando-se somente a posição do sensor para coleta de dados. Assim identificou-se valores de D_s para diversas vazões de gás e líquido em diferentes posições do sensor na espuma.

Para o cálculo do tamanho médio das bolhas, foram medidos diversos valores de D_s , sendo que cada amostragem integra-se de uma coleta de 224 bolhas.

As Figuras 5.1,5.2,5.3, mostram a variação do diâmetro médio das bolhas versus a distância em que o sensor se encontra do prato, tendo como parâmetro de variação a vazão de líquido. Nestas figuras varia-se Z_v (posição radial) de zero, 4.5, e 8 centímetros respectivamente. Os valores experimentais utilizados na construção dessas figuras encontram-se nas respectivas tabelas.

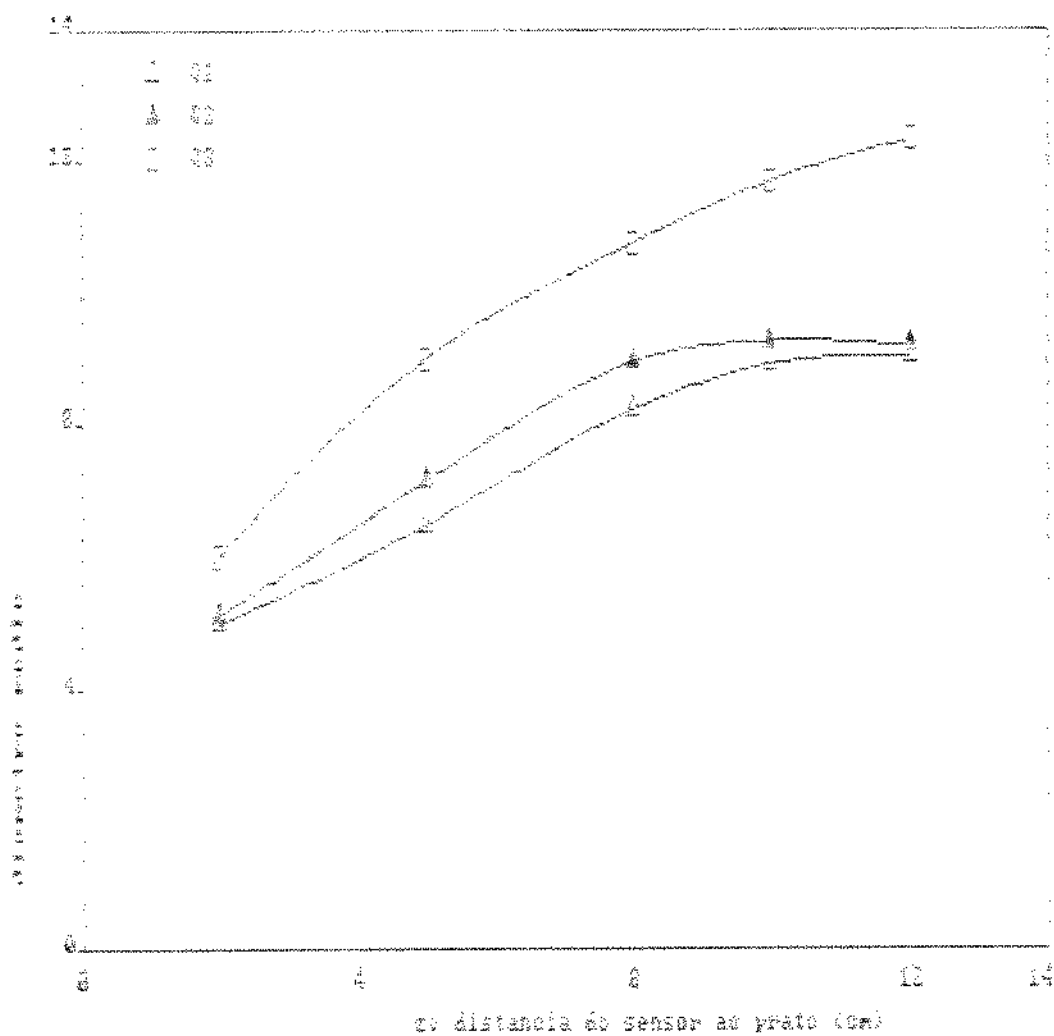


Figura 5.1

Parâmetro: vazão de líquido

Sistema: Ar-Água

Posição radial: $Z_r = \text{zero mm}$

Prato: $D = 180 \text{ mm}$

Área livre: 6%

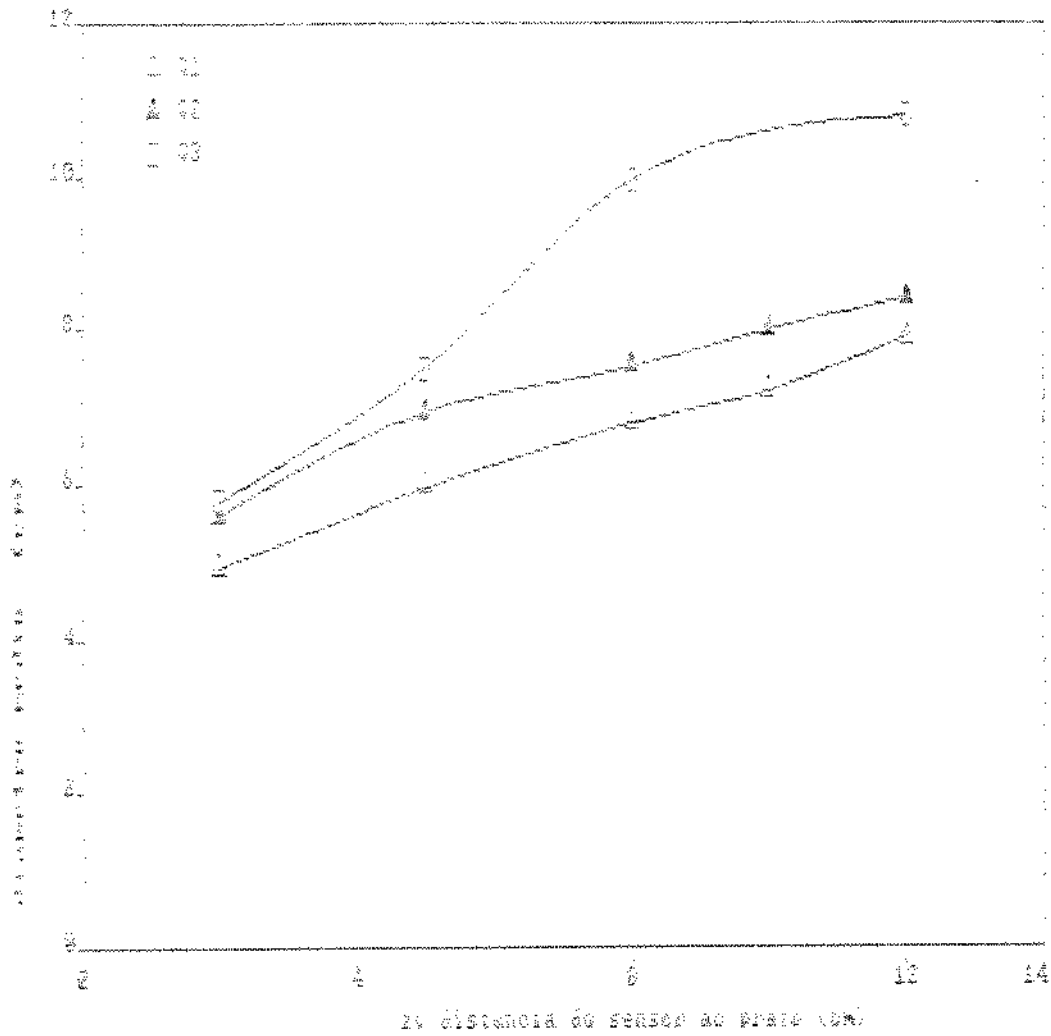


Figura 5.2

Parâmetro: vazão de líquido

Sistema: Ar-Água

Posição radial: $Z_r = 45$ mm

Prato: $D = 180$ mm

Área livre = 6%

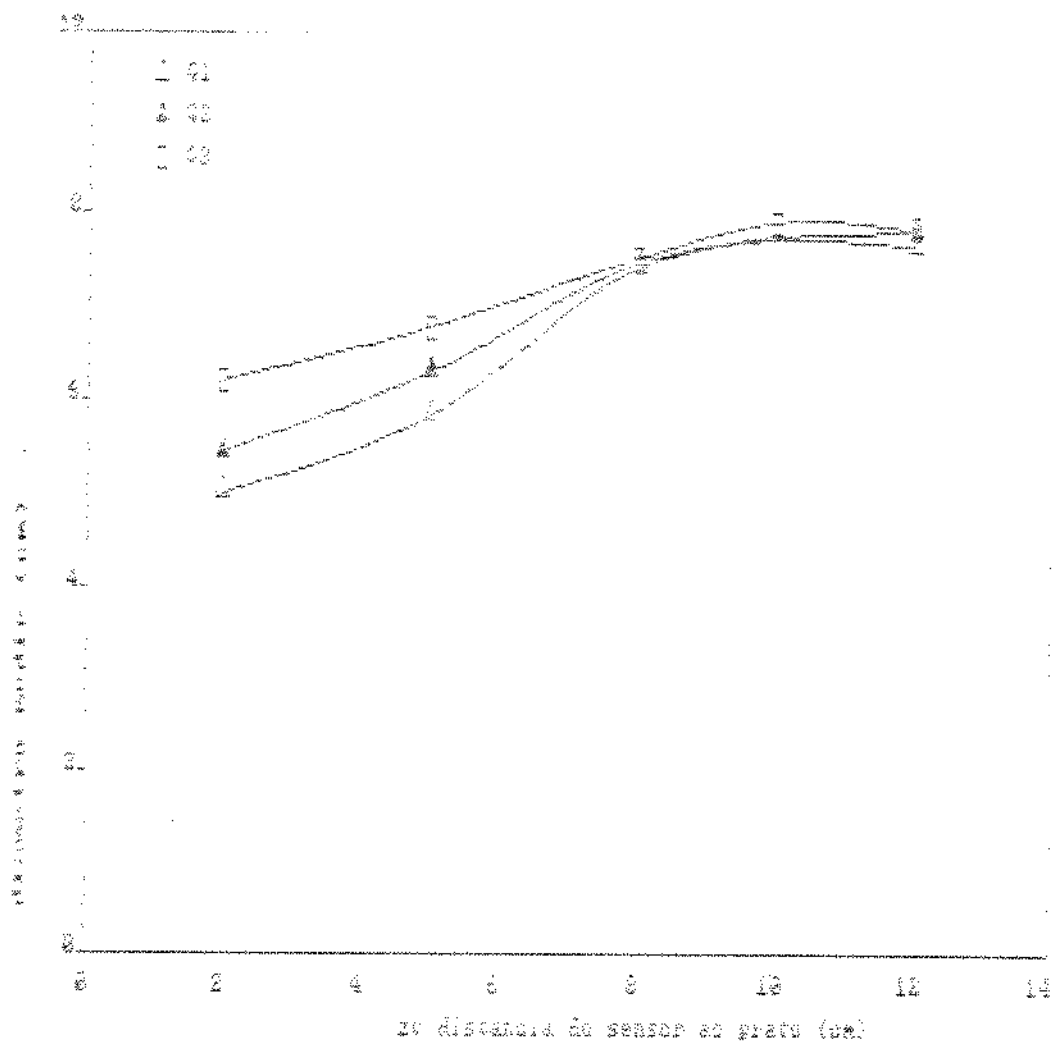


Figura 5.3

Parâmetro: vazão de líquido

Sistema: Ar-Água

Posição radial: $Z_r = 80$ mm

Prato: $D = 180$ mm

Área livre = 6%

5.2.1 - Efeito da vazão de líquido

Para o estudo da influência da vazão de líquido no tamanho das bolhas, utiliza-se das Figuras 5.1, 5.2, 5.3. Para substituição destes gráficos mantém-se em cada caso a posição radial do sensor e a vazão de ar constante, variando-se somente a posição longitudinal do sensor ao prato.

Verifica-se em cada caso que a medida em que a vazão de líquido é aumentada o diâmetro médio das bolhas encontradas também são maiores. Desta forma, independente da posição radial, conclui-se que o tamanho médio das bolhas aumenta com o respectivo aumento da vazão de líquido, mantendo-se constante a vazão de gás.

5.2.2 - Efeito da posição radial do sensor

Comparando-se novamente as Figuras 5.1, 5.2, 5.3, verifica-se que na posição intermediária, isto é, a 4.5 centímetros da parede da coluna as bolhas contactadas pelo sensor são geralmente maiores, proporcionando assim um diâmetro médio maior daquelas encontradas nas Figuras 5.1 e 5.2.

Quando o sensor se encontra próximo a parede da coluna (um centímetro da parede), verifica-se que o tamanho médio das bolhas apesar de ser influenciado pela vazão de líquido, é de forma pouco acentuada comparativamente com os casos onde o sensor está no centro ou a 4.5 cm da parede.

Independentemente da vazão de líquido, mas dentro do regime de fluxo tipo "froth", o tamanho médio das bolhas a uma distância fixa do prato é praticamente inalterada porque determinadas bolhas são mais abundantes em algumas regiões.

Zv (mm)	diâmetro médio (mm)		
	Zr = 0 mm	Zr = 45 mm	Zr = 80 mm
20	5.32105	6.12218	5.662083
50	6.51025	6.92376	6.31507
80	7.86645	7.50291	7.48
100	7.25136	7.94402	7.64981
120	8.11111	8.40432	7.81412

Tabela 5.4

$$W(\text{ar}) = 24.6406 \text{ g/seg}$$

$$Vs(\text{ar}) = 872.35 \text{ mm/seg}$$

$$Q(\text{água}) = 7.7119 \text{ ml/seg}$$

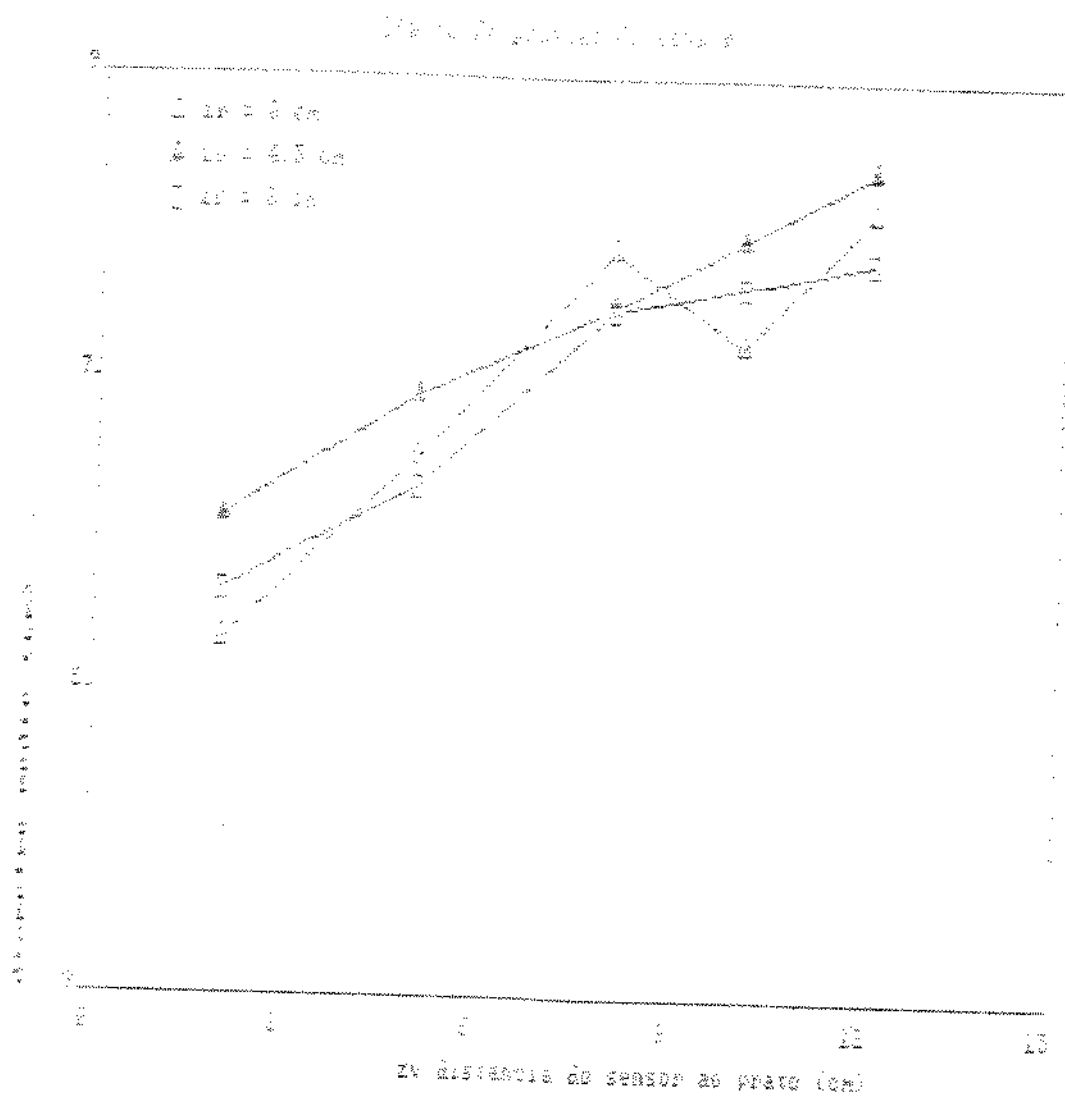


Figura 5.4

Parâmetro: Zr

Sistema: Ar-Água

Prato: D = 180 mm

Área livre = 6%

Vazão de líquido: constante

Vazão de gás: constante

Através da Figura 5.4 estuda-se o comportamento das bolhas levando-se em consideração a variação do tamanho das mesmas, mantendo-se constante a vazão de líquido e gás. Cada grupo de dados são coletados a uma distância fixa do prato perfurado, alterando-se somente a posição do sensor de forma radial.

Verifica-se que as bolhas que possuem tamanho médio maiores são encontradas na posição intermediária a distância máxima do prato perfurado. Isto ocorre devido ao fenômeno de máxima coalescência.

Independentemente da distância do sensor ao prato as bolhas tem tamanhos maiores na posição intermediária.

Zv (mm)	diâmetro médio (mm)		
	W1	W2	W3
20	5.01666	5.8416	4.48002
50	6.5037	9.08736	6.33768
80	8.19832	10.5514	9.21727
100	8.90245	12.4985	9.6999
120	9.00115	10.5809	11.598

Tabela 5.5

$$Z_r = 0.0 \text{ mm}$$

$$W_1(\text{ar}) = 24.6406 \text{ g/seg} \quad V_s = 872.35 \text{ mm/seg}$$

$$W_2(\text{ar}) = 27.3648 \text{ g/seg} \quad V_s = 968.80 \text{ mm/seg}$$

$$W_3(\text{ar}) = 29.8413 \text{ g/seg} \quad V_s = 1056.48 \text{ mm/seg}$$

$$\text{Prato: } D = 180 \text{ mm}$$

Área livre 6%

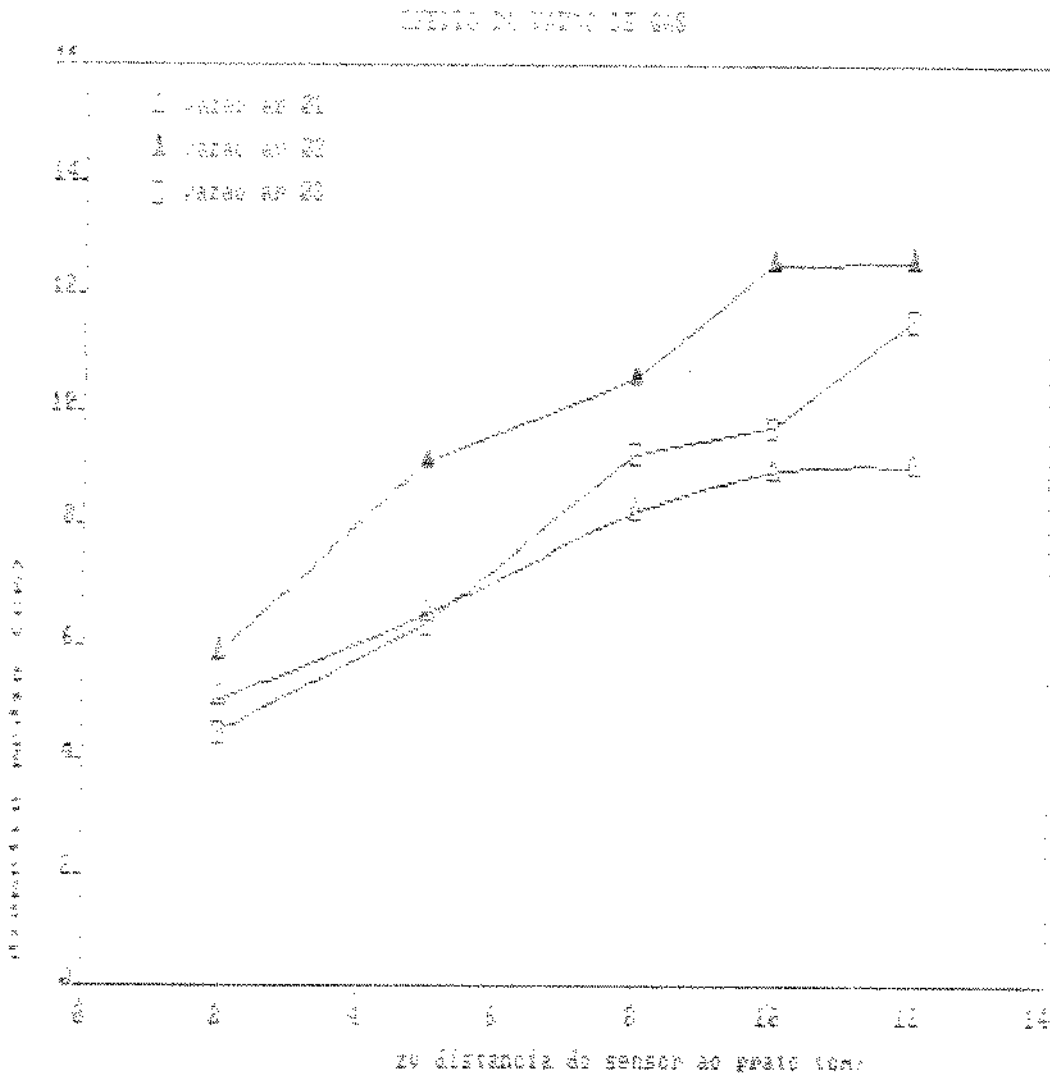


Figura 5.5

Parâmetro: vazão de ar

Sistema Ar-água

Prato: D = 180 mm

Área livre = 6%

5.2.3 - Efeito da vazão de gás

Como nos casos das Figuras anteriores, para cada ponto indicado pela Figura 5.5 foram coletados 224 bolhas para obtenção do tamanho médio das mesmas. Mantendo-se constante a vazão de ar e água varia-se a posição longitudinal do sensor, obtendo-se assim curvas que apresentam a variação do tamanho médio com a distância do sensor ao prato.

Verifica-se que a baixas e altas vazões de ar, as bolhas encontradas são menores que as encontradas quando a vazão de ar possui valor intermediário.

5.2.4 - Distribuição do tamanho das bolhas

Através da Figura 5.6 apresenta-se uma típica apresentação da distribuição do tamanho das bolhas dentro de uma dispersão ar-água. Essa dispersão do tipo "froth" é obtida sobre prato perfurado a vazão de líquido e gás constante como foi descrito anteriormente.

O tamanho da bolha é a dimensão equivalente ao diâmetro esférico, sendo que a fração do número de bolhas é característico para um determinado tamanho médio de bolha. Desta forma, utiliza-se da construção de histogramas que fornecem vários níveis contendo em cada um deles o tamanho médio, número de bolhas e a fração do número de bolhas equivalente.

Intervalo	Número de Bolhas	Diâmetro médio (mm)	Função Distribuição
2	16	4.81215	0.0421142
3	45	5.62716	0.138507
4	52	6.50531	0.18503
5	39	7.28627	0.155432
6	13	8.13916	0.0578753
7	17	9.15958	0.0851716
8	11	9.86713	0.0593682
9	6	10.9031	0.0357826
10	3	11.7361	0.0192582
11	3	12.3822	0.0203184
13	2	14.1906	0.0155239
17	1	17.3409	0.0094851
18	3	18.4512	0.0302772
19	1	19.8182	0.0108401
20	1	20.1185	0.0110044
21	1	21.0193	0.0114971
22	1	21.6066	0.0118183
23	1	22.4644	0.0122875
27	1	26.3492	0.0144125
30	1	28.6186	0.0156538
32	1	30.8983	0.0169007
70	1	63.0578	0.0344913

FILESORB - A

A partir dos dados experimentais constroem-se gráficos da distribuição do tamanho de bolhas. Verifica-se que a função distribuição gama truncada (item 4.3) fornece um bom ajuste para a respectiva situação de distribuição truncada.

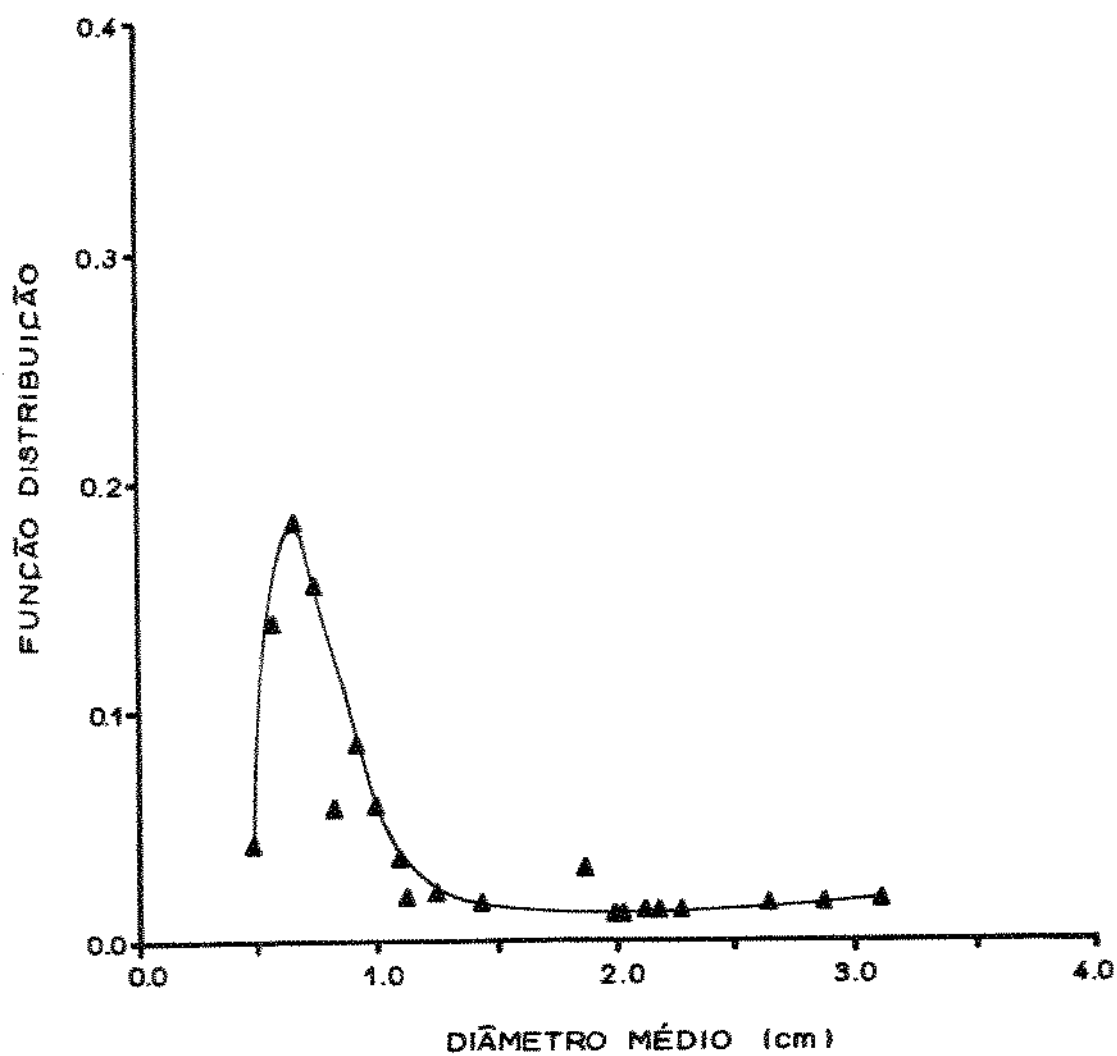


Figura 5.6

Zr = 0.0 mm		Zv = 20 mm	
Intervalo	Número de Bolhas	Diâmetro médio(mm)	Função Distribuição
1	50	3.95774	0.14179
2	62	4.69571	0.208604
3	42	5.59205	0.168287
4	23	6.45919	0.146447
5	15	7.32097	0.0786845
6	10	8.07738	0.0578762
7	2	9.07136	0.0189997
9	3	10.9579	0.0235547
10	5	11.7391	0.0320351
13	1	14.0619	0.0100757
14	1	15.4863	0.0110963
15	1	16.0511	0.011501
16	1	16.6473	0.0119282
22	1	22.333	0.0160021
31	1	29.7469	0.0213149
Zr = 0.0 mm		Zv = 50 mm	
1	20	4.1237	0.0641746
2	77	4.81848	0.2887
3	75	5.55503	0.324185
4	24	6.37253	0.119006
5	11	7.2666	0.062197
7	2	9.06409	0.0141059
9	2	10.641	0.0165599
14	3	14.9466	0.0208907
21	3	21.2706	0.0196532
Zr = 0.0 mm		Zv = 80 mm	
3	6	5.63675	0.0143736
4	24	6.52388	0.0665432
5	41	7.342449	0.127942
6	36	8.1931	0.125354
7	29	9.04228	0.111445
8	15	9.85333	0.0628146
9	10	10.8651	0.0461764
10	9	11.5869	0.0443196
11	6	12.3301	0.0314416
15	3	15.8838	0.0202517
16	4	16.5542	0.0211065
17	4	17.5326	0.0149026
24	2	23.6776	0.0100629
25	2	24.6774	0.0209757
26	1	25.4333	0.0108091
28	2	27.3689	0.0232634
41	1	38.2851	0.0162711
44	1	40.9876	0.0174196
66	1	59.9049	0.0254594

Tabela 5.7

Q(água)= 7.7119 ml/sec
W(ar)= 27.3648 g/sec

A Figura 5.7 mostra a variação da distribuição mantendo-se constante a posição radial central, alterando-se somente o nível vertical. Através da mesma verifica-se que o tamanho das bolhas encontradas aumenta com o respectivo aumento do nível vertical dentro da dispersão.

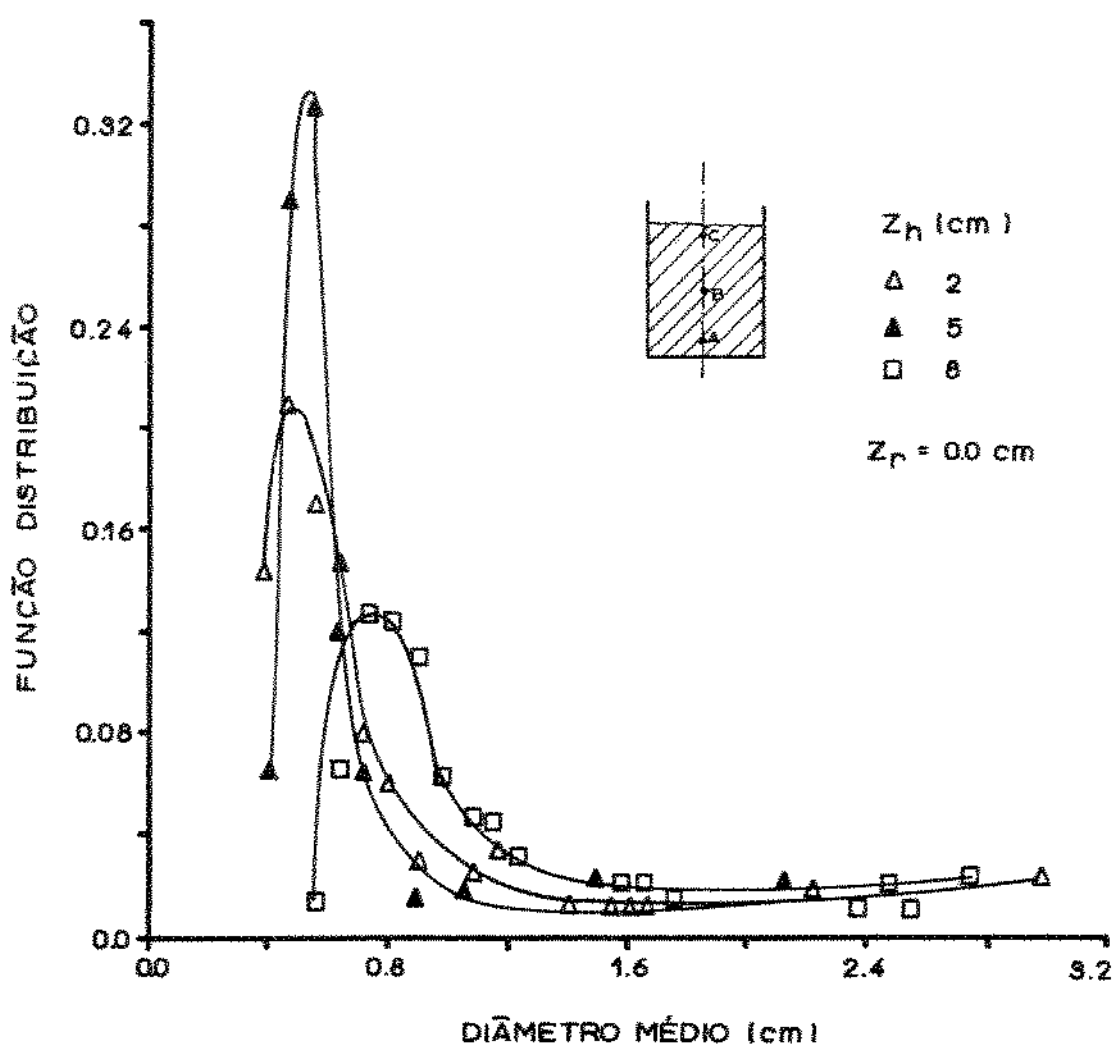


Figura 5.7 - Variação da distribuição do tamanho das bolhas com o nível vertical dentro da dispersão na posição central.

A Figura 5.8 mostra a variação da distribuição do tamanho das bolhas mantendo-se constante o nível vertical na parte superior da dispersão, alterando-se somente a posição radial. Compara-se dados obtidos de leituras efetuadas dentro da posição radial central e próximo à parede da coluna de vidro. Verifica-se através do gráfico que frequentemente encontra-se elevado número de bolhas maiores na posição central.

Considerando-se os dados obtidos da leitura efetuada no fundo da dispersão, a Figura 5.9 apresenta a distribuição do tamanho das bolhas na posição radial central e próximo da parede da coluna. De maneira contrária ao caso da Figura 5.8, existe uma tendência a encontrar bolhas maiores próximo a parede.

Assim, na posição radial central verifica-se que as bolhas maiores são encontradas na região acima da fase de grande movimentação e vice-versa.

$Z_r = 0.0 \text{ mm}$		$Z_v = 120 \text{ mm}$	
Intervalo	Número de Bolhas	Diâmetro médio (mm)	Função Distribuição
1	15	4.05314	0.0334622
2	42	4.7677	0.110212
3	43	5.57438	0.131928
4	39	6.49172	0.132347
5	19	7.28634	0.0761965
6	15	8.14283	0.0672262
7	9	9.16191	0.0493837
10	5	11.7551	0.0393495
12	6	13.3364	0.0440414
13	5	14.11792	0.0390206
15	3	16.1807	0.0267172
16	2	16.7938	0.018483
17	2	17.9758	0.0197875
19	1	19.4965	0.0107307
21	2	21.2188	0.0233573
22	1	21.6198	0.0118994
27	1	26.1505	0.014393
32	1	30.2152	0.0166302
39	1	36.7087	0.0202042
$Z_r = 80 \text{ mm}$		$Z_v = 120 \text{ mm}$	
1	5	4.14685	0.0110138
2	26	4.79178	0.0661789
3	49	5.61755	0.146215
4	39	6.44847	0.133589
5	27	7.35904	0.105544
6	17	8.17121	0.0737878
7	16	9.0066	0.0765474
9	6	10.7737	0.0343372
10	6	11.537	0.03677
11	4	12.3054	0.026146
12	4	13.486	0.0286545
16	2	16.6265	0.0176636
20	3	20.4583	0.0326017
22	1	22.1107	0.011745
23	1	23.1574	0.012301
29	2	27.9162	0.0296576
35	1	33.2805	0.0176782
52	1	47.924	0.0254567

Tabela 5.8

$Q(\text{água}) = 7.7119 \text{ ml/seg}$
 $W(\text{ar}) = 24.6406 \text{ a/seg}$

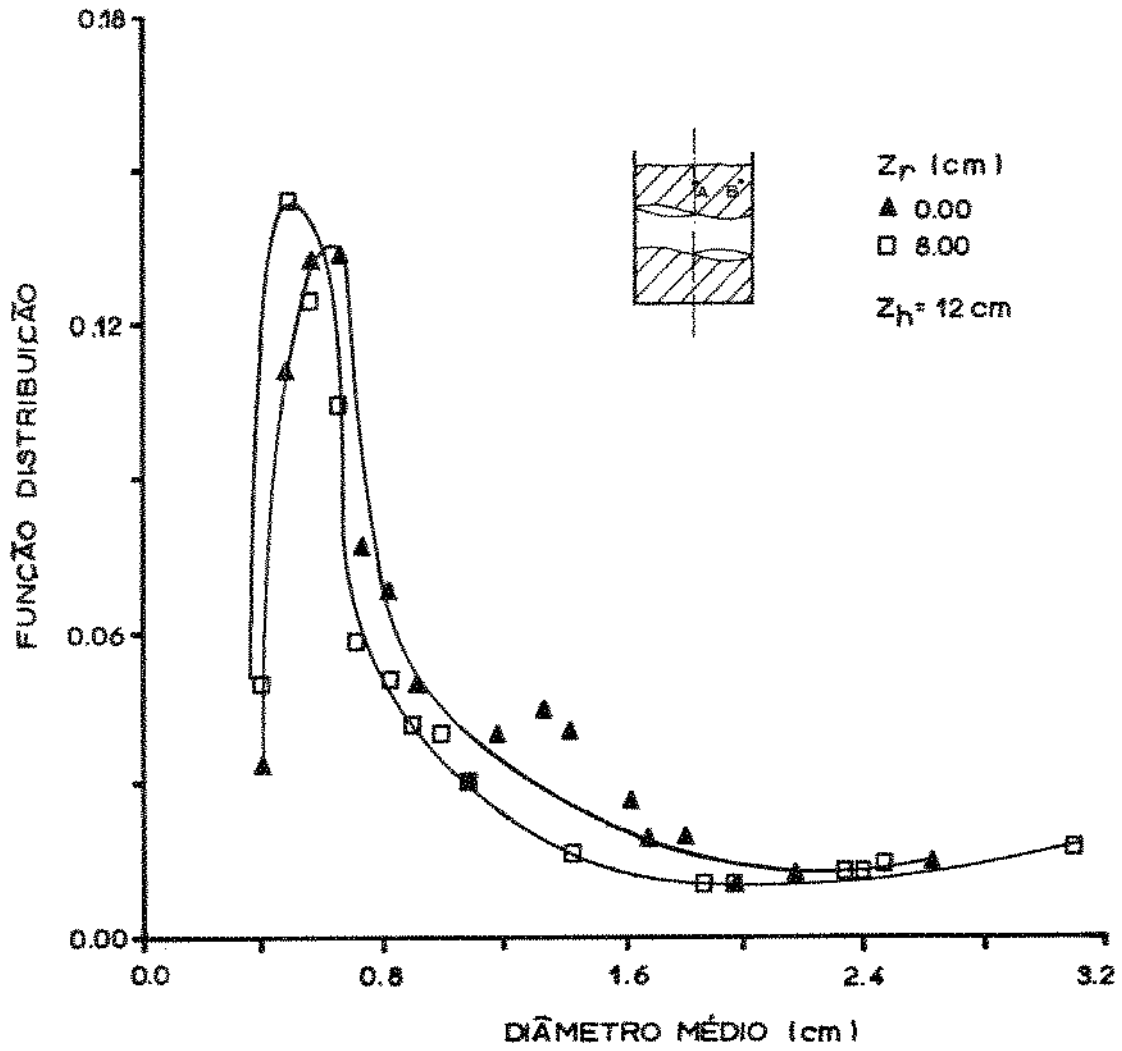


Figura 5.8 - Variação da distribuição do tamanho das bolhas com a posição radial no topo da dispersão.

Zr = 0.0 mm		Zv = 50 mm	
Intervalo	Número de Bolhas	Diâmetro médio(mm)	Função Distribuição
2	62	4.8464	0.206046
3	71	5.6021	0.272749
4	41	6.38562	0.179532
5	13	7.26435	0.0647581
6	10	7.95988	0.0545834
7	4	9.04664	0.0248143
8	3	9.80146	0.0201635
9	5	10.8701	0.0172695
10	3	11.7484	0.0201687
11	3	12.736	0.0172004
13	2	14.3649	0.0197009
15	1	15.9897	0.0109646
17	1	17.446	0.0119633
19	2	19.265	0.0144212
22	1	22.2557	0.0152613
Zr = 80 mm		Zv = 50 mm	
1	9	4.17538	0.0242297
2	55	4.80882	0.170534
3	58	5.58145	0.20873
4	32	6.3926	0.1511898
5	22	7.23305	0.102602
6	15	8.11829	0.0785174
7	5	9.20757	0.0526842
10	2	11.3838	0.01468
11	6	12.4109	0.0480136
13	2	14.2736	0.0184066
14	2	15.3047	0.0197363
15	3	15.6974	0.030364
16	1	16.7677	0.0108114
18	1	18.2868	0.0117909
20	1	20.2967	0.0130869
21	1	21.1694	0.0136496
29	1	28.376	0.0182962

Tabela 5.9

$$Q(\text{água}) = 7.7119 \text{ ml/seg}$$

$$Q(\text{ar}) = 24.6406 \text{ g/seg}$$

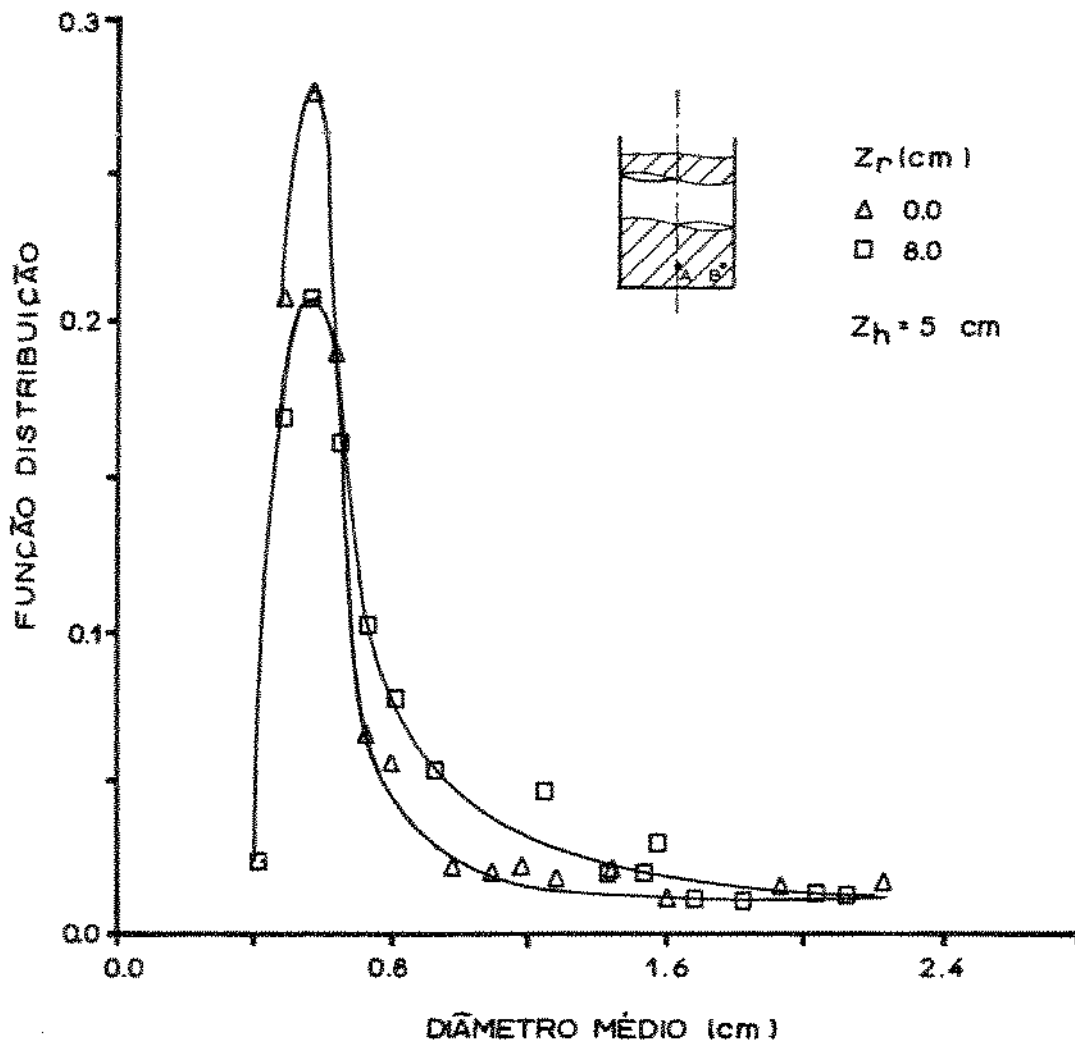


Figura 5.9 - Variação da distribuição do tamanho das bolhas com a posição radial na base da dispersão.

5.4 - CONCLUSÃO E SUGESTÕES

No presente trabalho foram desenvolvidas técnicas de aquisição de dados em tempo real por microcomputador. Utilizou-se um microcomputador da linha "APPLE" - UNITRON AP II dotado de uma interface de conversão analógico-digital de 8 bits.

Os programas de aquisição de dados foram desenvolvidos em linguagem assembler para microprocessador 8080 própria para o microcomputador utilizado.

O sistema de aquisição de dados desenvolvido foi aplicado ao estudo de uma dispersão gás-líquido, procurando-se estudar as propriedades das dispersões formadas sobre um prato perfurado quando ar e água escoam em contra-corrente.

A aquisição de parâmetros de bolhas da dispersão utilizando o microcomputador em linha com o processo, permite determinar propriedades fundamentais das dispersões e espera-se que em futuros trabalhos a técnica seja estendida para o cálculo de área interfacial gás-líquido, coeficiente de transferência de massa em sistemas destilantes e eficiência de contato.

Com as propriedades das bolhas estudadas neste trabalho tais como: tamanho, velocidade e distribuição, em função da vazão de gás, líquido e posição do sensor na distribuição, verificou-se que apresentavam resultados idênticos aos publicados na literatura.

Sugere-se também para futuros trabalhos a utilização de uma interface de conversão digital-analógico que em função dos

parâmetros das bolhas possa operar o sistema de modo a obter dispersões de máxima eficiência de contato gás-líquido e portanto utilizar o microcomputador em tempo real como sistema de controle.

A - MNEMÓNICOS DO PROCESSADOR ASSEMBLER 8080

n°	Instrução	Operação	Ciclos	Estados	Tempo μ seg
01	AGI	Soma imediata com carry	2	7	2.3
02	ADC	Soma com carry	1-2	4-7	1.3-2.3
03	ADD	Soma	1-2	4-7	1.3-2.3
04	ADI	Soma imediata	2	7	2.3
05	ANA	AND Lógico com o acumulador	1-1	4-7	1.3-2.3
06	ANI	AND imediato com acumulador	2	7	2.3
07	CALL	Chama subrotina	5	17	5.5
08	CC	Chama subrotina se houver carry	3-5	11-17	3.6-5.3
09	CM	Chama subrotina se negativa	3-5	11-17	3.6-5.3
10	CMA	Complementa o acumulador	1	4	1.3
11	CMC	Complementa a Flag carry	1	4	1.3
12	CMP	Compara com o acumulador	1-2	4-7	1.3-2.3
13	CNC	Chama subrotina se não houver carry	3-5	11-17	3.6-5.3
14	CNZ	Chama subrotina se não zero	3-5	11-17	3.6-5.3
15	CP	Chama subrotina se positivo	3-5	11-17	3.6-5.3
16	CPE	Chama subrotina se paridade par	3-5	11-17	3.6-5.3
17	CPI	Compara um dado imediato	2	7	2.3
18	CPO	Chama subrotina se paridade ímpar	3-5	11-17	3.6-5.3
19	CZ	Chama subrotina se zero	3-5	11-17	3.6-5.3
20	DAA	Ajuste decimal do acumulador	1	4	1.3
21	DAD	Soma o registrador duplo	3	10	3.3
22	DCR	Decremento	1-3	5-10	1.6-3.3
23	DCX	Decremento o par de registradores	1	5	1.6
24	DI	Desabilita interrupções	1	4	3
25	EI	Habilita interrupções	1	4	1.3
26	HLT	Retenção	1	7	2.3
27	IN	Entrada através de porta	3	10	3.3
28	INR	Incrementa	1-3	5-10	1.6
29	INX	Incrementa par de registradores	1	5	1.6
30	JC	Salta se houver carry	3	10	3.3
31	JM	Salta se negativo	3	10	3.3
32	JMP	Salta	3	10	3.3
33	JNC	Salta se não houver carry	3	10	3.3
34	JNZ	Salta se não zero	3	10	3.3
35	JP	Salta se positivo	3	10	3.3
36	JPE	Salta se a paridade for par	3	10	3.3
37	JPO	Salta se a paridade for ímpar	3	10	3.3
38	JZ	Salta se zero	3	10	3.3
39	LDA	Carrega acumulador diretamente	4	13	4.2
40	LDAX	Carrega acumulador indiret.	2	7	2.3

cont. Inuacão

41	LHLD	Carrega HL diretamente	5	16	5.2
42	LXI	Carrega par de registradores com dado imediato	3	10	3.3
43	MOV	Move	1-2-2	5-7-7	1.6-2.3
44	MVI	Move imediato	2-3	7-10	2.3-3.3
45	NOP	Não operação	1	4	1.3
46	ORA	Inclusive OR com acumulador	1-2	4-7	1.3-2.3
47	ORI	Inclusive OR imediato	2	7	2.3
48	OUT	Saída por porta	3	10	3.3
49	PCHL	Mover HL para o contador de programa	1	5	1.6
50	POP	Retira do topo do stack	3-3	10-10	3.3-3.3
51	PUSH	Cedoca no topo do stack	3-3	11-11	3.6-3.6
52	RAL	Girar para a esquerda através do Carry	1 1	4 4	1.3 1.3
53	RAR	Girar para a direita através do carry	1	4	1.3
54	RC	Retorno se houver carry	1-3	5-11	1.6-3.6
55	RET	Retorno de sub-rotina	3	10	3.3
56	RLC	Girar o acumulador para esquerda	1	4	1.3
57	RM	Retorno se negativo	1-3	5-11	1.6-3.6
58	RNC	Retorno se não houver carry	1-3	5-11	1.6-3.6
59	RNZ	Retorno se não zero	1-3	5-11	1.6-3.6
60	RP	Retorno se positivo	1-3	5-11	1.6-3.6
61	RPE	Retorno se paridade for par	1-3	5-11	1.6-3.6
62	RPO	Retorno se paridade for ímpar	1-3	5-11	1.6-3.6
63	RRC	Girar o acumulador para direita	1	4	1.3
64	RST	Recomeça	3	11	3.6
65	RZ	Retorno se zero	1-3	5-11	1.6-3.6
66	SBB	Subtração com carry	1-2	4-7	1.3-2.3
67	SBI	Subtração imediata com carry	2	7	2.3
68	SHLD	Armazenar par de registradores HL diretamente	5	16	5.2
69	SPHL	Mover par de registradores HL para Stack pointer	1	5	1.6
70	STA	Armazenar acumulador diretamente	4	13	4.2

71	STAX	Armazenar acumulador indiret.	2	7	2.3
72	STC	Setar a flag carry	1	4	1.3
73	SUB	Subtrair	1-2	4-7	1.3-2.3
74	SUI	Subtração imediata	2	7	2.3
75	XCHG	Troca HL com DE	1	4	1.3
76	XRA	OU exclusivo com acumulador	1-2	4-7	1.3-2.3
77	XRI	OU exclusivo imediato com acumulador	2	7	2.3
78	XTHL	Troca HL c/ início do Stack	5	18	5.9
		1 ^o REGISTRADOR-REGISTRADOR			
		2 ^o REGISTRADOR-MEMORIA			
		3 ^o MEMORIA-REGISTRADOR			
		Nestes casos o menor número de estados ciclos ocorre quando a condição testada pela instrução não satisfeita			
		Primeiro referente ao registrador			
		Segundo a posição de memória endereçada pelo par HL			

B - PROGRAMA GRDU6502.ASM

Com a aquisição da placa periférica Z80 acoplada ao microcomputador APPLE II, a obtenção de gráficos que transmitem as leituras efetuadas em tempo real pelos dois sensores, só é possível com conhecimento básico dos microprocessadores Z80, 8080 e 6502. Estabelece-se que a tela gráfica utilizada é constituída por 24 linhas e 40 colunas.

O compilador assembler incluso no CPMB0 é ASM.COM. Apesar da placa possuir os mnemonicos do Z80, o compilador ASM só reconhece os do 8080, então a programação utiliza-se da linguagem assembler com mnemônicos do mesmo.

O programa GRDU6502 apresenta 256 pontos na video tela que representam a amostragem da tensão contactada pelo sensor. A variação no valor da tensão identifica a passagem das bolhas. Estabeleceu-se que o intervalo de leitura é de 500 milissegundos.

Como a apresentação dos gráficos é de forma contínua e o equipamento de contato é constituído de dois sensores elétricos, elabora-se o programa tal que os canais se alternem a cada vinte apresentações de um único sensor.

A distinção entre os canais é reconhecida por meio de um traço vertical de aproximadamente um centímetro de comprimento no canto superior esquerdo da tela quando a amostragem é do canal um.

A seguir apresentamos a listagem do programa GRDU6502.

```

;*****
;*** Programa: apresentar gráficos *****
;*** Programador: Margareth *****
;*** Sistema: Z80 *****
;*** Linguagem: assembler 8080 *****
;*****

```

```

:este programa apresenta gráficos que representam a
:leitura dos canais 00 e 01 utilizando subrotina para
:leitura da placa analógico digital. apresenta símbolo
:de diferenciação entre os canais.

```

```

;*****definição das constantes*****

```

```

003C      GTEMPO      EQU      003CH      ;60D-intervalo de leitura=501useq
OFFF      GTEMPO1    EQU      OFFFH
4200      ENDER      EQU      4200H      ;endereço inicial para armazenagem
00FF      COMP      EQU      00FFH      ;número de leituras
F300      AM0       EQU      0F30H      ;end do canal 00 (300H no 6502)
F301      AM1       EQU      0F301H    ;end do canal 01 (301H no 6502)
F3DE      LZ80      EQU      0F3DEH    ;endereço para chaveamento
F3D0      L6502     EQU      0F3D0H    ;endereço para chaveamento
0800      XCONT     EQU      800H      ;endereço do contador de gráficos
0801      XCONT1    EQU      801H      ;end.do contador de gráficos C01
0000      ZERO      EQU      0000H
00A0      FAT       EQU      000AH      ;número de gráficos de cada canal

```

```

0100      ORG      0100H
0100 CD9403  INIC0:  CALL  ZERA
0103 210042  INIC1:  LXI   H,ENDER ;carrega 4200H no par HL
0106 06FF    MVI   B,COMP ;mova 255 para registrador B
0108 AF      XRA   A ;introdução de zero no acumul.
0109 CD0002  LOOP1:  CALL  ANADIG
010C 3A00F3  LDA   AM0 ;carrega 'A' com conteúdo end.AM0
010F 77      MOV   M,A ;mova conteúdo do acumulador para
;memória endereçada pelo par HL
0110 3E3C    MVI   A,GTEMPO;gastando tempo
0112 3D      LOOP2:  DCR   A ;diminui um do conteúdo de 'A'
0113 C21201  JNZ   LOOP2 ;se diferente de zero volte
0116 23      INX   H ;incrementa um no par HL
0117 05      DCR   B ;diminua um do conteúdo de 'B'
0118 C20901  JNZ   LOOP1 ;se diferente de zero volte
011B C31903  JMP   AQUI ;vá para label AQUI
011E CD9403  INIC2:  CALL  ZERA
0121 210042  INIC3:  LXI   H,ENDER ;carrega 4200H no par HL
0124 06FF    MVI   B,COMP
0126 AF      XRA   A
0127 CD0003  LOOP3:  CALL  ANADIG1
012A 3A01F3  LDA   AM1 ;carrega 'A' com conteúdo AM1
012D 77      MOV   M,A ;carrega cont.de AM2 na memória
012E 3E3C    MVI   A,GTEMPO
0130 3D      LOOP4:  DCR   A
0131 C23001  JNZ   LOOP4
0134 23      INX   H

```

```

0135 05          DCR  B      ;se cont.de 'B' for diferente
0136 C22701     JNZ  LOOP3   ;de zero volte para label LOOP3
0139 C35503     JMP  AQU11   ;se conteúdo de B=0 vá p/ AQU11

```

```

;subrotina para leitura do canal 00 e 01

```

```

0200          ORG 200H
0200 32D0E0     ANADIG: STA OEODOH
0203 00          NOP
0204 00          NOP
0205 00          NOP
0206 00          NOP
0207 00          NOP
0208 00          NOP
0209 00          NOP

```

```

020A 3AD1E0     LAÇO:  LDA OEOD1H
020D E601       ANI 0001H
020F CA0A02     JZ   LAÇO
0212 3AD0E0     LDA OEODOH
0215 3200F3     STA OF300H
0218 C9         RET

```

```

0300          ORG 300H
0300 32D1E0     ANADIG1: STA OEOD1H
0301 00          NOP
0302 00          NOP
0303 00          NOP
0304 00          NOP
0305 00          NOP
0306 00          NOP
0307 00          NOP
0308 00          NOP
0309 00          NOP

```

```

030A 3AD1E0     LACD1:  LDA OEOD1H
030D E601       ANI 0001H
030F CA0A03     JZ   LACD1
0312 3AD0E0     LDA OEODOH
0315 3201F3     STA OF301H
0318 C9         RET

```

```

; subrotinas

```

```

0319 CDC503     AQU1:  CALL INIGRAF
031C 210042     LXI  H,4200H ;carrega 4200H em HL
031F 3E00       MVI  A,0000H ;move 000H para acumulador
0321 57         MOV  D,A
0322 5F         MOV  E,A
0323 3EFF       MVI  A,00FFH ;transfere 255D p/ acumulador
0325 47         MOV  B,A
0326 4E         GRAF:  MOV  C,M   ;transfere conteúdo endereçado
                                ;pelo par HL em C
0327 79         MOV  A,C
0328 1F         RAR          ;divisão do conteúdo de 'A'
0329 4F         MOV  C,A
032A 3E96       MVI  A,150D
032C 91         SUB  C    ;150-(conteúdo de 'C')
032D 32DC03     STA  ENDA

```

```

0330 7B      MOV  A,E
0331 32DE03  STA  ENDX
0334 7A      MOV  A,D
0335 32E003  STA  ENDY
0338 23      INX  H
0339 13      INX  D
033A CDB803  CALL PLOT
033D 05      DCR  B
033E C22603  JNZ  GRAF ;se conteúdo de B for diferente
                ;de zero volte para GRAF

0341 E5      PUSH H
0342 2A0008  LHLD XCONT
0345 23      INX  H
0346 220008  SHLD XCONT
0349 E1      POP  H
034A 3A0008  LDA  XCONT ;condição para que seja amostra-
                ;do dez vezes o canal 00

034D FE0A   CPI  FAT

034F CA1E01  JZ   INIC2

0352 C30301  JMP  INIC1
0355 CDC503  AQU11: CALL INIGRAF
0358 CDA303  CALL TRACO
035B 210042  LXI  H,4200H ;carrega 4200H no par HL
035E 3E00    MVI  A,0000H
0360 57      MOV  D,A
0361 5F      MOV  E,A
0362 3EFF    MVI  A,00FFH
0364 47      MOV  B,A
0365 4E      GRAF1: NOV C,M ;carrega conteúdo da memória
                ;HL em 'C'

0366 79      MOV  A,C
0367 1F      RAR  ;divisão do conteúdo de 'A'
0368 4F      MOV  C,A
0369 3E96    MVI  A,150D
036B 91      SUB  C ;150-(conteúdo de 'C')
036C 32DC03  STA  ENDA
036F 7B      MOV  A,E
0370 32DE3   STA  ENDX
0373 7A      MOV  A,D
0374 32E003  STA  ENDY
0377 23      INX  H
0378 13      INX  D
0379 CDB803  CALL PLOT
037C 05      DCR  B
037D C26503  JNZ  GRAF1 ;se conteúdo de B for diferente
                ;de zero volte para GRAF1

0380 E5      PUSH H
0381 2A0108  LHLD XCONT1
0384 23      INX  H
0385 220108  SHLD XCONT1
0388 E1      POP  H
0389 3A0108  LDA  XCONT1
038C FE0A   CPI  FAT

```



```

038E CA0001      JZ   INICO
0391 C32101      JMP  INIC3
0394 210008      ZERA: LXI  H,0800H ;coloca zeros nos enderecos
0397 3600        MVI  M,ZERO ;800H,801H,802H,803H
0399 23         INX  H
039A 3600        MVI  M,ZERO
039C 23         INX  H
039D 3600        MVI  M,ZERO
039F 23         INX  H
03A0 3600        MVI  M,ZERO
03A2 C9         RET
03A3 160A       TRACO: MVI  D,000AH
03A5 AF        TRACO1: XRA  A
03A6 32DE03     STA  ENDX
03A9 32E003     STA  ENDY
03AC 7A         MOV  A,D
03AD 32DC03     STA  ENDA
03B0 CDB803     CALL PLOT
03B3 15         DCR  D
03B4 C2A503     JNZ  TRACO1
03B7 C9         RET
03B8 E5        PLOT: PUSH H
03B9 21DB13     LXI  H,LOT+1000H
03BC 22D0F3     SHLD L6502
03BF 2ADEF3     LHLD LZ80
03C2 77         MOV  M,A
03C3 E1         POP  H
03C4 C9         RET
03C5 21D013     INIGRAF: LXI  H,IGRAF+1000H
03C8 22D0F3     SHLD L6502
03CB 2ADEF3     LHLD LZ80
03CE 77         MOV  M,A
03CF C9         RET
03D0 2058FC     IGRAF:  DB 0020H,0058H,00FCH
03D3 20E2F3     DB 0020H,00E2H,00F3H
03D6 A955      DB 00A9H,0055H
03D8 851C      DB 0085H,001CH
03DA 60        DB 0060H
03DB A9        LOT:  DB 00A9H ;LDA
03DC 00        ENDA: DB 0000H
03DD A2        DB 00A2H
03DE 00        ENDX: DB 0000H
03DF A0        DB 00A0H
03E0 00        ENDY: DB 0000H
03E1 2057F4     DB 0020H,0057H,00F4H
03E4 60        DB 0060H
03E5          FIM:  END

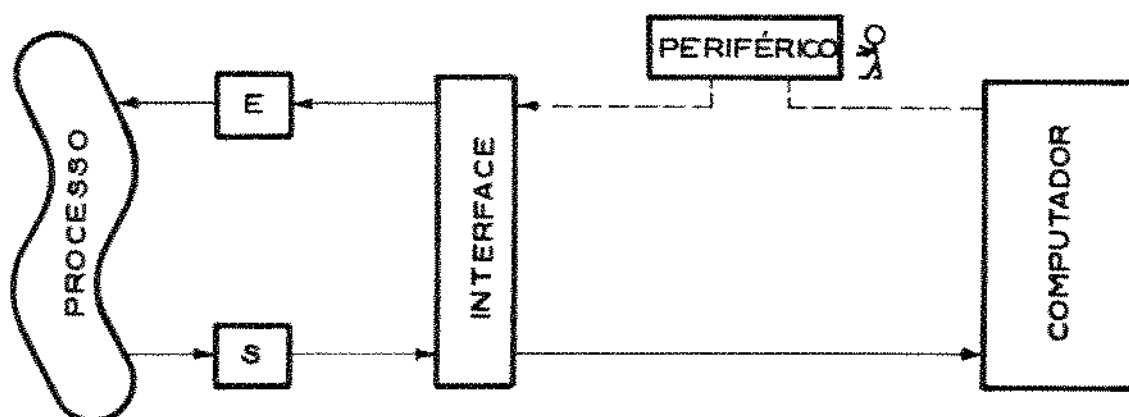
```

C - SISTEMA ON-LINE

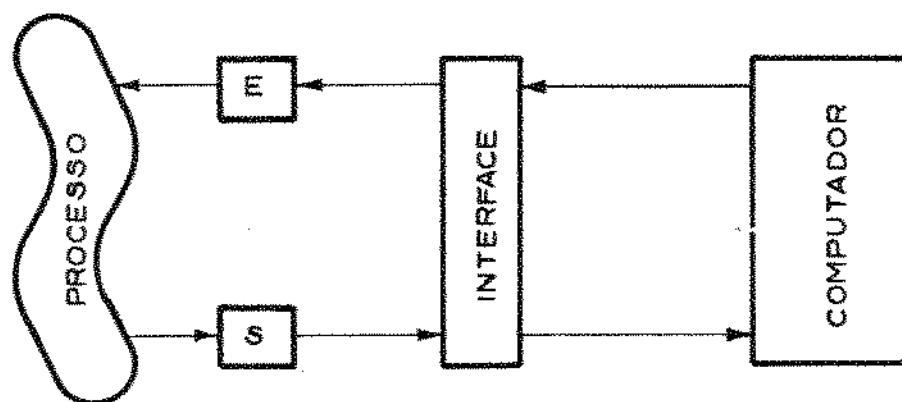
Sistema "on-line" é aquele que está conectado fisicamente ao processo, de modo a receber informações sem intervenção humana ou atrasos. Isto significa que o computador tem a capacidade de aceitar sinais diretamente dos instrumentos do processo e de convertê-los numa forma apropriada para processamento.

O termo "on-line" refere-se exclusivamente ao método de entrada de dados no computador, enquanto a saída de um computador de processo pode ser aplicado ao processo através de um intermediário, como o caso "off-line", ou diretamente, isto é, do tipo malha fechada (closed-loop) ou malha aberta (open-loop).

A Figura C.1 apresenta a configuração "on-line", "open-loop", onde nota-se a presença de um operador no processo de comunicação entre o computador e o processo.



O sistema "on-line" em malha fechada automático é representado pela Figura C.2; verifica-se desta forma que não existe necessidade da intervenção manual, e as ações de controle calculadas e recomendadas pelo computador são aplicadas diretamente ao processo. Isto significa que o sistema de controle por computador possui os atributos necessários para enviar sinais numa forma compatível com os instrumentos do processo.



O controle em malha fechada pode ser direto ou de supervisão. Quando o computador executa tarefa de supervisão, ele envia sinais para a modificação do "set-point" de controladores. Quando executa tarefa de controle digital direto, o computador atua por si a função de controlador e seus sinais são enviados diretamente ao elemento final de controle, como exemplo, uma válvula atuadora.

Os computadores de processos digitais podem ser instalados para a função principal, e não exclusivamente para substi-

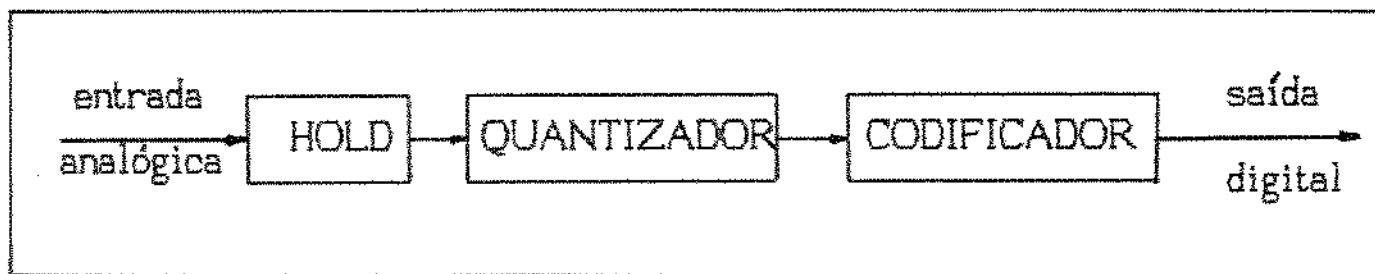
tuir um número de controladores analógicos e outros componentes de malhas convencionais.

D - CONVERSOR ANALÓGICO-DIGITAL

A conversão analógica-digital, ou simplesmente codificação, consiste na transformação da informação numérica contida em um sinal analógico em uma palavra codificada digitalmente. O processo de conversão analógico-digital é mais complexo que a conversão digital-analógica, necessitando de circuitos mais elaborados.

Para conversão de um sinal que varia em função do tempo da forma analógica para digital, executa-se as seguintes operações: amostragem e Hold ("sample-and-hold"), quantização e codificação. A operação Hold não é indispensável, entretanto o tempo de conversão de um A/D não é nulo.

A Figura D.1 mostra a representação em diagrama de blocos, de um conversor A/D.



O conversor analógico-digital, compatível com o micro-computador da linha APPLE II, possui 16 canais multiplexados com 8 bits de resolução, e tempos de conversão menores que 100 microssegundos por canal. Este conversor só aceita tensores positivos que variam entre zero a 5.12 volts, dando assim 20 mV de resolução.

Para a aquisição de dados, com a interface A/D, necessitamos de uma subrotina em linguagem de máquina para ler todos os 16 canais e armazenar seus conteúdos em localizações bem definidas na memória do microcomputador. Esta subrotina está escrita em linguagem Assembler-8080 como demonstrado a seguir.

E - SUBROTINAS

E1 - Subrotina para preencher o buffer com códigos de espaço

Programa: Temporização para cálculo da velocidade e diâmetro

nome do programa: VELDIM

nome da subrotina: ZERBUFF

linguagem: Assembly 8080

registradores usados: HL,B

tempo: 87 estados, 25 ciclos, 28.297 10^{-6} seg

tamanho: 19 bytes

```
ZERBUFF: LXI H,BUFF
          MVI B,255D
          MVI A,0020H
LOPP1:  MOV M,A
          INX H
          DCR B
          JNZ LOPP1
          LXI H,BUFF
          SHLD XCONT
          RET
```

E2 - Subrotina para carregar o bloco de memória reservado para a FCB, isto é, para entrada e saída via disco com zeros

Programa: Temporização para cálculo da velocidade e diâmetro

nome do programa: VELDIM

nome da subrotina: ZERFCB

linguagem: Assembly 8080

registradores: HL,B,A

tempo: 61 estados, 17 ciclos, 19.84 10^{-6} seg

tamanho: 14 bytes

```
ZERFCB: LXI H,FCB
        MVI B,0022H
        MVI A,0000H
FLOOP: MOV M,A
        INX H
        DCR B
        JNZ FLOOP
        RET
```


E3 - Subrotina gravar o conteúdo do buffer

Programa: Temporização para cálculo da velocidade e diâmetro

nome do programa: VELDIM

nome da subrotina: GRVBUFF

linguagem: Assembly 8080

registradores: DC

tempo: 44+x estados

tamanho: 9 bytes

```

GRVBUFF: MVI C,0015H
          LXI D,ARQU
          CALL 0005H
          RET

```

E4 - Subrotina para efetuar entrada de dados via teclado

converte uma "string" em número

Programa: Temporização para cálculo da velocidade e diâmetro

nome do programa: VELDIM

nome da subrotina: INTRO

saída: o número digitado via teclado é carregado no endereço VD

registradores: DE,BC,A,HL

tempo: 458+2x estados

tamanho 133 bytes

```

INTRO:  LXI D,MSGBFF      ; imprime uma string cujo endereço
        MVI  C,0009H     ; está em DE
        CALL 0005H
        LXI D,BDOSBUF    ; carrega uma cadeia de caracteres
        MVI C,000AH     ; (digitado no teclado) no buffer
        CALL 0005H      ; apontado por DE
        LXI H,INIBUFF    ; INIBUFF indica nº de caracteres
DEC2TIN: MOV A,M         ; número de caracteres
        MOV B,A         ; este bloco da subrotina efetua
        INX H          ; a entrada caracteres via teclado
        SUB A          ; e carrega estes caracteres no
        STA NGFLAG     ; buffer BDNOSRIFF
        LXI D,0000H
        ORA R
        JZ  FFFEXIT
INIT1:  MOV A,M
        CPI 0020H
        JNZ PLUS
        MVI A,00FFH
        STA NGFLAG
        INR C
PLUS:   CPI 0020H
        INR C
CVID:   INX H
        DCR B
        JZ  FFFEXIT

```

Subrotina CNVERT - converte a "string"

Este bloco faz a conversão dos caracteres decimais do buffer
BDOSBUFF em um número binário

```
CNVERT: MOV A,M
CHKDIG: SUI 0030H
        JC EREXIT
        CPI 00AH
        JNC FREXIT
        MOV C,A
        PUSH H
        XCHG
        DAD H
        MOV E,L
        MOV D,H
        DAD H
        DAD H
        DAD H
        MOV E,C
        MVI D,0000H
        DAD D
        XCHG
        POP H
        INX H
        DB 0010H,00E3H
        XCHG
        LDA NGFLAG
        ORA A
```

```
JZ OKEXIT
XCHG
LXI H,0000H
ORA A
DB 00EDH,0052H
OKEXIT: MOV E,L
        LXI H,VD
        MOV M,E
        RET
EREXIT: JMP INTRO
NGFLAG: DS 1
MSGBFF: "Voltagem digital"
BDOSBUF:DB 0010H
INIBUFF:DB 010H
```

E5 - Subrotina para converter o conteúdo do par HL em cadeia de caracteres representativos

Programa: Temporização para cálculo da velocidade e diâmetro

nome do programa: VELDIM

nome da subrotina: UBYTE

linguagem: Assembly 8080

entrada: HL

saída: cadeia de caracteres correspondente está do buffer

registradores: HL,A,BC

tempo: aproximadamente 376 estados. 122.294. 10 (-6) seq

tamanho: 52 bytes

```

UBYTE:  CALL CONVERT
        PUSH H
        MOV A,H
        CALL COLBUFF
        POP H
        MOV A,L
        CALL COLBUFF
        RET

```

```

COLBUFF: LHL D XCONT  ; Coloca um caracter no buffer
        MOV M,A
        INX H
        SHLD XCONT
        RET

```

```
CONVERT: MOV B,A      ; Guardar o valor de A em B
          ANI 00FOH   ; máscara
          RRC
          RRC
          RRC
          RRC
          CALL TRANSF ; Converte um meio byte (o da frente)
          MOV H,A     o do 'C'
          MOV A,B
          ANI 00OFH
          CALL TRANSF ; Converte o segundo meio byte,o do 'C'
          MOV L,A
          RET
TRANSF:  CPI 000AH
          JC ALI
          ADI 0007H
ALI:    ADI 0030H
          RET
```

E6 - Subrotinas para incrementação

Programa: Temporização para cálculo da velocidade e diâmetro

nome do programa: VELDIM

nome das subrotinas: INCR - INCVE - INCDI

linguagem: Assembly 8080

registradores: HL

tempo: 22.117 10⁽⁻⁶⁾ , 21.792 10⁽⁻⁶⁾ seg

tamanho: 10 bytes cada uma das subrotinas de incrementação

Contador do número de bolhas - usada para controlar o número de bolhas amostradas

```

INC:  PUSH H
      LHLD CONT
      INX H
      SHLD CONT
      POP H
      RET

```

Contador para cálculo da velocidade - usada para o cálculo do tempo de permanência do sensor em líquido

```

INCVE: PUSH H
       LHLD CTV
       INX H
       SHLD CTV
       POP H
       RET

```

Contador para cálculo do tamanho - usada para o cálculo do tempo
de permanência do sensor em gás

INCDI. PITCH H

IHI D CTV

INX H

SHI D CTD

PDP H

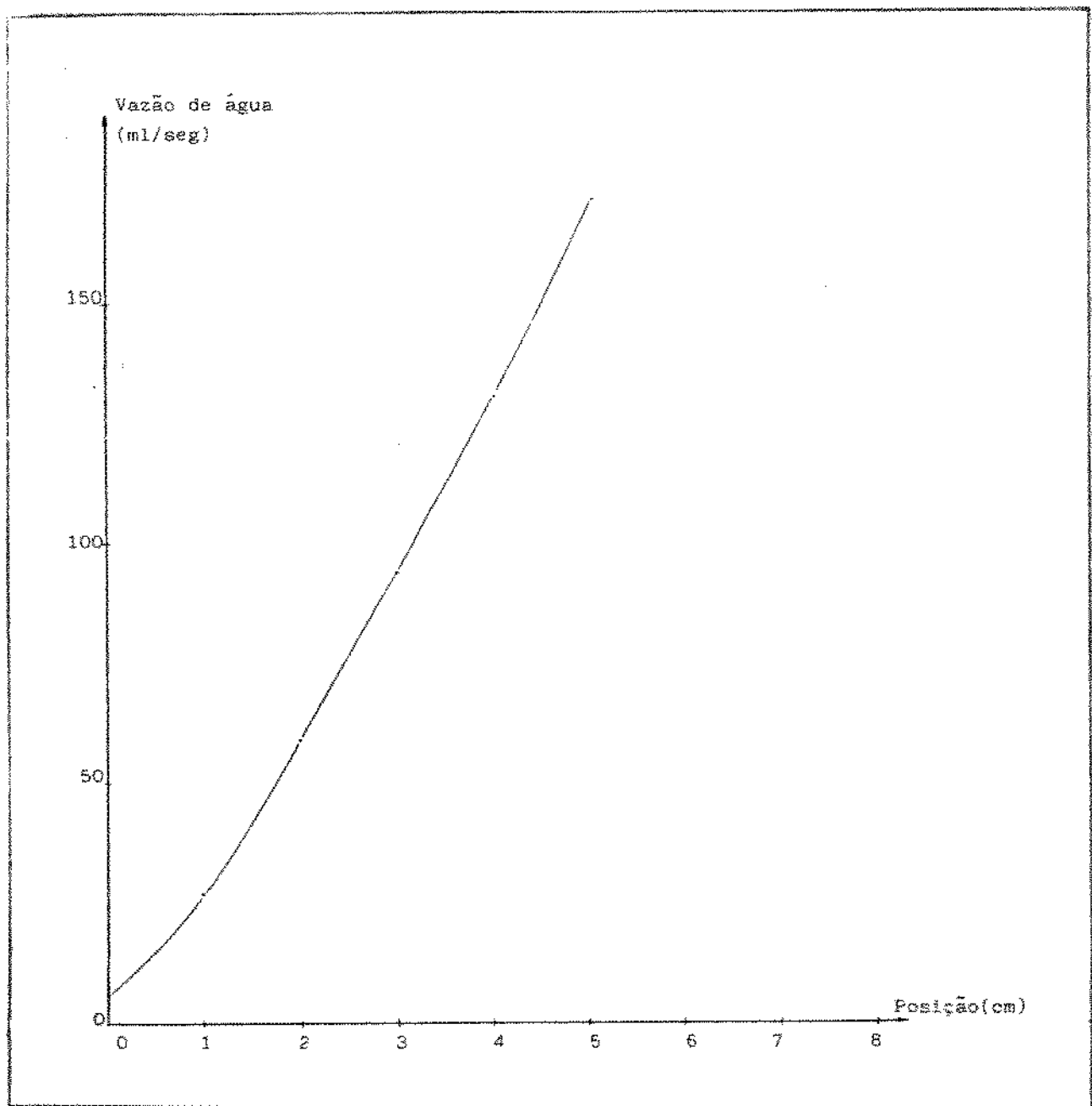
RFT

F1 - CALIBRACÃO DO ROTÂMETRO

Leitura de dados para curva de calibração

Posição	Volume	Tempo	Vazão
E	V _m	T	Q
(cm)	(ml)	(seg)	(ml/seg)
0	35.10	60	0.5850
1	163.75	60	2.7292
2	352.50	60	5.8750
3	280.0	30	9.3333
4	392.50	30	13.0834
5	512.25	30	17.0750
6	340.0	15	22.6667
8	491.25	15	32.7500
9	555.00	10	37.00

Curva de calibração



Equação

Programa utilizado para obtenção dos coeficientes - AJIISI.IN.BAS

$$VZ = A + BX + CX(2)$$

$$VZ = B(1) + B(2) + B(3)X(2)$$

$$B(1) = 0.207328$$

$$S(1) = 0.4337029368$$

$$B(2) = 2.555548$$

$$S(2) = 0.226346199$$

$$B(3) = 0.178478$$

$$S(3) = 0.023958627$$

$$VZ = 0.2073 + 2.5556 X + 0.1785 X(2)$$

F2 - CALIBRACÃO DA PLACA DE ORIFÍCIO

A equação da taxa de fluxo para a placa de orifício é:

$$W = 3.44 \cdot F \cdot c \cdot a^2 \sqrt{\frac{1}{(1-q)} \cdot dh \cdot \frac{710}{(273+t)}}$$

onde:

W....vazão mássica (Kg/h)

F....fator de compressibilidade

c....coeficiente de descarga

a2...área do orifício

q....diâmetro do orifício/diâmetro do tubo

Através da equação acima calcula-se a vazão mássica.

para:

diâmetro da placa de orifício: 2.75 cm

diâmetro do tubo: 5.4 cm

diâmetro da coluna: 18 cm

coeficiente de descarga: 0.625

temperatura: 25 C

$$W = 22.9039 \sqrt{dh}$$

Velocidade superficial do ar = $\frac{\text{Vazão}}{\text{(massa específica)(área do prato)}}$

dh (mm)	W (Kg/h)	Vs (mm/s)
135	84.154163	827.559
150	88.706277	872.35
185	98.513236	968.80
220	107.42864	1056.48

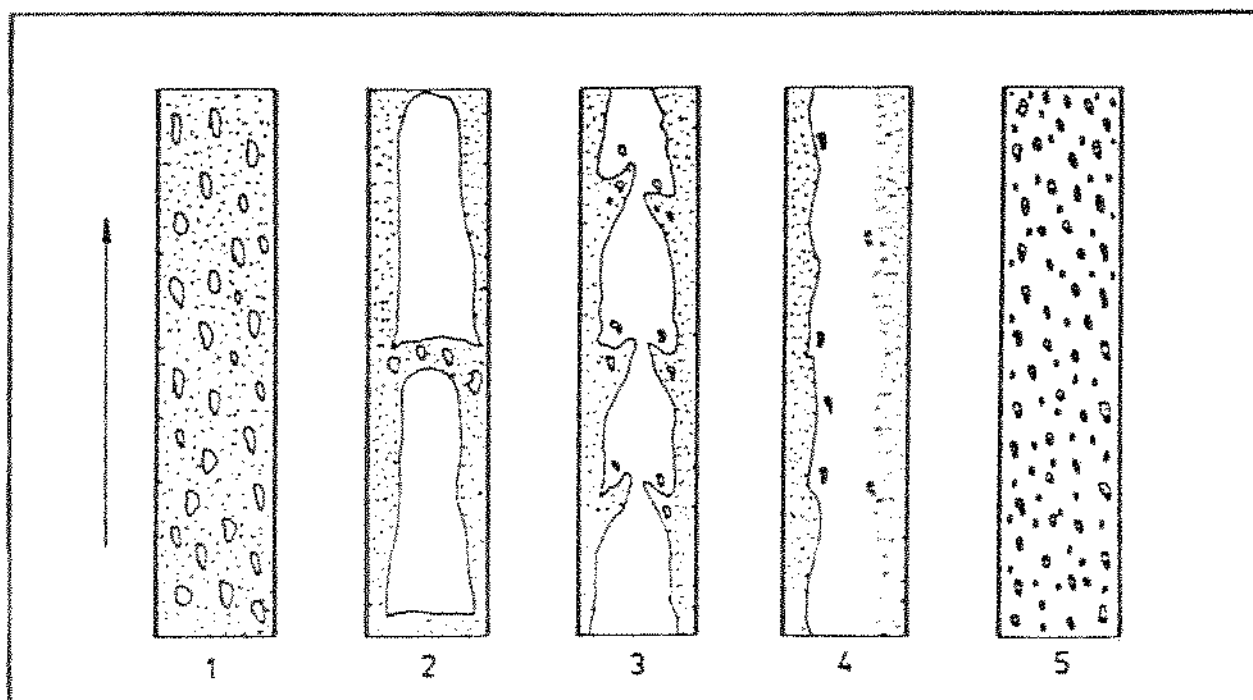
H - "SLUG"

Considerando-se um escoamento bifásico com dois componentes, verifica-se que o parâmetro mais importante e caracterizante deste tipo de escoamento é a razão entre a vazão de gás e a vazão de líquido. Esta razão determina o tipo de configuração obtida no escoamento, o qual influencia significativamente os parâmetros do projeto, tais como a queda de pressão e a transferência de calor.

A Figura H.1 abaixo mostra diversos tipos de configurações de escoamento, sendo que estas apresentam-se em ordem crescente da razão entre a vazão do vapor e vazão de líquido. Para valores muito pequenos de G_v/G_l , ocorrem somente pequenas bolhas de gás, que tendem a ser coletadas pela parte superior do tubo horizontal. O termo "G" representa o fluxo de ρV por unidade de área baseado na área total da seção reta do tubo. À medida que esta razão cresce, as bolhas pequenas coalescem, formando uma espécie de cápsula de gás, a qual também tende a permanecer próxima do topo do tubo. Quando a razão cresce ainda mais, as cápsulas continuam crescendo até ocorrer uma corrente contínua de gás no topo do tubo, representado pela figura do escoamento estratificado.

A próxima configuração discernível resulta da elevação da velocidade da fase gasosa em relação a velocidade da fase líquida, produzindo-se ondas na superfície líquida. Aumentando

ainda mais a velocidade da fase gasosa em relação à líquida. obtém-se o escoamento denominado "slug", com grandes bolhas ou bolsões de gás intercalados pelo líquido que se distribui ao longo do tubo; ou então ocorre um escoamento anular do líquido no qual o gás escoo pela parte central.



- 1 - Bolha
- 2 - Slug
- 3 - Froth-Slug
- 4 - Anular
- 5 - Nebulizado

Bibliografia

BIBLIOGRAFIA

- 01 - Angelino, H., "Hydrodynamique des grosses bulles dans les liquides visqueux". Chem. Eng. Sci., Vol 21, pp 541, 1966
- 02 - Argyriou, D.T., List, H.L., Shinnar, R., " Bubble growth by coalescence in gas fluidized beds ", AIChE J., Vol 17, pp122, 1971
- 03 - Baird, M.H.I., Hamielec, A.E.,
Can. J. Chem. Eng., Vol 40, pp 119, 1962
- 04 - Burgess, J.M., "The behaviour of bubbles in froths and fluidised - particle beds", 1974
- 05 - Burgess, J.M., Calderbank, P.H., "The measurement of bubble parameters in two-phase dispersions", Chem. Eng. Sci., Vol 30, pp 743-750, 1511-1518, 1975
- 06 - Cervenka, J., Kolar, V., "Hydrodynamics of plate columns X. -Analysis of operations of sieve plates without downcomers" Coll. Czech Chem. Commun., Vol 38, pp 3749, 1973
- 07 - Cruz, S.L., "Dispersões gás-líquido em pratos perfurados sem vertedor", Tese de Mestrado, UNICAMP, 1983

- 08 - Datta, R.L.,
Trans.Indian Inst. Chem. Engrs., Vol 13, pp 69, 1960
- 09 - Davenport, W.G., Richardson, F.D., Bradshaw,A.V., "Spherical cap bubbles in low density liquids", Chem. Eng. Sci., Vol 22, pp 1221, 1967
- 10 - Davidson, J.F., Schuler, B.O.G., " Bubble formation at an orifice in a viscous liquids ", Trans. Inst. Chem. Engrs., Vol 38, pp 144, 1960
- 11 - Davies,R., Taylor,G.I., "The mechanics of large bubbles rising through extended liquids and through liquids in tubes", Proc. Roy.Soc.London A., vol 200, pp 375-390
- 12 - Dumitrescu, D.T., Z.Anqew. Math. Mech., Vol 23, pp 139,1943
- 13 - Gaddis, E.S., Vogelpohl, A., "Bubble formation in quiescent liquids under constant flow conditions", Chem. Eng. Sci. , Vol 41, ns 1, pp 97-105, 1986
- 14 - Geldart, D., Kelsey, J.R., "The use of capacitance probes in gas fluidised beds.", Powder Tech., Vol 6, pp 45-50 , 1972

- 15 - Godard, K., Richardson, J.F., "Bubbles velocities and bed expansions in freely bubbling fluidised beds", Chem. Eng. Sci. Vol 24, pp 663, 1969
- 16- Goldschmidt, D., Le Goff, P., "Electrical methods for the study of a fluidized bed conducting particles", Trans. Inst. Chem., E.45, pp 196, 1967
- 17- Griffith, R.M., Chem. Eng. Sci., Vol 17, pp 1057, 1962
- 18- Gunn, D.J., Al-Dori, H.H., "The measurement of bubbles flows in fluidized beds by electrical probe", Int. J. Multiphase Flow, Vol 11, n° 4, pp 535, 1985
- 19- Gurthrie, R.I.L., Bradshaw, A.V., "Spherical capped gas bubbles rising in aqueous media. Chem. Eng. Sci., Vol 28, pp 191, 1973
- 20- Guv, T.B., Ledwidge, T.J., Int. Heat Mass Transfer, Vol 16, pp 2393, 1973
- 21- Haberman, W.L., Morton, R.K
Trans. Am. Soc. Civ. Eng. vol 121 pp 227 1956
- 22- Hamielec, A.F., Johnson, A.L.,
Can. J. Chem. Eng., Vol 40, pp 41, 1962

- 23- Kataoka, I., Ishi, M., Serizawa, A., "Local formulations and measurements of interfacial area concentration in two-phase flow", Int. J. Multiphase Flow, Vol 12, n^o 4, pp 505, 1986
- 24- Kumar, R., Kuloor, N.R., Adv. Chem. Eng., Vol 08, 1970
- 25- Lanneau, K.P., "Gas-solids contacting in fluidized beds", Trans. Inst. Chem., E.38, pp 125, 1960
- 26- Lockett, M.J., Harrison, D., "The distribution of voidage fraction near bubbles rising in gas-fluidized beds.", Proc. Int. Symp. on Fluidization (Eindhoven), pp 257-270, Netherlands University Press., 1967
- 27- Mendelson, H.D., AIChE Journal, Vol 13, pp 250, 1967
- 28- Mihail, R., Straja, S., "A theoretical model concerning bubble size distributions", Chem. Eng. Journal, Vol 33, pp 71-77, 1986
- 29- Moore, D.W., "The rise of a gas bubble in a viscous liquid", J. Fl. Mech., Vol 6, pp 113, 1959
- 30- Narayanan, S., Goosens, L.H.J., Kossen, N.W.F., "Coalescence of two bubbles rising in line at low Reynolds number", Chem. Eng. Sci., Vol 29, pp 2071, 1974

- 31- Nicklin, D.J., Chem. Eng. Sci., Vol 17, pp 693, 1962
- 32- Nicklin, D.J., Wilkes, J.O., Davidson, J.F., Trans. Inst. Chem. Engrs, Vol 40, pp 61, 1962
- 33- Orcutt, J.C., Carpenter, B.H., " Bubble coalescence and the simulation of mass transport and chemical reaction in gas fluidized beds ", Chem. Eng. Sci., Vol 26, pp 1049, 1971
- 34- Oseen, C.W., "Über den Gültigkeitsbereich der stokeschen widerstandsformel, Arkiv. Mat. Astron. Fvsik., Vol 9, nr 16, pp 1. 1913
- 35- Park, W.H., Kano, W.K., Capes, C.E., Osbera, G.L., "The properties of bubbles in fluidized beds of conducting particles as measured by an electro-resistivity probe", Chem. Eng. Sci., Vol 24, pp 851, 1969
- 36- Peebles, F.N., Garber, H.J., Chem. Eng. Prog., Vol 49, pp 88, 1953
- 37- Pereira, J.A., Calderbank, P.H., "The prediction of distillation plate efficiencies from froth properties", Chem. Engng. Sci, Vol 32, pp 1427-1433, 1977

- 38- Pinczewski, W.V., Fell, C.J.D., "The transition from froth-to-spray regime on commercially loaded sieve trays", Trans. I. Chem. E., Vol 50, pp 102-108, 1972
- 39- Pinczewski, W.V., "The formation and growth of bubbles at a submerged orifice", Chem. Eng. Sci., Vol 36, pp 405-411, 1981
- 40- Ramakrishnan, S., Kumar, R., Kuloor, N.R., "Studies in bubble formation I-Bubble formation under constant flow conditions, Chem. Eng. Sci., Vol 24, no4, pp 731, 1969
- 41- Ramkrishna, D., Borwanker, J.D., "A puristic analysis of population balance II", Chem. Eng. Sci., Vol 29, pp 1711, 1974
- 42- Ramkrishna, D., Shah, R.H., Borwanker, J.D., "Analysis of population balance III-Agglomerating populations", Chem. Eng. Sci., Vol 31, pp 435, 1976
- 43- Ramkrishna, D., "Analysis of population balance IV - The precise connection between Monte Carlo simulation and population balances", Chem. Eng. Sci., Vol 36, pp 1203, 1981
- 44- Rigby, G.R., Van Blockland, G.P., Park, W.H., Capes, C.E., "Properties of bubbles in three phase fluidized beds as measured by an electroresistivity probe", Chem. Eng. Sci., Vol 25 pp 1729, 1970

- 45- Rodionov, A.I., Radiokovski, V.M., J. App. Chem. USSR.,
Vol 40, pp 2751, 1967
- 46- Rowe, P.N., Matsuno, R., "Single bubbles injected into a gas
fluidised bed and observed by X-rays", Chem.Eng.Sci.,Vol 26
pp 923, 1971
- 47- Rowe, P.N., Masson, H., "Fluidised bed bubbles observed
simultaneously by probe and X rays", Chem. Eng. Sci., Vol 35
pp 1443-1447, 1980
- 48- Rylek, M., Standart, G., "The Hydraulics of sieve trays".
I. Chem. Engng., Vol 4, n° 4, pp 711-747, 1964
- 49- Satvanaravan, A., Kumar, R., Kuloor, N.R., "Studies in bubble
formation II-Bubble formation under constant pressure condi-
tions", Chem. Eng. Sci., Vol 24, n° 4, pp 749, 1969
- 50- Shah, B.H., Ramkrishna, D., Borwanker, J.D., "Simulation of
bubble populations in a gas fluidized bed", Chem. Eng. Sci.,
Vol 32, pp 1419, 1977
- 51- Shoukry, F., Cermak, J., Kolar, V., "On the hidrodynamics of
sieve plates without dowcomers - Dynamic nature of the gas-
liquid dispersion", The Chem. Eng. Journal, Vol 8, pp 27-40,
1974

- 52- Stokes, G.G., "Mathematical and Physical Papers", Camb. Univers Press, Vol.1, 1880
- 53- Tadaki, T., Maeda, S.,
Chem. Eng. (Japan), Vol 25, pp 254, 1961
- 54- Thoroood, R., "Dynamic and Qualitative Aspects of Distillation Theory", Brit. Chem. Engng., Vol 8, n^o 5, pp 328, 1963
- 55- Uno, S., Kinter, R.C.,
Am. Inst. Chem. Engrs. J., Vol 2, pp 240, 1956
- 56- Werther, J., Molerus, O., "The local structure of gas fluidized beds", Int. J. Multiphase Flow, Vol 1, pp 103, 1973
- 57- Whitehead, A.B., Young, A.D., "Fluidization performance in large-scale equipment", Parts I e II, Proc. Int. Symp. on Fluidization (Eindhoven), pp 802-820, Netherlands University Press., 1967
- 58- Yasui, G., Johansen, L.N., "Characteristics of gas pockets in fluidized beds", AIChE. J., Vol 4, pp 445-452, 1958

- 59- Yoshida, F., Muira, Y., "Gas Absorption in agitated gas liquid contactors", Ind. Eng. Chem. (Proc. Des. Dev.), Vol 2, pp 263 1963
- 60- Zelinski, Y.G., Kafarov, V.V., "Hidrodinamic conditions on open-grid (Turbogrid) trays", I. Chem. Enqng, Vol 1, n^o 1, pp 74-79. 1961
- 61- Zuiderweg, F.J., Harmens, A., "The influence of surface phenomena on the performance of distillation columns", Chem. Eng. Sci., Vol 9, n^o 2/3, pp 89-103, 1958

Nomenclatura

- A - área do tubo
- A_c - área da seção transversal do corpo na direção do movimento
- b - distância entre os canais O0 e O1
- CD - coeficiente de arraste
- d_o - diâmetro do orifício
- d_b - diâmetro da bolha
- d_B - tamanho da bolha gerado em um orifício submerso
- D - diâmetro do tubo
- D_c - diâmetro da coluna
- F - força resistiva do fluido
- g - aceleração devida à gravidade
- G - vazão de gás
- L - vazão de líquido
- r_e - raio da esfera de volume equivalente a bolha
- Re - número de Reynolds
- U - velocidade do corpo
- U_{B_o} - velocidade de subida da bolha quando isolada
- V - volume da bolha
- V_s - velocidade superficial do gás
- z_v - distância do sensor ao prato
- z_r - distância do sensor à parede da coluna
- ρ_o - massa específica do fluido
- ν - viscosidade cinemática
- ϵ_g - porosidade
- σ - tensão superficial do líquido